Tecnología de las operaciones para la extracción de los productos forestales

Segunda edición revisada y ampliada

Jesús Pemán García (coord.)

Autores

Enrique Arrechea Veramendi
Ingeniero de Montes
Jefe de Unidad de Gestión Forestal
Servicio Provincial de Agricultura, Ganadería y Medio Ambiente de Zaragoza del Gobierno de Aragón. Edificio Pignatelli
Paseo María Agustin, 36. 50071 Zaragoza
earrechea@aragon.es

Nil Bacardit Tudela
Ingeniero de Montes
nil9210@gmail.com

Teresa Baiges Zapater
Ingeniera de Montes. Máster en Sistemas Agroforestales.
Centre de la Propietat Forestal y Universitat de Lleida
Finca Torreferrussa, Ctra. B-140, Sabadell A Santa Perpétua de Mogoda, km 4.5,
08130 Santa Perpètua de Mogoda, Barcelona
tbaiges@gencat.cat

Marcos Barrio Anta
Doctor Ingeniero de Montes.
Departamento de Biología de Organismos y Sistemas.
Área de Ingeniería Agroforestal.
Universidad de Oviedo.
Escuela Politécnica de Mieres.
C/Gonzalo Gutiérrez de Quirós s/n,
33600 Mieres (Asturias).
barriomarcos@uniovi.es

José Berdón Berdón
Ingeniero de Montes
Área de Dehesa, Pastos y Producción Forestal
Centro de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de Extremadura
Instituto del Corcho, la Madera y el Carbón Vegetal
Polígono Industrial El Prado,
C/Pamplona Parcela 64 - 06800 Mérida, Badajoz
jose.berdon@juntex.es

Sara Bott
Graduada en Biología
Técnica de I+D+i de Hifas Foresta
sarah.bott@hifasforesta.com

Teresa Cervera Zaragoza
Doctora Ingeniera de Montes. Ciencias empresariales y Máster en Economía Social y Cooperativismo
Cap de l´Àrea de Foment de la Gestió Forestal Sostenible
Centre de la Propietat Forestal y Universitat de Lleida
Finca Torreferrussa, Ctra. B-140, Sabadell a Santa Perpétua de Mogoda, km 4,5. 08130 Santa Perpètua de Mogoda, Barcelona
tcervera@gencat.cat

Enrique Fandiño Cerqueira
Ingeniero Técnico Forestal
Gerente en HIFAS FORESTA
Portamuiños, 7, Bora. 36154 Pontevedra (Pontevedra)
forestal@hifasforesta.com

Ana Fernández Santos
Periodista
Centro de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de Extremadura
Instituto del Corcho, la Madera y el Carbón Vegetal
Polígono Industrial El Prado,
C/Pamplona, Par 64. Sector D - 06800 Mérida, Badajoz

Jesús Fernández Rodríguez
Ingeniero de Montes
Forestal Catalana S.A, Carrer del Torrent de l'Olla, 218, 220, 08012 Barcelona
jfr3388@gmail.com

José Manuel Gallego Martín
Ingeniero Técnico Agrícola, Máster en Prevención de Riesgos Laborales
SD Prevención Riesgos Laborales
Grupo Tragsa – SEPI

Xesús Graña
Licenciado en Biología
Coordinador Dto. I+D+i de Hifas Foresta HifasForesta
micorrizas@hifasforesta.com

Raúl Lanzo Palacios
Ingeniero Técnico Forestal
Área de Dehesa, Pastos y Producción Forestal
Centro de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de Extremadura
Instituto del Corcho, la Madera y el Carbón Vegetal
Polígono Industrial El Prado, C/Pamplona, Par 64.
Sector D - 06800 Mérida, Badajoz
raul.lanzo@juntaex.es

Carlos Antonio López Sánchez
Dr. Ingeniero de Montes
Departamento de Biología
de Organismos y Sistemas.
Área de Ingeniería Agroforestal.
Universidad de Oviedo.
Escuela Politécnica de Mieres. C/Gonzalo
Gutiérrez de Quirós s/n, 33600 Mieres (Asturias).
lopezscarlos@uniovi.es

Marcos López Vázquez
Ingeniero Técnico Forestal
Técnico Superior en Prevención
de Riesgos Laborales
Jefe de Mejora de Gestión Forestal
Dirección de Compras Forestales y Estrategia
Ence, Energía & Celulosa, S.A. Armental s/n,
33710 Navia (Asturias).
mlopez@ence.es

Marco Lorenzo Domínguez
Ingeniero de Montes
Jefe de Sección de Gestión de Montes I
Servicio Provincial de Agricultura, Ganadería y
Medio Ambiente de Zaragoza
Paseo María Agustín nº 36. 50071 Zaragoza
mlorenzo@aragon.es

Noemí Palero Moreno
Ingeniera de Montes
Centre de la Propietat Forestal
y Universitat de Lleida
Finca Torreferrussa, Ctra. B-140, Sabadell A
Santa Perpétua de Mogoda, km 4.5, 08130
Santa Perpètua de Mogoda, Barcelona
npalero@gencat.cat

Jesús Pemán García
Doctor Ingeniero de Montes
Departamento de Producción Vegetal y Ciencia
Forestal. Universidad de Lleida
Av. Alcalde Rovira Roure 191, 25198 Lleida
Joint Research Unit CTFC-AGROTECNIO
jesus.peman@udl.cat

Gianni Picchi Draghi
CNR-IBE Istituto per la Bioeconomia
Via Madonna del Piano 10, I-50019 Sesto
Fiorentino (FI) Italia
gianni.picchi@cnr.it

Francisco Javier Plaza Martín
Ingeniero de Montes
Servicio Territorial de Medio
Ambiente de Segovia
Junta de Castilla y León
Plaza Reina Doña Juana 5, 40071 Segovia
Fjavier.plaza@jcyl.es

Aída Rodríguez García
Doctora Ingeniera de Montes
Área de Gestión Forestal
y Recursos Naturales. CESEFOR
Polígono Industrial Las Casas, calle C, parcela 4.
42005 Soria
aida.rodriguez@cesefor.com

Uxue Roldán Navarro
Ingeniera de Montes
Central Forestal, S.A.
Avenida Raimundo Lumbier s/n, 31400
Sangüesa, Navarra, España
uxue.roldan@smurfitkappa.es

Ramón Santiago Bertrán
Doctor Ingeniero de Montes
Área de Dehesa, Pastos y Producción Forestal
Centro de Investigaciones Científicas y
Tecnológicas de Extremadura
Instituto del Corcho, la Madera
y el Carbón Vegetal
C/ Pamplona nº 64 – 06800 Mérida, Badajoz
ramon.santiago@juntaex.es

Hermenegildo Silveira Jiménez
Ingeniero Técnico Forestal y Graduado en
Ingeniería Forestal
Jefe de Sección de Zaragoza
Smurfit Kappa Navarra
hermenegildo.silveira@smurfitkappa.es

Esteban Sinde Stompel
Doctor en Ciencias Biológicas.
Ingeniero Medioambiental (U. Göttigen)
HifasForesta
Portamuiños 7, 36154 Bora-Pontevedra
Esteban.sinde@hifasdaterra.com

Miguel Ángel Sobrino Abuja
Ingeniero Técnico Forestal
Jefe de Sección de Bosques
y Recursos Forestales
Departament d'Agricultura,
Ramaderia, Pesca i Alimentació
Serveis Territorials a la Catalunya Central
Carrer de la llotja s/n Recinte Firal del Sucre 1r
pis, 08500 Vic
amsobab@gencat.cat

Iyán Teijido Murias
Graduado en Ingeniería Forestal
y del Medio Natural
Máster en Geotecnología y Desarrollo de
Proyectos SIG. Contrato predoctoral
Severo Ochoa
Área de Ingeniería Agroforestal.
Universidad de Oviedo.

Escuela Politécnica de Mieres. C/Gonzalo Gutiérrez de Quirós s/n, 33600 Mieres (Asturias).
teijidoiyan@uniovi.es

Eduardo Tolosana Esteban
Doctor Ingeniero de Montes
Departamento de Ingeniería y Gestión Forestal y Ambiental. Universidad Politécnica de Madrid
Centro I+D+I Biodiversidad y Desarrollo Sostenible
eduardo.tolosana@upm.es

Enric Vadell Guiral
Doctor Ingeniero de Montes
Subdirector General de Boscos
Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca i Alimentació
Carrer del Doctor Roux, 80, 08017 Barcelona
aevadgu@gencat.cat

Antonio Villasante Plágaro
Doctor Ingeniero de Montes
Departamento de Ingeniería Agroforestal. Universidad de Lleida
Av. Alcalde Rovira Roure 191, 25198 Lleida
antonio.villasante@udl.cat

Tecnología de las operaciones para la extracción de los productos forestales

Jesús Pemán García (coordinador)

Segunda edición
revisada y ampliada

Edicions de la Universitat de Lleida
Lleida, 2023

Edicions de la Universitat de Lleida, 2023
Texto: los autores
Ilustraciones: los autores
Fotografías de cubierta: Jesús Pemán García

Diseño y maquetación: Edicions i Publicacions de la UdL

ISBN 978-84-9144-426-8

DOI 10.21001/tecnologia.productos.forestales.2a.edicion.2023

Índice

Presentación 19

Parte I. Capítulos teóricos

Los productos madereros. Comercialización, unidades comerciales y marco legal 25

1. Los productos forestales 27
1. El concepto de aprovechamiento forestal 27
2. Tipos de productos forestales 31
3. Los aprovechamientos de productos madereros 35
   3.1. Volumen de cortas 37
4. Aprovechamientos de leñas 41
5. Producción de maderas y leñas en Cataluña 41
6. Los actores del aprovechamiento maderero 43
7. El monte 44
   7.1. Los tipos de monte 45
   7.2. Los aprovechamientos madereros según el tipo de monte 50
8. Bibliografía 55

2. Los productos madereros, su precio y el comercio de la madera 57
1. Uso industrial de la madera en rollo 57
2. Estimación de los productos madereros en el árbol en pie 66
3. El precio de la madera 71
   3.1. Madera de sierra 72
   3.2. Madera para chapa o desenrollo 75
   3.3. Madera de trituración 75
   3.4. Leñas 77
4. El comercio exterior 77
   4.1. El control de la legalidad en la comercialización de la madera o de sus productos derivados 80
5. Bibliografía 86

3. Las unidades de medida de los productos forestales 89
1. La cosa cierta 89
2. Unidades de medida de los productos madereros 91
   2.1. Volumen 92
   2.2. Peso 96
3. Conversión entre las unidades de medida de la madera en rollo y la astilla 102
   3.1. Peso específico o densidad de la madera 102

3.2. Porcentaje de corteza 108
3.3. Coeficiente de apilamiento 109
3.4. Coeficiente de conversión del volumen de madera en rollo en volumen a granel de astilla 110
3.5. Contenido energético de la astilla 111
4. Bibliografía 115

4. El marco legal de los aprovechamientos de los productos forestales 117
1. Disposiciones 117
2. Potestad de enajenación de los productos forestales 120
3. Marco jurídico para la enajenación de los productos forestales por la entidad pública titular 121
4. ¿Quién regula los aprovechamientos de los productos forestales? 123
5. El marco de planificación de los aprovechamientos forestales: los proyectos de Ordenación y Planes Técnicos 125
6. Los aprovechamientos madereros en los montes que gestiona la Administración Forestal 125
6.1. Preparación y aprobación del aprovechamiento maderero 127
6.2. Enajenación del aprovechamiento maderero 133
6.3. Ejecución y control del aprovechamiento 144
6.4. Finalización del aprovechamiento 147
7. Los aprovechamientos en montes de titularidad privada 148
8. Los aprovechamientos en las zonas de servidumbre y policía de dominio público y en Espacios Naturales Protegidos 153
9. Activación de la gestión forestal por objetivos y valorización de los productos con criterios medioambientales y dentro de la estrategia de bioeconomía circular de la Generalitat de Catalunya 153
10. Bibliografía 160

Bases técnicas de las operaciones de extracción y transporte de los productos madereros 161

5. Condicionantes de los aprovechamientos madereros 163
1. Introducción 163
2. Condicionantes legales 164
2.1. Titularidad del monte 164
2.2. Estructura de la propiedad y características del propietario 167
3. Condicionantes naturales 172
3.1. El clima 172
3.2. La fisiografía 172
3.3. El suelo 174
3.4. La vegetación 179
3.5. La fauna 179

3.6. Riesgos 182
4. Condicionantes de las infraestructuras 186
5. Condicionantes selvícolas 188
6. Bibliografía 190

6. El apeo y procesado manual 193
1. Introducción 193
2. El comportamiento mecánico del árbol 193
3. Operaciones previas al apeo 196
4. El apeo manual con motosierra 196
4.1.Equipo 197
4.2. Descripción del proceso 202
5. Apeo manual con motodesbrozadora 225
5.1. Equipo 226
5.2. Descripción del proceso del apeo con motodesbrozadora 227
6. Procesado manual 227
6.1. Operaciones previas 228
6.2. Desramado y despuntado 229
6.3. Tronzado 233
7. Rendimientos del apeo y procesado 237
8. Bibliografía 243

7. El apeo y procesado mecanizado 245
1. Tipos y limitaciones 245
2. Equipo 245
2.1. Cabezales de corte 246
2.2. Chasis 255
3. Descripción del proceso 259
4. Rendimientos y costes 262
5. Bibliografía 263

8. La saca de la madera (I) 265
1. Introducción 265
2. Reunión y apilado 265
3. Desembosque 270
3.1. Desembosque manual 271
3.2. Desembosque por tracción animal 272
4. Bibliografía 313

9. La saca de la madera (II). El cable grúa 315
1. Antecedentes 315
2. Definición 317
3. Equipo 320

3.1. Estación o equipo motriz 321
3.2. Carro 324
3.3. Cables 329
3.4. Elementos complementarios 334
3.5. Accesorios 342
4. Limitaciones 346
5. Tipos de instalaciones 347
5.1. Instalación bicable con estación motriz estática que funciona por gravedad 348
5.2. Instalación bicable con estación motriz móvil que funciona por gravedad 349
5.3. Instalación tricable con estación motriz móvil que funciona para todo tipo de terreno, independiente de la pendiente 350
5.4. Instalación monocable con carro automotriz que funciona para todo tipo de terreno, independiente de la pendiente 351
5.5. Instalación mini-cable que funciona por gravedad 351
6. Planificación y cálculo 352
6.1. Trazado de calles de desembosque 352
6.2. Perfiles del terreno 354
6.3. Distancia al suelo o altura del cable portador 356
6.4. Levantamiento del perfil 357
6.5. Cálculo de la instalación 361
7. Montaje y desmontaje 369
7.1. Montaje 369
7.2. Desmontaje 372
8. Productividad y costes 372
9. Bibliografía 375

10. Los residuos de la corta y del procesado del árbol 377
1. Introducción 377
2. El residuo de la corta y del procesado del árbol 378
2.1. Balance de nutrientes en el suelo 380
2.2. Influencia en el riesgo de erosión y en el regenerado en superficies afectadas por incendios 382
3. La gestión de los residuos de corta 383
3.1. Acordonado y quema de restos 385
3.2. Acordonado y triturado 387
3.3. Astillado 390
4. Bibliografía 393

11. Métodos y sistemas de aprovechamiento maderero 395
1. Introducción 395
2. Métodos de aprovechamiento 397
2.1. Método de árboles completos (AC) 397
2.2. Método de fustes enteros (FE) 400

2.3. Método de madera corta (MC) 401
2.4. Método de madera larga (ML) 402
2.5. Método Mixto (MM) 403
2.6. Método de madera astillada (MA) 403
3. Sistemas de aprovechamiento 404
3.1. Sistemas Manuales clásicos (Grupo 1) 409
3.2. Sistemas mecanizados (Grupo 2) 423
3.3. Sistemas manuales especiales (Grupo 3) 436
3.4. Sistemas para uso energético (Grupo 4) 444
3.5. Tipos de sistemas de aprovechamiento en el mundo 449
4. Elección de un sistema de aprovechamiento 451
4.1. Procedimiento 453
4.2. Ejemplos de elección de un sistema de aprovechamiento 454
5. Bibliografía 455

12. El transporte de los productos madereros 457
1. Introducción 457
2. Modos de transporte 459
3. Transporte terrestre 460
3.1. Transporte por carretera 461
3.2. Ferrocarril 482
4. Marítimo 486
4.1. Los actores 486
4.2. Los barcos 487
4.3. Los puertos 488
4.4. La carga 490
5. Costes 494
5.1. Coste del transporte de mercancías por carretera 495
5.2. Coste del transporte de mercancías por ferrocarril 499
5.3. Coste del transporte de mercancías por barco 500
6. Transporte internacional 500
7. Bibliografía 503

El proyecto técnico para las operaciones de extracción de los productos madereros 505

13. El proyecto técnico para las operaciones de extracción de los productos madereros 507
1. Estructura del proyecto 507
2. Memoria 507
2.1. Estructura general 507
2.2. Las actuaciones técnicas 510
2.3. Planificación de las pistas de desembosque y el diseño de los cargaderos 519

3. Presupuesto....520
4. Pliegos de Prescripciones Técnico-Facultativas Particulares (PPTFP)....521
5. Estudio de seguridad y salud laboral....521
6. Evaluación ambiental....522
7. Bibliografía....522

14. El pliego de Prescripciones Técnico-Facultativas....523
1. Introducción....523
2. Pliego de Cláusulas Económico-Administrativas....525
3. Pliego de Prescripciones Técnico-Facultativas....527
3.1. Pliego de Prescripciones Técnico-Facultativas generales....527
3.2. Pliego Especial de Prescripciones Técnico-Facultativas para los aprovechamientos madereros....530
3.3. Pliego de Prescripciones Técnico-Facultativas particulares....532
4. Bibliografía....537

15. La estimación del precio de la madera en pie....539
1. Introducción....539
2. Métodos de estimación....541
2.1. Método sintético....541
2.2. Método analítico....544
2.3. Estimación del precio de tasación de la madera en pie o de la oferta económica utilizando el método analítico....551
3. Bibliografía....556

16. La planificación de las vías forestales y los cargaderos....557
1. Las vías forestales....557
2. Análisis de la red viaria existente....559
3. Criterios de diseño....560
3.1. Red de pistas....560
3.2. Calles....566
4. Densidad óptima de pistas....568
5. Actuaciones de restauración de la red temporal de pistas y calles....570
6. Cargaderos....571
7. Bibliografía....573

17. La seguridad y salud laboral en las operaciones de extracción y transporte de la madera....575
1. Consideraciones sobre seguridad y salud en el ámbito de los trabajos forestales....575
1.1. El marco normativo....576
2. La siniestralidad laboral en el ámbito forestal....579
2.1. Accidentes de trabajo....579
2.2. Enfermedades profesionales....580
3. Los riesgos laborales....583

3.1. Riesgos provocados por agentes mecánicos....584
3.2. Riesgos ocasionados por agentes físicos....584
3.3. Agentes químicos....588
3.4. Agentes biológicos....589
3.5. Carga de trabajo....590
3.6. Factores psicológicos y sociales....591
4. La evaluación de los riesgos laborales....591
4.1. Análisis del riesgo....593
4.2. Valoración del riesgo....594
5. La seguridad y salud en los proyectos de obra....599
5.1. Los actores de la seguridad y salud en el proyecto de obra....599
5.2. Los estudios y planes de seguridad y salud en los proyectos de obra....601
6. Equipo de protección individual (EPI)....618
6.1. Calzado....620
6.2. Guantes....622
6.3. Monos de trabajo, chaquetas y protectores de piernas....623
6.4. Cascos....625
6.5. Protectores auditivos....626
6.6. Protectores oculares y faciales....627
6.7. Equipos de protección respiratoria....628
7. Señalización....628
8. Herramientas....630
9. Maquinaria....630
9.1. *Skidder* o tractor forestal arrastrador....636
9.2. Motosierra....637
10. Seguridad vial....640
10.1. Carga....641
10.2. Acceso a las carreteras....643
10.3. Circulación interior....644
11. Primeros auxilios y libro de incidencias en los lugares de trabajo....645
12. Bibliografía....646

Parte II. Casos particulares

Casos particulares de los aprovechamientos madereros....651

Caso particular I. La biomasa forestal y su aprovechamiento....653
1. Contexto: definiciones, procesos de conversión energética y en bioproductos. Situación actual....653
1.1. Definiciones....653
1.2. Procesos de transformación energética....654
1.3. ¿Es renovable la bioenergía forestal?....657

1.4. La biomasa en el mundo. Problemas derivados de sus usos tradicionales en los países en desarrollo. 659
1.5. La biomasa forestal en Europa 661
1.6. La biomasa forestal en España 665
2. Principales aspectos logísticos para considerar en el aprovechamiento de la biomasa forestal 669
2.1. La densidad del material 669
2.2. La humedad de la biomasa 670
2.3. La calidad como combustible 672
3. Maquinaria para el aprovechamiento de la biomasa forestal 672
3.1. Máquinas para la corta de árboles 673
3.2. Máquinas para reducir el tamaño y/o comprimir la biomasa 674
3.3. Máquinas para el transporte extraviario de residuos forestales, árboles completos o astillas 680
3.4. Máquinas para apilado/acordonado de la biomasa o carga de astillas 683
3.5. Máquinas combinadas para corta y elaboración de biomasa 684
3.6. Camiones para el transporte de la biomasa 686
4. Sistemas de aprovechamiento de la biomasa forestal 687
5. Tendencias de evolución de las cadenas de abastecimiento de biomasa en los países nórdicos 691
6. Conclusiones 692
7. Bibliografía 694

Caso particular II. Aprovechamiento maderero de montes de eucalipto en Galicia y la Cornisa Cantábrica 699
1. Introducción 699
2. Condicionantes 700
2.1. Condicionantes estructurales 700
2.2. Condicionantes orográficas del terreno 703
2.3. Condiciones climáticas y de humedad del terreno 703
2.4. Exigencias de la industria transformadora 704
2.5. Condicionantes selvícolas 706
3. Planificación del aprovechamiento 707
3.1. Operaciones previas. Red de vías y cargaderos 707
3.2. Métodos de aprovechamiento 708
3.3. Sistemas de aprovechamiento 709
3.4. Transporte de la madera a fábrica 722
3.5. Operaciones posteriores complementarias 723
4. Bibliografía 726

Caso particular III. Apeo y extracción de los productos madereros en montes aterrazados 729
1. Características de los montes aterrazados 729
2. Condicionantes para la extracción de los productos madereros 730

3. Las calles o terrazas de trabajo 731
4. Planificación de las operaciones 735

Caso particular IV. Extracción de los productos madereros en los montes quemados 739
1. Introducción 739
2. Condicionantes 740
2.1. Suelo y escorrentía 740
2.2. Vegetación 741
2.3. Fauna silvestre 743
2.4. Severidad de los incendios futuros 744
2.5. Coste de los trabajos de restauración 744
2.6. Riesgos fitosanitarios 744
3. Actuaciones 747
4. Bibliografía 752

Casos particulares de otros productos forestales 753

Caso particular V. Tecnología de la extracción del corcho 755
1. Introducción. El corcho como materia prima industrial. Calidad de corcho 755
2. Descorche tradicional 761
2.1. Aspectos generales del descorche 761
2.2. Herramientas del descorche 764
2.3. Fases del descorche 765
2.4. Organización del descorche tradicional 768
3. Descorche con nuevas tecnologías 770
3.1. Antecedentes 770
3.2. Máquinas y herramientas para el descorche con nuevas tecnologías 771
3.3. Fases del descorche con nuevas tecnologías 773
3.4. Organización del descorche con nuevas tecnologías 775
4. Recomendaciones de salud laboral en los descorches 776
5. Legislación española sobre descorche 778

Caso particular VI. El aprovechamiento resinero 781
1. El aprovechamiento resinero, breve historia 781
2. La resina 785
3. Las técnicas de extracción de la resina 788
3.1. El método Hugues 789
3.2. El sistema de pica de corteza con estimulación 789
4. Los agentes de la cadena de valor de la resina 794
5. La ordenación y selvicultura del monte resinado 796
5.1. La especie 796
5.2. La ordenación 797
5.3. La selvicultura resinera 799

6. El resinero 801
6.1. La rentabilidad del aprovechamiento resinero 802
7. La industria, el mercado de la resina y sus derivados 803
7.1. Magnitudes sectoriales 803
7.2. La industria 807
8. Productos derivados de las resinas naturales 807
9. Las externalidades de la resina 809
10. Innovación y nuevas herramientas para el impulso del sector resinero 810
11. Situación actual del sector: problemática y oportunidades 812
12. Bibliografía 815

Caso particular VII. El castaño y el aprovechamiento de la castaña 821
1. El castaño y la producción de castaña 821
2. Extensión del castaño y producción de castaña 822
2.1. Producción de castaña a nivel mundial e ibérico 822
2.2. Evolución reciente de la superficie de castaño y la producción de castaña 829
2.3. Situación de los soutos, problemática territorial y poblacional 830
3. Patología del castaño y la castaña 832
3.1. La tinta (Phytophtora cambivora) 832
3.2. El chancro (Chryphonectria parasytica) 833
3.3. La avispilla o cinípedo del castaño (Dryokosmus kuriphillus) 834
3.4. La septorioasis (Mycosphaerella castanicola / Septoria castanicola) 836
3.5. Insectos que provocan daños sobre el fruto 836
3.6. Problemas edáficos y ambientales 838
4. Propuestas para la puesta en valor del castaño 839
4.1. Estrategia organizativa, la prioridad del sector 839
4.2. Propuestas para la plantación de castaños 840
4.3. Mejoras en la recogida y comercialización de castaña 858
5. Bibliografía 862

Parte III. Casos prácticos

Caso práctico 1. Trazado y optimización de vías forestales 865
1. Introducción 865
2. Requisitos previos 865
2.1. Instalación del software 865
2.2. Instalación de los complementos de software 866
2.3. Descarga y preparación previa de las capas espaciales 866
2.4. Model Designer 870
3. Procedimiento de análisis del modelo de optimización de vías forestales 871
3.1. Diagrama de procesos 872
3.2. Variables de entrada 872
3.3. Algoritmos de geoproceso 877

3.4. Ejecución del modelo 899
4. Anexos 904
4.1. Anexo I: Exportación del modelo a lenguaje de programación Python 904

Caso práctico 2. Diseño de una instalación para el desembosque con cable grúa 907
1. Planteamiento del caso 907
2. Descripción de la masa y el rodal 907
3. Elección del tipo de instalación 909
4. Determinación del sistema de distribución de las líneas de desembosque 911
5. Elaboración de los perfiles longitudinales y localización de los soportes intermedios 914
6. Dimensionado de la línea 917
7. Bibliografía 923

Caso práctico 3. El impacto de los tratamientos selvícolas en los servicios ecosistémicos forestales 925
1. La gestión forestal multifuncional y los Servicios Ecosistémicos Forestales 925
1.1. Gestión forestal y SEF relacionados con la mitigación y adaptación al cambio climático 926
2. Cuantificación del impacto de la gestión forestal sobre los SEF 927
2.1. Metodología para el cálculo del impacto de la gestión sobre el carbono, el agua y la biodiversidad 927
2.2. Resultados preliminares 928
3. Un caso de estudio: Balance en el carbono, agua y biodiversidad en un rodal gestionado del Pirineo catalán 929
3.1. Definición de la gestión forestal multifuncional: la escala de paisaje y de rodal 929
3.2. Impacto de la gestión del rodal en el carbono, agua y biodiversidad 930
4. Bibliografía 931

Anejos

Anejo 1. Neumáticos forestales y accesorios para mejorar la tracción de los tractores forestales 937
1. Introducción 937
2. La cubierta 938
3. Marcas del neumático 939
4. Presión de inflado del neumático 942
5. Presión sobre el suelo 943
5.1. Área de contacto 943
5.2. Presión nominal sobre el suelo 945
6. Accesorios para mejorar la tracción 946
6.1. Tracks o semiorugas 946
6.2. Cadenas 947
7. Bibliografía 947

Anejo 2. Estudio del trabajo 949
1. Introducción 949
2. Técnicas de medición del trabajo 950
2.1. Estimación de tiempos 950
3. Rendimientos o productividad 958
3.1. Modelos de tiempo 958
4. Bibliografía 959

Anejo 3. La cadena de la motosierra 961
1. Estructura de la cadena 961
1.1. Dientes gubia o dientes de corte 961
1.2. Eslabones motrices o guía 963
1.3. Eslabones de unión 964
2. Denominación de las cadenas 965

Anejo 4. Cable de acero y sintético 967
1. Cable de acero 967
1.1. Elementos del cable 968
1.2. Extensión de los alambres y cordones 969
1.3. Denominación del cable 971
1.4. Propiedades mecánicas de los cables 972
1.5. Conservación y mantenimiento del cable 974
1.6. Tipos de cable más utilizados en el ámbito forestal 976
2. Cable sintético 977
2.1. Conservación y mantenimiento 977
3. Tambores 978
3.1. Dirección de enrollamiento del cable en el tambor y forma de desenrollado 979
4. Accesorios 981
4.1. Enganches, eslabones y ganchos 981
4.2. Eslingas 982
4.3. Terminales de cable 983
4.4. Guardacabos 983
4.5. Abrazaderas 984
5. Bibliografía 985

Glosario

Glosario aprovechamiento de los productos madereros 989
Glosario del corcho 1011
Glosario del aprovechamiento resinero 1015

Presentación

Este libro surge en el ámbito universitario con la vocación de ser un recurso docente que contribuya al aprendizaje de la disciplina de Monte e Industria para los alumnos del Grado de Ingeniería Forestal de la Universitat de Lleida. Aunque en los diferentes capítulos que componen el libro el lector puede encontrar un gran volumen de información, el objetivo del mismo pretende ir más allá de esta recopilación y quiere ser un punto de reflexión y debate de todos los condicionantes que influyen en el aprovechamiento de los productos de nuestros montes y, más concretamente, de los productos madereros. Hoy en día, precisamente, existe una gran sensibilidad social sobre este aspecto y se ha planteado en numerosas ocasiones interrogantes sobre las necesidades reales de estos aprovechamientos y del cómo deben ejecutarse. Las razones y las justificaciones de la extracción de los productos forestales nos las proporcionan otras disciplinas forestales como son la Ordenación y la Selvicultura, correspondiendo a la materia que nos ocupa elegir el cómo y el cuándo, teniendo en cuenta los condicionantes ecológicos, técnicos, sociales, económicos y de la industria propios de cada situación.

La estructura del libro responde, en parte, al sesgo del editor, que inició su carrera profesional en una administración forestal, lo que justifica que algunos de los capítulos del mismo recogen los matices propios de la gestión pública. El libro se divide en tres grandes unidades. La primera, que abarca los 4 primeros capítulos, analiza el concepto de aprovechamiento forestal, los actores que intervienen en el mismo, la realidad jurídica del espacio donde se llevan a cabo, los diferentes destinos industriales de los productos madereros, las unidades comerciales en las que se suele expresar el precio de los mismos y el marco legal que regula su aprovechamiento. La segunda unidad, que abarca los siguientes 8 capítulos, analiza las diferentes técnicas del apeo, procesado, saca y transporte de los productos hasta la industria de destino. Finalmente, la tercera unidad, que abarca cuatro capítulos, aborda aspectos complementarios como la redacción de un Pliego de Prescripciones Técnico Facultativas, la estimación del precio de la madera en pie, la planificación de las vías forestales necesarias para la realización de estas operaciones o la seguridad y la salud de los trabajadores que intervienen en estos trabajos. El libro se complementa con 4 anejos y un glosario que recoge una definición del término y su traducción al catalán y al inglés. Al glosario se puede acceder a partir del enlace establecido en cada término cuando aparece por primera vez en el texto. A lo largo del texto el lector podrá también visualizar más de 30 vídeos mediante los enlaces que se recogen en los diferentes capítulos. El carácter electrónico del libro facilita la posibilidad de interaccionar recursos docentes de diferentes formatos y una constante actualización y revisión de los contenidos. En este sentido, está previsto en un futuro, esperemos que cercano, la ampliación de esta edición con un conjunto de casos prácticos que aborden las situaciones especiales de los montes aterrazados, los montes quemados, la extracción de la biomasa y la extracción del corcho.

Por último, quiero dar las gracias a los compañeros que lo han hecho posible. Primero, a los diferentes autores que han participado en la redacción de los diferentes capítulos y que han mostrado una gran disponibilidad e interés y, segundo, a los que han participado en su revisión. De estos últimos, quiero agradecer de forma especial a Álvaro Aunós sus ánimos, comentarios, correcciones y el enfoque de muchos de los capítulos de este libro. También quiero agradecer a Manuel Garasa, profesor de esta disciplina en la Universidad durante más de 25 años, todos sus

consejos y comentarios y el enfoque técnico y aplicado con el que desarrolló esta disciplina. Sin ellos este libro no habría visto la luz. También quiero agradecer a Miquel Casas su participación en los vídeos de apeo manual y a Iñaki Lorenzo la cesión de las imágenes de desembosque con cable grúa grabadas con dron. Otros compañeros que están al pie del cañón como Enrique Arrechea, Álvaro Hernández, Carlos del Peso o Javier Plaza también me han aportado valiosos comentarios. Gracias a todos.

Dos años después de la publicación de la primera edición nuestra esperanza se ha visto cumplida con la publicación de una nueva edición ampliada y corregida. Esta nueva edición incorpora 7 casos particulares sobre la extracción de productos forestales y 3 casos prácticos sobre la resolución de algunos ejercicios en este ámbito. En su redacción han participado numerosos autores, que pertenecen a diferentes empresas e instituciones que trabajan en el ámbito forestal. En total, en esta nueva edición han participado 30 autores. A todos ellos les doy las gracias por su desinteresada participación y comparto su deseo de que esta nueva edición puede ser útil al lector.

El coordinador

Parte I
Capítulos teóricos

Los productos madereros. Comercialización, unidades comerciales y marco legal

Capítulo 1
Los productos forestales

Jesús Pemán García

1. El concepto de aprovechamiento forestal

Los términos más sencillos e intuitivos y que cuentan con un larga tradición en su uso son, con frecuencia, los más difíciles de precisar y acotar desde el punto de vista terminológico. El concepto de aprovechamiento forestal responde a este tipo. La interpretación común del término nos indica que hace referencia, como corresponde a un verbo transitivo, a la acción de aprovechar los productos forestales. Este aprovechar implica, intuitivamente, la extracción del producto del monte y la obtención de un beneficio o utilidad del mismo. A esta interpretación responderían las palabras de Herreros Butragueño (1916) cuando indicaba: "cuando los montes dominaban sobre la superficie de la tierra, el hombre tomaba de ellos lo que necesitaba, sin cuidarse de su conservación. Con la disminución de la superficie forestal se ha dejado sentir la necesidad de la conservación, y ésta se encuentra en relación con el modo y cuánto de los aprovechamientos".

Como se desprende de la cita anterior, el concepto de aprovechamiento forestal era muy amplio y abarcaba al cuánto y al cómo se aprovechaba. La amplitud del concepto queda, aún, más patente cuando este mismo autor indica: " Determinar la cantidad, clase, y forma de hacer los aprovechamientos de los montes para obtener, sin perjuicio de su conservación, la mayor renta posible, sólo se consigue con un estudio detenido del monte...esto es lo que constituye el proyecto de ordenación del monte. Difícil es, en la actualidad, llevar este estudio a la totalidad de los montes públicos, por lo que se ha adoptado el sistema de planes provisionales de aprovechamientos para los montes que no han podido ser ordenados. Tienen por objeto dichos planes la determinación, a la ligera, de los productos que pueden aprovecharse sin perjuicio de la conservación del monte...el aprovechamiento debe ajustarse estrictamente á lo establecido en los pliegos de condiciones facultativas"

Esta interpretación del término ha perdurado hasta la actualidad, no constando ninguna definición del mismo en las leyes básicas de montes de 1863 y 1957, aunque si una completa regulación en sus respectivos reglamentos. El Reglamento de 1865 le dedicaba todo el título VII y en el reglamento de 1962 todo el libro II hace referencia a los aprovechamientos e industrias forestales. Esta regulación, todavía vigente en números artículos, abarca distintos aspectos de los aprovechamientos, como son:

1. Qué se aprovecha. Es decir, los productos forestales objeto del aprovechamiento. Así, se habla de aprovechamientos maderables o leñosos, de pastos, de esparto y albardín, de corcho, de resinas, etc.

2. Dónde se aprovecha. Es decir, la naturaleza jurídica del monte donde tienen lugar los mismos. Así, se distingue entre aprovechamientos en montes catalogados y montes no catalogados.

3. Cómo se aprovecha. Hace referencia al modo de ejecutarse los aprovechamientos.

Con el nuevo marco jurídico y administrativo, propiciado por la aprobación de la Constitución de 1978, las normas forestales aprobadas tanto por el Estado como por las Comunidades Autónomas han introducido una matizada interpretación, aunque diversa, del concepto (tabla 1.1).

De todo este conjunto de definiciones, algunas particularmente desafortunadas, se puede concluir que el concepto de aprovechamiento tiene las siguientes características:

1. La identificación del concepto de aprovechamiento con el de producto forestal. Lo hace así la propia ley de Montes del Estado de 2003 (LM) y es un claro error. En algunas de estas definiciones el concepto de aprovechamiento se extiende a los usos y servicios del monte, como así recoge también la propia LM. Incorporarlos en la definición de aprovechamiento ha generado, como expone García-Asensio (2017), una confusión en la naturaleza jurídica del término en algunos tipos de montes. Así, en los montes de dominio público, los aprovechamientos de los productos forestales y el régimen de usos del monte tienen una regulación legal muy diferente (ve artículo 15 y 36 de la LM).

Tabla 1.1. Definiciones del término aprovechamiento forestal en la legislación forestal.

Ámbito	Definición
Estado L 43/2003, de 21 de noviembre, de Montes (LM)	los maderables y leñosos, incluida la biomasa forestal, los de corcho, los de resina, pastos, caza, frutos, hongos, plantas aromáticas y medicinales, productos apícolas y los demás productos y servicios con valor de mercado característicos de los montes (art. 6).
Andalucía L 2/1992, 15 de junio, Forestal de Andalucía	Podrán ser objeto de aprovechamiento forestal las maderas y leñas, corcho, frutos, pastos, fauna cinegética, plantas aromáticas y medicinales, setas y los demás productos de los terrenos forestales (art. 61).
Principado de Asturias L 37/2004, de 23 de noviembre, Montes y Ordenación Forestal	a toda utilización de los recursos del monte, comprendiendo tanto a los renovables como a los no renovables, así como los usos recreativos, educativos, culturales y, en general, todos aquellos que potencialmente puedan generar ingresos para el propietario (art. 39.1).
Castilla y León L 3/2009, de 6 abril, de Montes	la utilización de los productos y recursos naturales renovables que se generan en el monte como consecuencia de los procesos ecológicos que en él se desarrollan (art. 42).

Ámbito	Definición
Cataluña L 6/1988, de 13 de marzo, Forestal	las maderas, leñas, cortezas, pastos, frutos, resinas, plantas aromáticas, plantas medicinales, setas (incluidas las trufas), productos apícolas y, en general, los demás productos propios de los terrenos forestales (art. 46).
Comunidad de Madrid L 16/1995, de 4 de mayo, Forestal y de Protección de la Naturaleza	se denomina aprovechamiento a todo uso del monte o utilización de sus recursos que, al menos potencialmente, pueda generar ingresos (art.76.1). Podrán ser objeto de aprovechamiento forestal las maderas, leñas, cortezas, frutos, resinas, pastos, plantas aromáticas y medicinales, setas, productos apícolas, los usos recreativos y los recursos culturales o educativos, además de otros productos característicos de los terrenos forestales (art. 76.2).
Comunidad Foral de Navarra L 13/1990, de 31 de diciembre, Protección y Desarrollo del Patrimonio Forestal	se considerarán aprovechamientos forestales: los maderables y leñosos, incluida la biomasa forestal, pastos, caza, frutos, plantas aromáticas y medicinales, setas y trufas, productos apícolas y los demás productos, servicios y actividades recreativas, educativas o culturales, con valor de mercado, propias de los montes (art. 52).
Comunitat Valenciana L 3/1993, de 9 de diciembre, Forestal	son aprovechamientos forestales las maderas, leñas, cortezas, pastos, frutos, resinas, plantas aromáticas, plantas medicinales, setas y trufas, productos apícolas y, en general, los demás productos y subproductos propios de los terrenos forestales, así como los servicios con valor de mercado característicos de los montes (art. 31).
Galicia L 7/2012, de 28 de junio, de Montes	...los recursos forestales que en él se producen, tanto madereros como no madereros, incluyendo, entre otros, la madera, la biomasa forestal, los pastos, los aprovechamientos cinegéticos, las setas, los frutos, los corchos, las resinas, las plantas aromáticas y medicinales y los productos apícolas, teniendo derecho a su aprovechamiento... (art. 84).
Álava: Norma Foral 11/2007, de 26 de marzo, de Montes	utilización directa de productos obtenidos de los sistemas forestales, como madera, leña, pastos, flores, frutos, setas y otros (art. 2).
Guipúzcoa: Norma Foral 7/2006, de Montes	los que generan productos de interés económico, en el monte, tales como: Maderas, leñas, cortezas, pastos, frutos, plantas aromáticas y medicinales, setas y productos apícolas, actividades extractivas de minas y canteras, etc., fuentes de materias primas, por lo general, en la esfera de los bienes privados (art. 44).
La Rioja L 2/1995, 10 febrero, Montes	Los maderables y leñosos, los pastos, la caza, los frutos, plantas aromáticas y medicinales, setas, trufas, productos apícolas y los demás productos propios de los montes (art. 62).

2. Falta de definición del concepto de producto forestal. El objeto del aprovechamiento son los productos forestales, entendidos como los recursos del monte. La mayoría de las legislaciones no definen el concepto de producto forestal limitándose a la enumeración de algunos de ellos. No obstante, otras normas hacen un esfuerzo para realizarlo, siendo los elementos más característicos de estas definiciones los siguientes (García-Asensio 2017): i) el soporte físico donde se producen, ii) su naturaleza y iii) su capacidad de generar un beneficio o utilidad al propietario.

2.a. El soporte físico donde se generan. El monte es el soporte físico que genera los productos forestales, razón por la cual, por ejemplo, la pesca fluvial no se considera un producto forestal, ni es objeto de aprovechamiento ni regulación por una ley de montes. En el caso de la caza tendrá la consideración de producto forestal cuando haga referencia a las especies

cinegéticas que pueblan los montes excluyéndose, obviamente como tal, la que se produce sobre otros terrenos como, por ejemplo, los agrícolas.

2.b. La naturaleza del producto. Los productos forestales son recursos tangibles, corpóreos que pueden estimarse y valorarse y son propios de los terrenos que tiene la condición de monte. No entrarían aquí, por tanto, algunos de los servicios ecosistémicos propios de los montes como son la absorción de CO_2, la calidad del agua o del aire, por su carácter de intangibles o incorpóreos. Merece comentario especial el caso de los cultivos agrícolas en los montes. Aunque las definiciones anteriormente contempladas ya no los refieren como tales todavía se conservan algunos cultivos agrícolas en los montes catalogados, dándoles la naturaleza de aprovechamiento forestal. Esta incompatibilidad, entre el cultivo agrícola en un soporte que tiene la naturaleza de monte, obedecía, probablemente, a la necesidad que había antaño de mantener cierta superficie dedicada a dichos cultivos para atender a unas necesidades de carácter social.

2.c. Su capacidad de generar beneficio o utilidad al propietario de los mismos. El producto forestal que es objeto del aprovechamiento produce un beneficio al titular del mismo. Ese beneficio, al contrario de cómo detallan algunas definiciones, no tiene por qué tener un precio de mercado o tener la capacidad de provocar un ingreso económico. Pueden tener otra utilidad o generar un beneficio que no tenga una expresión económica. Ejemplos que ilustran este significado son los productos forestales que son objeto de aprovechamiento en los montes comunales o los aprovechamientos domésticos de leñas.

3. La sostenibilidad o conservación es el principio que dirige la utilización de los productos o recursos de los montes. Aunque las diferentes definiciones antes comentadas no hacen referencia explicita a este carácter subyace en la esencia del aprovechamiento forestal, que es consecuencia de la gestión forestal que sobre el monte se realiza, como se pudo comprobar en la cita anterior de Herreros Butragueño (1916) y se expone en el artículo 32 de la LM cuando indica: “los montes deben ser gestionados de forma sostenible, integrando los aspectos ambientales con las actividades económicas, sociales y culturales, con la finalidad de conservar el medio natural al tiempo que generar empleo y colaborar al aumento de la calidad de vida y expectativas de desarrollo de la población rural”. En el caso de las cortas de madera, hay que tener en cuenta que estas son la consecuencia del tratamiento selvícola que ha diseñado el selvicultor para que la masa forestal que gestiona cumpla los fines que de ella se demandan. La norma forestal guipuzcoana es más explícita en este aspecto, al indicar que los aprovechamientos: “se realizarán bajo los principios de sostenibilidad y máximo de utilidades, armonizando la utilización racional de los mismos, con la adecuada conservación del medio natural y la máxima estabilidad de la masa forestal, de modo que se mantenga su biodiversidad, productividad, capacidad de regeneración, vitalidad y su potencial para atender, en la actualidad y en el futuro, las funciones ecológicas, económicas y sociales relevantes en el territorio” (Diputación Foral de Guipúzcoa 2006).

A partir de estas consideraciones se podría concluir que el aprovechamiento forestal es la utilización o disfrute sostenible de los diferentes recursos o productos forestales que tengan la capacidad de producir un beneficio o utilidad al propietario del monte donde se generen.

Desde un punto de vista más técnico que jurídico, el aprovechamiento forestal se entiende, también, como la extracción o utilización de los recursos o productos que genera el monte. Por tanto, hace referencia a las diferentes operaciones que se precisen para dicha extracción. Esta acepción está en nuestro país fuertemente arraigada. Así, la literatura técnica publicada en el siglo pasado asociaba el concepto de aprovechamiento forestal exclusivamente al de la madera y utilizaba como sinónimo el término de explotación forestal (Maza de la 1970, Valladares 1975). El concepto de explotación forestal era definido por Maza (1970) como "la técnica de extracción de la madera del monte y su entrega hasta el lugar de utilización, mientras que Valladares (1975) lo definía como el "conjunto de etapas por las que pasa la madera en rollo y los subproductos que se obtienen, desde que un árbol es derribado, hasta su descarga en la estación o parque de recepción de la madera". Este término también fue utilizado con frecuencia en la literatura hispanoamericana, como lo demuestran los diferentes manuales editados por la FAO, aunque refiriéndose exclusivamente a la explotación maderera (FAO 1984). Se considera, por tanto, que el término de explotación forestal es sinónimo de aprovechamiento forestal, aunque como reconoce el Diccionario Forestal, se trata de una "denominación en desuso, por sus connotaciones de agotamiento del recurso, que no responden a la actual gestión técnica forestal, que emplea el aprovechamiento como herramienta para la conservación y mejora de los recursos forestales" (SECF 2005). Sobre este aspecto merece que se tenga presente la reflexión que en su momento ya realizó Joaquín María de Castellarnau al indicar: "permítaseme que lance un anatema contra todos aquellos, y son muchos, que dominados por un mercantilismo desmedido, al penetrar en un monte no saben ver en él más que metros cúbicos de madera, quintales de corcho o kilos de miera, como dicen muy bien los señores Ceballos y Vicioso. De ésos no es de extrañar que hablen como cosa corriente de la "explotación de montes", en vez de emplear la palabra más suave y piadosa de "aprovechamiento"; pues explotar es hacer un negocio exclusivamente en nuestro provecho y en perjuicio de quien se explota" (Castellarnau 1933).

2. Tipos de productos forestales

La clasificación más clásica y sencilla, admitida por la mayoría de las legislaciones y organizaciones internacionales, considera dos tipos: i) Productos madereros y leñosos, ii) Productos forestales no madereros.

Los productos madereros y leñosos hacen referencia a los se basan en la madera y en las leñas. La madera se entiende como "el material en forma de árboles en pie o apeados o productos obtenidos después de su transformación" (SECF 2005). Hoy en día se tiende a sustituir el adjetivo maderable por el de maderero. Aunque la mayor parte de la legislación y la terminología administrativa utiliza maderable, el ámbito académico e hispanohablante se inclina más por

maderero (Tolosana et al. 2000, Sociedad Española de Ciencias Forestales 2005). El término que parece más correcto es el segundo, de acuerdo con el significado de ambos adjetivos según el Diccionario de la Real Academia de la Lengua. Así, por maderable entiende "que da madera útil para cualquier obra de carpintería", mientras que por maderero, "perteneciente o relativo a la industria de la madera".

Los productos forestales no madereros (PFMN) son todos aquellos que no son madereros o leñosos (figura 1.1.). La LM presenta una relación incompleta, al indicar "los de corcho, los de resina, pastos, caza, frutos, hongos, plantas aromáticas y medicinales", aunque deja la puerta abierta a cualquier otro cuando indica "los demás productos [...] con valor de mercado característicos de los montes". La importancia de estos productos es cada vez mayor en los mercados nacionales e internacionales y es clave para la subsistencia de muchas comunidades rurales, como lo demuestran las encuestas de la FAO (FAO 2010). Según su última encuesta, las principales categorías de estos productos son: i) Alimentos, principalmente de origen vegetal (frutos secos, semillas de oleaginosas, setas, etc.), ii) Exudados (resinas, goma arábiga, caucho, etc.), iii) Otros productos vegetales (cortezas, corcho, etc.), iv) Miel silvestre y cera de abejas, v) Plantas ornamentales (abetos de Navidad), vi) Materias primas para medicamentos y productos aromáticos, vii) Carne de caza, viii) Materias primas para utensilios, productos de artesanía y construcción (hojas de pandán, ratán, mimbres, espartos, etc.), ix) Animales vivos, x) Cueros, pieles y trofeos. Sobre su importancia económica, baste decir que en países como China, Corea o la Federación Rusa su importe supera al de la madera en rollo (tabla 1.2). En España, el 63% del valor de los aprovechamientos forestales se corresponden con los productos madereros mientras que los PFNM representan el 35%. Probablemente, hoy en día, estos porcentajes hayan variado, por el incremento de alguno de ellos, como el de las setas.

Tabla 1.2. Valor de los aprovechamientos de productos madereros, leñas y de los productos forestales no madereros (PFNM) en el año 2005, en millones de dólares estadounidenses (FAO 2010).

País	Madera en rollo		Leñas		PFNM	
	Valor (M$ USA)	%	Valor (M$ USA)	%	Valor (M$ USA)	%
China	4 140	47			4 735	53
R. Corea	334	15	43	2	1 859	83
India	6 253	46	7 095	53	133	1
Austria	1 233	74	297	17	144	9
Chequia	850	82	21	2	165	16
Finlandia	2 632	92	88	3	133	5
Alemania	2 589	76	238	7	563	17
Italia	209	24	335	28	329	38
Portugal	383	47	15	2	420	51
F. Rusa	2 861	35	234	3	5 139	62
España	915	63	29	2	514	35
Suecia	2 933	88	273	8	120	4

País	Madera en rollo		Leñas		PFNM	
	Valor (M$ USA)	%	Valor (M$ USA)	%	Valor (M$ USA)	%
Reino Unido	367	75	9	2	111	23
EE.UU.	22 599	93	312	2	1 327	5
Australia	1 255	81			288	19
Brasil	2 559	62	1 259	31	279	7

Los principales PFNM en España son el corcho, la resina, los frutos como la castaña y el piñón y las trufas y hongos (tabla 1.3).

Figura 1.1. Productos forestales no madereros. Pie de *Pinus pinaster* resinado (izquierda), ejemplares de *Boletus edulis*, una de las setas más apreciadas por su sabor y textura (superior derecha) y panas de corcho a la entrada de una industria taponera (inferior derecha) (Fotos: J. Pemán).

Tabla 1.3. Producción en España en 2018 de productos forestales no maderables (MAPA 2018).

PFNM	Producción (t)
Corcho	59 869
Resina	12 246
Castaña	10 505
Piñón	861
Trufas, hongos	12,1

¿Qué hemos aprendido? Lo forestal en los libros de texto y en la educación ambiental

Tolosana E (2014) ¿Qué hemos aprendido ? Lo forestal en los libros de texto y en la educación ambiental

La actividad forestal, y en particular el aprovechamiento de los recursos madereros, se denota a través de los términos "tala" (70%) y "explotación" (17%), ambos términos con connotaciones de agotamiento de recursos, de acuerdo con el Diccionario de la Real Academia de la Lengua, y prácticamente no aparece (sólo en una de las 109 referencias en los 22 textos) el término técnico empleado desde hace décadas por los forestales, "aprovechamiento", término recogido explícitamente por el Diccionario de la Real Academia de la Lengua.

En cuanto a la adjetivación de estos términos, aparecen connotaciones negativas (por ejemplo, "talas" seguido de adjetivos como "incontroladas", "masivas", "indiscriminadas", "excesivas", "abusivas"; "explotación" seguido de "indiscriminada"; "extracción" seguido de "abusiva" o "ilegal/informal") en un elevado porcentaje del total, un 25% de las referencias en textos de contenido biológico y en un 35,1% de los casos en textos de contenido geográfico.

Por ello, se consideran erróneas con carácter general las siguientes afirmaciones extraídas de los textos: "deforestación causada por la tala incontrolada de bosques y selvas para .... Fabricar papel"; "factores de desertización son el clima, la pendiente, la vegetación y actividades humanas como la tala de árboles..."; entre las causas de la deforestación, "tala masiva de bosques para utilizar la madera...", "la sobreexplotación debida al uso intensivo de los bosques para la obtención de pasta de papel y madera", "explotaciones madereras indiscriminadas ... por compañías extranjeras", "obtención de madera para muebles y celulosa para fabricar papel..." o "talas masivas de árboles para la industria del mueble"; Como causa de desertización, "la tala excesiva de árboles para obtener madera para la construcción (puertas y ventanas), para fabricar muebles o para obtener papel desnuda el suelo y lo somete a una erosión que lo va degradando...", en otro texto, "las talas indiscriminadas de los bosques", en un tercero "la tala abusiva de bosques para utilizar su madera", en otro más "deforestación por tala de árboles con destino a leña o para madera" y, finalmente, "la tala de árboles y destrucción de la vegetación"; entre las amenazas para el bosque, "la excesiva tala que padecen nuestros bosques, se debe a la demanda de madera para la construcción o la fabricación de papel"; "El futuro mundial de los bosques... es poco prometedor... De seguir como hasta ahora, en 2020 se habrá talado el 60% de los árboles de madera útil para la industria del papel". En un ejercicio, se presenta a los alumnos una foto de un operario aserrando una tabla y se pregunta "¿Qué tipo de transformación del ecosistema se aprecia en la foto?" y "Por qué está disminuyendo la superficie forestal", se proponen como respuestas correctas "deforestación" y "por la creciente demanda de madera de los países ricos".

Frente a esas afirmaciones poco fundadas o que pueden llevar a una criminalización injustificada de las actuaciones forestales, como las precedentes, hay importantes avances en los textos analizados, frente a los estudios anteriores, en que se reconoce la importancia del uso agrícola o la recogida de leñas en los procesos de deforestación, y se valora el papel del desarrollo en la reducción de esos fenómenos. Uno de los textos presenta un mapa nocturno en que se ven miles de fuegos intencionados para crear áreas de cultivos, en otro se afirma acertadamente que serían medidas contra la deforestación "la explotación planificada y sostenible de los terrenos" y se reconoce que para luchar contra desertización y degradación "habría que comenzar por mejorar sus condiciones de vida y erradicar la pobreza que padecen".

3. Los aprovechamientos de productos madereros

El recurso forestal maderero en España, según los datos de los inventarios forestales nacionales 3 y 4, se estima en más de 1 000 Mm^3. Según el tercer Inventario Forestal Nacional (IFN3) las existencias de madera de coníferas son un 57% y las de frondosas un 43% (MAGRAMA 2011). Galicia es la Comunidad Autónoma (CA) con un mayor número de existencias, superando los 192 Mm^3, seguida de Castilla y León con 153 Mm^3 y de Cataluña con 151 Mm^3 (tabla 1.4).

La cantidad mayor de existencias corresponde a los árboles de diámetro entre 15 y 25 cm (262 Mm^3), seguido de los de la clase diamétrica entre 25 y 35 cm (212 Mm^3) y de la clase entre 5 y 15 cm (207 Mm^3).

Tabla 1.4. Existencias de madera por Comunidad Autónoma (CA) según el Inventario Forestal Nacional 4 (*: Inventario Forestal Nacional 3) (MAGRAMA 2011).

Comunidad Autónoma	Coníferas (miles m^3)	Frondosas (miles m^3)	Total (miles m^3)
Andalucía*	43 854	31 117	74 971
Aragón*	62 094	12 245	74 338
Principado de Asturias			60 972
Illes Balears			8 971
Islas Canarias*	10 670	2 873	13 544
Cantabria			27 573
Castilla-La Mancha*	67 328	16 406	83 734
Castilla y León*	93 908	59 864	153 772
Cataluña			151 492
Comunidad Foral de Navarra			60 242
Comunidad de Madrid			14 599
Comunitat Valenciana*	17 968	2 097	20 065
Extremadura			42 296
Galicia			192 914
País Vasco			62 607
Región de Murcia			9 116
La Rioja			20 850
TOTAL			1 072 056

En el aprovechamiento maderero se suele aprovechar el fuste hasta un diámetro mínimo, diámetro en punta delgada, que viene determinado por la industria y que puede oscilar, según cual sea esta, entre 6 y 10 cm. Al fuste desramado y descopado se le denomina madera en rollo y es la que se aprovecha por la industria. Como apuntaba Jordana (1900), la madera en rollo no está descortezada ni labrada (figura 1.2). A cada uno de los extremos del rollo se le denomina testa. A la testa de mayor diámetro se le denomina coz o punta gruesa. Es frecuente utilizar el término raigal para referirse a la misma, que en morfología vegetal hace referencia al engrosamiento de

la parte inferior del fuste. En el ámbito de los aprovechamientos también es frecuente su uso para referirse a la raíz del árbol. A la testa de menor diámetro se la denomina cogolla o punta delgada.

La madera en rollo es destinada a una aplicación industrial que puede llevar implícita sucesivas transformaciones, como por ejemplo la trituración (industrias de la pasta de papel, tableros derivados de la madera, biomasa), el aserrado (industria de aserrío) o el desenrollo para la obtención de chapa (industria de chapa e industria de tableros contrachapados). La madera en rollo se puede comercializar en piezas enteras o cortadas a unas dimensiones normalizadas que suele establecer la industria de destino. En el lenguaje coloquial las piezas resultantes reciben diferentes nombres y tienen distintos significados según la industria que los utilice (figura 1.3):

- Troza. Su destino es para sierra o chapa.

- Rollizo. Su destino es para trituración. En construcción se denomina rollizo al tronco descortezado sin labrar, utilizado como elemento estructural en cubiertas, forjados y postes. También se refiere como rollizo al tronco descortezado, labrado y tratado en autoclave para su uso en vallas.

- Tronquillo. Madera que no sirve para desenrollo o cualquier otro uso industrial. Su destino suele ser la trituración. En chopo también se hace referencia con este nombre a las trozas de hasta 14 cm en punta delgada destinadas a aserrío.

- Apea. Se hace referencia con este término a la madera delgada, con unas dimensiones entre 7,5 y 20 cm en punta delgada. Su destino suele ser el papel o el tablero de partículas. Antiguamente este producto también se utilizaba para el entibado de minas.

Figura 1.2. Medición de la longitud de la madera en rollo antes de realizar el tronzado (izquierda) y coz o punta gruesa del fuste (derecha) (Fotos: J. Pemán).

La parte superior del tronco del árbol que resulta de la operación de despunte o descopado se le denomina raberón. La longitud del raberón la determina el diámetro en punta delgada. El raberón es un residuo o resto de la corta. La parte del árbol que queda arraigada en el suelo

después del apeo se le denomina tocón. En especies no rebrotadoras de cepa el tocón se deja intacto. Se suele extraer o triturar, *in situ*, en el caso de choperas o eucaliptales después de la corta final y antes de la nueva plantación. En el caso de aprovechamientos con fines energéticos se ha valorado su extracción (IDAE 2007).

Figura 1.3. Trozas para sierra (izquierda) y rollizo o apea para trituración y producción de pasta colocado en pilas o cambras al borde la pista (derecha) (Fotos: J. Pemán).

3.1. Volumen de cortas

El volumen de cortas de los aprovechamientos madereros en el año 2018 fue de 19,7 Mm^3 con corteza, cifra record en los últimos 30 años (figura 1.4). La distribución de las cortas entre las especies de coníferas y frondosas fue similar.

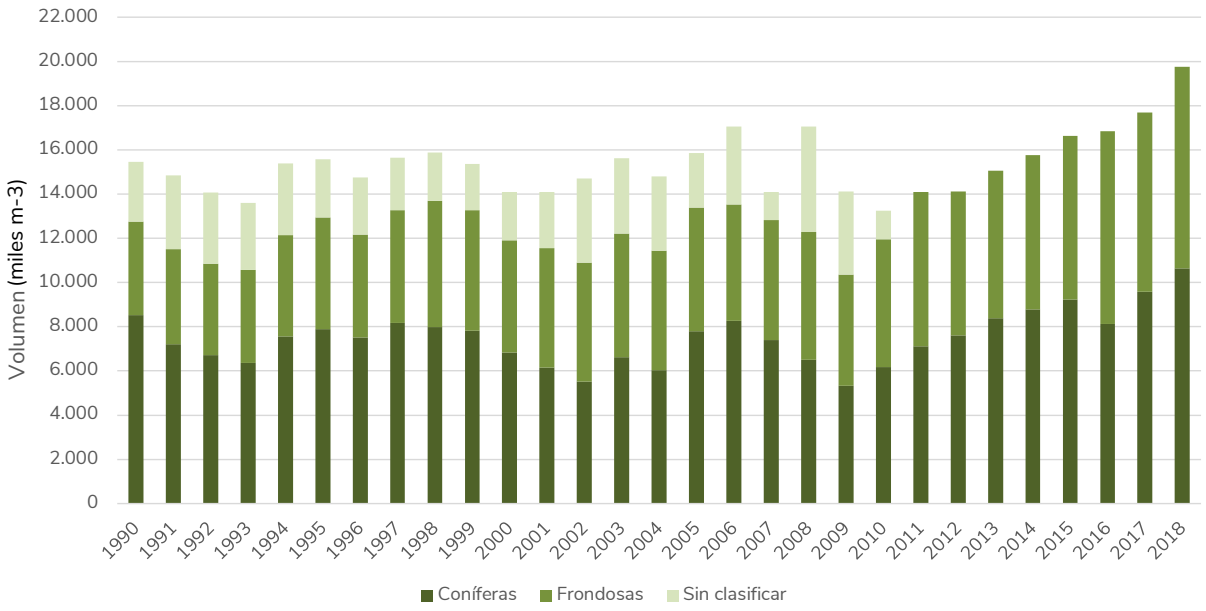


Figura 1.4. Evolución de las cortas de madera en miles m^3 con corteza en España (Fuente: Anuario de Estadística Forestal 2018).

En cuanto a la distribución territorial de las cortas se observa que estas se concentran en el norte y oeste peninsular, sobre todo en Galicia, País Vasco, Castilla y León, Principado de Asturias y Cantabria (tabla 1.5).

Analizando las cortas por especie, el 40% corresponden al eucalipto, seguido de *Pinus radiata* con el 26% y *Pinus pinaster* con el 16% (tabla 1.6). Con un porcentaje menor, *Pinus sylvestris* registró el 6% de las cortas, *Populus* spp. el 4% y *Pinus nigra* el 3%. El resto de las especies tienen un volumen de cortas inferior al medio millón de metros cúbicos.

Tabla 1.5. Volumen de cortas por tipo de especie y Comunidad Autónoma en 2018 (MAPA 2018).

Comunidad Autónoma	Coníferas (m^3 c.c.)	Frondosas (m^3 c.c.)	Total (m^3 c.c.)	Porcentaje respecto del total (%)
Andalucía	57 306,71	417,69	57 724,40	0,3
Aragón	168 570,29	13 365,15	181 935,44	0,9
Principado de Asturias	556 190,48	928 387,88	1 484 578,36	7,5
Illes Balears	6 675,55	1 667,7	8 343,25	0,04
Cantabria	151 666	728 381,49	880 047,49	4,4
Castilla-La Mancha	273 461,6	53 144	326 605,60	1,6
Castilla y León	1 496 785,46	574 991,57	2 071 777,03	10,5
Cataluña	700 674	52 399	753 073	3,8
Comunidad Foral de Navarra	336 024	119 712	455 736	2,3
Comunidad de Madrid	27 917,4	5 365,71	33 283,11	0,2
Comunitat Valenciana	26 350,64	5 159,66	31 510,3	0,2
Extremadura	371 631,33	198 245,7	569 0877,03	2,9
Galicia	3 856 609	6 170 391	10 027 000,00	50,8
País Vasco	2 506 247,15	203 185,3	2 709 432,45	13,7
Región de Murcia		4 525,13	4 525,13	0,01
La Rioja	107 708,7	44 184,5	151 893,20	0,8
Total	10 643 818,3	9 103 523,48	19 747 341,8	

Tabla 1.6. Volumen de cortas (m^3) por especie en 2018. Se refieren las provincias donde se corta más dicha especie (MAPA 2018).

Especie	Cortas (m^3)	Provincia	Especie	Cortas (m^3)	Provincia
Eucalyptus globulus	6 487 498,78	C, LU, O, S, PO, BI	*Pinus radiata*	5 079 099,88	LU, BI, SS, OV, C, S, VI
Eucalyptus spp.	1 326 044,11		*Pinus pinaster*	3 151 010,61	C, PO, LU, CC, OR, GI, OV, SG
Populus x euramericana	490 570,61	LE, ZA, BU,LOw	*Pinus sylvestris*	1 275 061,23	SO, BU, LE, B, L, TE
Populus spp.	243 334,09		*Pinus nigra*	534 889,81	NA, LE,L, B, LO
Quercus robur	154 090,62	C, LU, OR, PO	*Pinus halepensis*	203 922,07	B, GI, Z, T
Fagus sylvatica	93 670,43	NA	*Pinus pinea*	168 876,2	BA, VA, B, CU,GI

Especie	Cortas (m³)	Provincia	Especie	Cortas (m³)	Provincia
Castanea sativa	68 111,37	OV, CC, C, LU, SA	*Pinus spp.*	77 825,45	
Quercus ilex	63 255,47	SA, ZA, SG	*Pseudotsuga menziesii*	32 607,34	LO, SS, NA, GI, LU
Betula spp.	40 610,79	LU, C, OV	*Pinus uncinata*	28 639,51	GI, LE, B
Quercus pyrenaica	40 360,42	LE, SA, B	*Abies alba*	1 1734	LE, NA, GI
Populus alba	17 357,6	LU, C	*Juniperus thurifera*	1 957,81	SO, SG
Quercus rubra	15 661,5	NA, SS	Otras coníferas	61 812,4	
Fraxinus spp.	9 049,97	SA, AV			
Alnus glutinosa	8 905,84	C, LU			
Platanus hispanica	8 050	GI			
Otras frondosas	284 130,08				
Total	9 350 701,68			10 627 436,3	

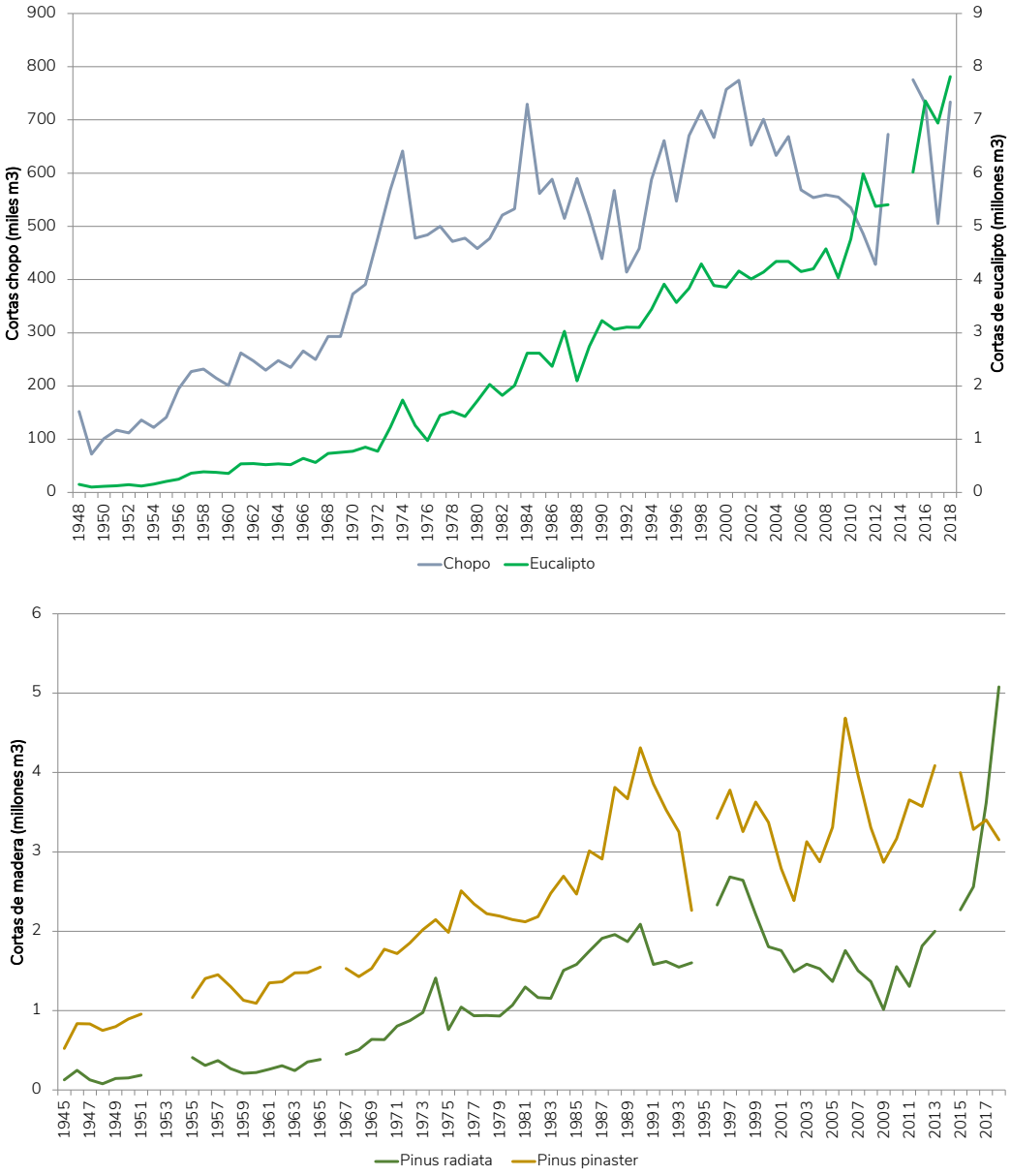


Figura 1.5. Evolución en el tiempo de las cortas de eucalipto y chopo (figura superior) y Pinus pinaster y Pinus radiata (figura inferior) (Fuente: Anuarios Estadística Agraria y Anuarios de Estadística Forestal).

Analizando la evolución en el tiempo de las cortas de las principales especies, se puede observar que el volumen de cortas de eucalipto se ha multiplicado por 50, el de *Pinus radiata* por 40, el de *Pinus pinaster* por 6 y el de chopo por 5 (figura 1.5).

La situación de los bosques y el sector forestal en España

Montero G, Serrada R (2013) La situación de los bosques y el sector forestal en España. Sociedad Española de Ciencias Forestales.

El balance entre el crecimiento neto anual de las masas forestales y la extracción de madera y leña que en ellas se realiza (tasa de extracción) es un indicador cuantitativo de la sostenibilidad y de la eficacia económica de la producción de madera y leña. Una norma básica de la gestión forestal sostenible recomienda no extraer nunca de las masas forestales una cantidad mayor a la de su crecimiento. De esta forma se garantiza que la biomasa del bosque siempre se incremente y nunca disminuya.

En la UE-27 se aprovecha de media cada año, con datos de 2005, el 58,8 por ciento del crecimiento de los bosques. Suecia, Bélgica y Republica Checa se aproximan, con valores por encima del 82%, a una tasa de aprovechamiento pleno. España, con el 41,3%, presenta unos valores inferiores a una posibilidad razonable de corta sostenible. El dato de la tasa de aprovechamiento es un buen indicador para comparar las políticas forestales de los países de la UE-27.

País	Crecimiento (10^3 m^3 $año^{-1}$)	Extracción (10^3 m^3 $año^{-1}$)	Tasa extracción (%)
Alemania	122 000	60 770	49,8
Austria (2000)	31 255	18 797	60,1
Bélgica	5 289	4 475	84,6
Bulgaria	14 120	5 768	40,8
Chipre	40	6	16
Dinamarca	5 176	1 837	35,5
Eslovaquia	11 980	8 962	74,8
Eslovenia	7 277	3 203	44
España (2005)	46 196	19 093	41,3
Estonia	11 015	5 730	52
Finlandia	92 860	64 526	69,5
Francia	102 456	56 623	55,3
Grecia (1990)	3 813	2 979	78,1
Holanda	2 230	1 552	69,6
Hungría	12 899	7 167	55,6
Italia	38 320	10 105	26,4
Letonia	16 500	11 290	68,4
Lituania	9 888	7 238	73,2
Luxemburgo	650	249	38,3
Polonia	67 595	37 156	55
Portugal (2000)	12 900	10 590	82,1
Reino Unido	20 700	9 900	47,8

República Checa	20 500	17 190	83,9
Rumania	34 600	15 900	46
Suecia	91 355	78 127	85,5
Media UE-27	781 614	459 233	58,8

La tendencia decreciente en la producción de productos forestales maderables en toda Europa no coincide con la de los países miembros de la UE-27. En líneas generales, se observa un aumento en los países de la UE-27 de la producción, a diferencia de otras regiones del mundo más industrializadas como América del Norte y Central.

4. Aprovechamientos de leñas

Por leñas se entiende la madera utilizada con fin energético. La extracción de leñas en 2018 ascendió a 1,3 Mt (tabla 1.7). A nivel territorial, Castilla y León es la Comunidad Autónoma con el mayor número de cortas de leñas, con un 27% del total, seguida de Cataluña con un 17%, Extremadura con un 16% y Navarra con un 14%.

Tabla 1.7. Volumen de cortas de leñas en 2018 (Fuente: Anuario de Estadística Forestal 2018).

Comunidad Autónoma	Coníferas (t)	Frondosas (t)	TOTAL (t)
Andalucía	9 217,22	32,14	9 249,36
Aragón	21 552,19	35 195,37	56 747,56
Principado de Asturias	6 527,00	10 062,21	16 589,21
Illes Balears	5 419,53	982,68	6 402,21
Cantabria		12 725,75	12 725,75
Castilla y León	126 783,14	223 963,37	350 746,51
Castilla-La Mancha	66 376,17	53 010,75	119 386,92
Cataluña	49 281,00	174 689,00	223 970,00
Comunidad de Madrid	1 590,96	8 798,44	10 389,40
Comunidad Foral de Navarra	104 561,00	80 781,00	185 342,00
Comunitat Valenciana	16 964,56	1 794,73	18 759,29
Extremadura	262,45	205 453,91	205 716,36
Galicia		44 526,00	44 526,00
País Vasco	37 973,26	3 775,27	41 748,53
Región de Murcia	7 032,52		7 032,52
La Rioja		7 919,00	7 919,00
	453 541,00	863 709,62	1 317 250,62

5. Producción de maderas y leñas en Cataluña

En el contexto de Cataluña, el volumen total de cortas, en el año 2018, fue de 748 289 m^3 con corteza, siendo el 85% realizado en montes privados, de los cuales el 92% fue de coníferas (figura 1.6). Este año representa un volumen ligeramente inferior al máximo de cortas registrando

en 2015. Su evolución en el tiempo muestra una tendencia ascendente en la que ha contribuido el aumento de cortas de madera de coníferas tanto en montes privados y públicos. Debe destacarse, de forma especial, las cortas en montes públicos que el año 2018 supusieron 111 672 m^3, el doble que el año 2014.

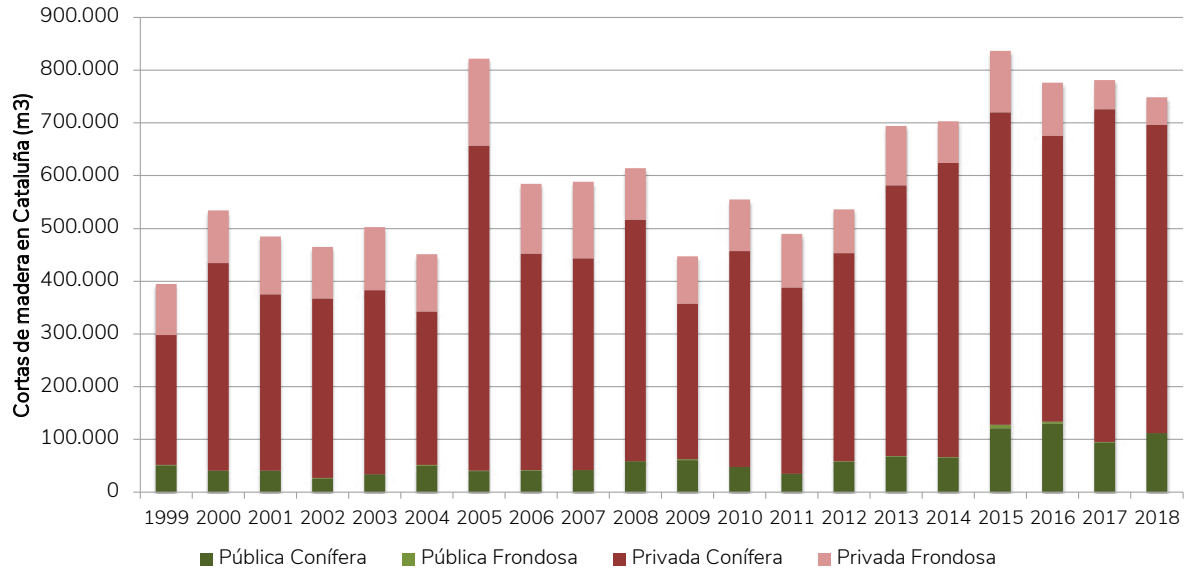


Figura 1.6. Evolución del volumen de cortas de madera en Catalunya desde el año 1999 (Fuente: Observatori Forestal Catalunya).

La producción de leñas en 2018 ascendió a 224 046 t, de las cuales el 48% procedió de especies del género *Quercus* (figura 1.7).

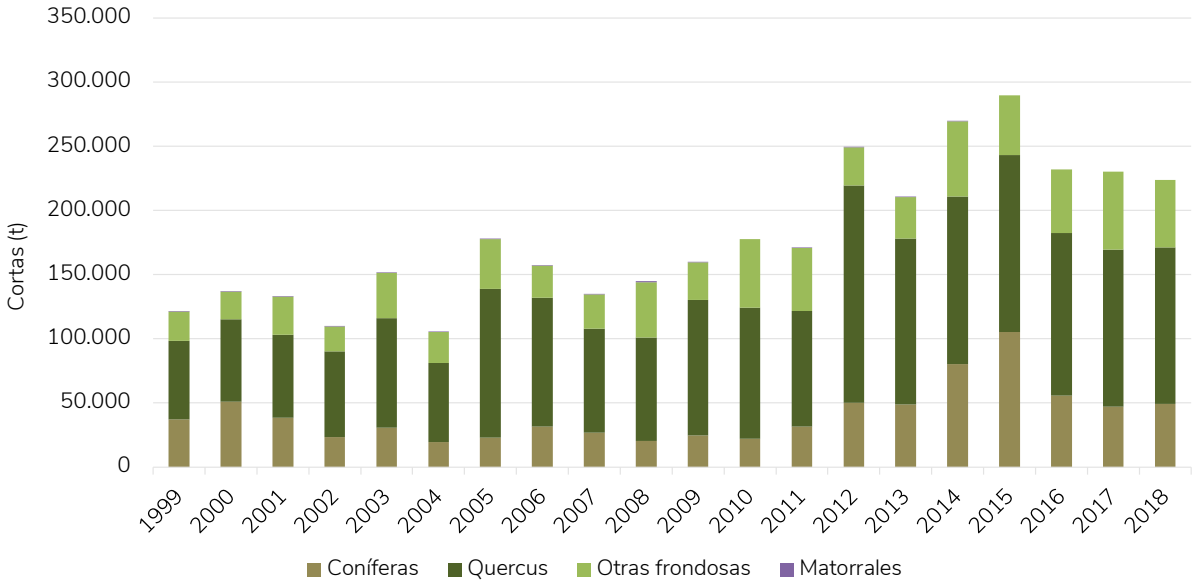


Figura 1.7. Evolución del volumen de cortas de leñas en Catalunya desde el año 1999 (Fuente: Idescat).

6. Los actores del aprovechamiento maderero

En el aprovechamiento forestal en general y, en concreto, en el aprovechamiento maderero, se pueden distinguir los siguientes actores (figura 1.8):

1. Selvicultor. Es el gestor del monte, el que determina el tratamiento selvícola que precisa la masa en cada momento y que como consecuencia del cual se derivan los aprovechamientos forestales. En el caso de los aprovechamientos madereros es el que establece el plan de cortas, indicando los criterios con los que estas deben realizarse. En los montes privados la figura del selvicultor suele coincidir con la del propietario.

2. Propietario del monte. Es el que tiene la titularidad del mismo y, por tanto, de los productos que en el se obtienen. Un caso excepcional, como luego se comentará, son los montes consorciados. A efectos del aprovechamiento forestal hay que distinguir entre el propietario particular y el público. Según el informe del sector forestal de 2013 (Montero y Serrada 2013), el 29% de la superficie forestal española, 27,6 Mha, es pública, mientras que el 66% es privada. Estos valores medios pueden variar notablemente entre CC.AA. Así, en La Rioja, Cantabria, Navarra y Canarias la superficie forestal es mayoritariamente pública mientras que en Galicia, Illes Balears o Extremadura es al contrario, no alcanzado siquiera el 10%. Según la naturaleza del propietario y del régimen jurídico del monte, la forma de contratación del aprovechamiento forestal puede variar (ver capítulo 4). Normalmente el propietario suele vender la madera en pie, aunque también lo puede realizar en el cargadero. La Generalitat de Catalunya, desde el año 2015, en los montes de su propiedad vende la madera por productos directamente a la industria, contratando a empresas de servicios para realizar el aprovechamiento y a empresas de transporte para el traslado de los productos a la industria.

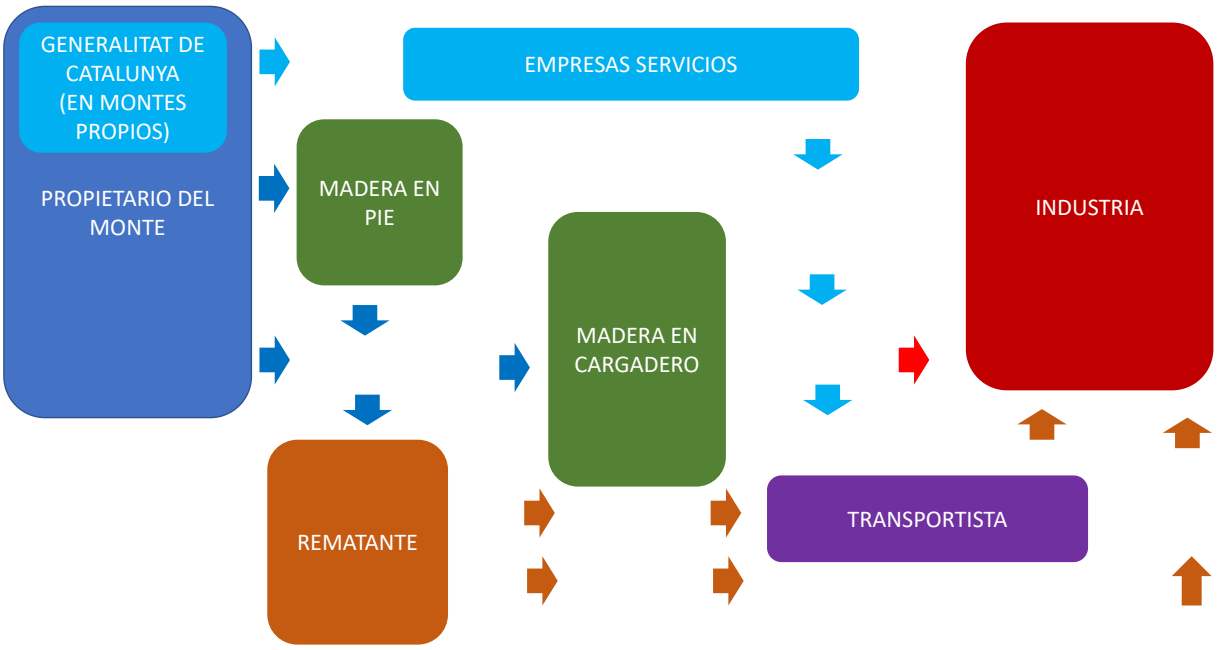


Figura 1.8. Actores que intervienen en un aprovechamiento maderero.

3. Rematante o maderista. Cuando el propietario no vende directamente la madera a la industria aparece la figura del rematante o maderista. Es la empresa de servicios forestales que realiza las operaciones de apeo y desembosque de la madera. En los montes de titularidad privada, el rematante es contratado directamente por el propietario, mientras que en los de titularidad pública la contratación se realiza como consecuencia de un proceso de licitación pública realizado por la entidad propietaria. En 2014, el número de empresas de servicios forestales era de 6 198, de las cuales el 67% eran de carácter autónomo (ASEMFO 2014). Se desconoce el número de estas empresas que se dedican a la realización de aprovechamientos forestales. En el modelo de la Generalitat de Catalunya, esta contrata a las empresas de servicios que realizan el apeo y desembosque de la madera.

4. Transportista. Cuando el rematante carece de medios para realizar el transporte de la madera a la industria aparece la figura del transportista que realiza esta función. En el modelo de la Generalitat de Catalunya, esta contrata al transportista de forma independiente a la empresa de servicios que realiza el aprovechamiento.

5. Industria. Es la receptora del producto. Cuando la industria cuenta con la posibilidad de realizar los trabajos forestales puede concurrir directamente a contratar con el propietario cuando este vende la madera en pie. En caso contrario, compra la madera al rematante. La industria es quien determina realmente el precio de la madera en pie, al depender este del destino que esta tenga. En 2011 el número de industrias del sector de la madera en España era de 13 395 de las cuales un 9% se dedican al aserrío y cepillado de la madera, un 6% al embalaje, un 3% a chapas y tableros de madera y un 65% a estructuras de madera. Del total de empresas, el 68,5% tiene menos de dos asalariados y solo un 3,8% tiene más de 20 (CONFEMADERA 2011).

7. El monte

El monte es el lugar donde se originan los productos forestales, es el soporte físico del aprovechamiento forestal. Pero, ¿tenemos claro qué se entiende por monte? Según la ley 43/2003 de Montes, se entiende por monte: “todoterreno en el que vegetan especies forestales arbóreas, arbustivas, de matorral o herbáceas, sea espontáneamente o procedan de siembra o plantación, que cumplan o puedan cumplir funciones ambientales, protectoras, productoras, culturales, paisajísticas o recreativas”.

La clave de esta definición es, obviamente, el concepto de especie forestal; dado que su origen, natural o repoblado, o su finalidad no imponen restricción alguna. La propia ley define la especie forestal como “especie arbórea, arbustiva, de matorral o herbácea que no es característica de forma exclusiva del cultivo agrícola”. En este caso, el elemento clave de la definición es la exclusividad o no de la especie del cultivo agrícola. Se entiende, por tanto, que si es exclusiva es agrícola y sí no, es forestal. Entendemos que no es una definición muy clara ni acertada, al no aportar ningún atributo del carácter forestal de la especie, lo que plantea diversos problemas

de interpretación. Así, especies tradicionalmente cultivadas para la obtención de fruto como el nogal, el avellano, el castaño, el pistacho o el cerezo pueden ser consideradas como forestales, según esta definición, porque no son propias exclusivamente del cultivo agrícola por su fruto, al ser aprovechadas también para la obtención de productos madereros. No obstante, las plantaciones de estas especies para la obtención de fruto no tienen el carácter de forestal y, por tanto, no son consideradas como monte. La definición de monte recogida en la ley plantea ciertas dudas, que la propia norma se propone resolver añadiendo otras superficies que también tienen la consideración de monte: "a) Los terrenos yermos, roquedos y arenales, b) Las construcciones e infraestructuras destinadas al servicio del monte en el que se ubican, c) Los terrenos agrícolas abandonados que cumplan las condiciones y plazos que determine la comunidad autónoma, y siempre que hayan adquirido signos inequívocos de su estado forestal, d) Todoterreno que, sin reunir las características descritas anteriormente, se adscriba a la finalidad de ser repoblado o transformado al uso forestal, de conformidad con la normativa aplicable, e) Los enclaves forestales en terrenos agrícolas con la superficie mínima determinada por la Comunidad Autónoma".

El último apartado tiene notable importancia al condicionar el carácter forestal o no del disfrute o aprovechamiento de las especies que estén presentes en una finca agrícola. ¿Cortar un quejigo, un abedul, un pino o un roble que estén en el margen de una finca tiene el carácter de aprovechamiento forestal y, por tanto, debe someterse a su régimen jurídico? La clave está en la superficie mínima determinada por cada Comunidad Autónoma. Esta superficie es muy variable entre CC.AA., así, en Galicia puede ser de 5 ha ó 1 ha según las especies que lo pueblen, en Aragón y Castilla y León son 1 000 m^2 y en Castilla La Mancha 100 m^2.

La propia norma estatal concreta, también, las superficies forestales que no tienen consideración de monte: "a) Los terrenos dedicados al cultivo agrícola, b) Los terrenos urbanos, c) Los terrenos que excluya la comunidad autónoma en su normativa forestal y urbanística".

Aparte de lo dispuesto en la legislación básica del Estado, las CC.AA. han concretado los casos de los terrenos que tienen o no la consideración de monte en sus legislaciones forestales.

7.1. Los tipos de monte

La legislación y la literatura forestal enumeran diferentes tipos de montes que tienen características muy diversas en cuanto a su titularidad, régimen jurídico, afección a usos y servicios públicos, derechos sobre el vuelo o derechos sobre los aprovechamientos. Así, se habla de montes públicos, privados, demaniales, patrimoniales, comunales, protectores, de libre disposición, de socios, de propios, propios, del Estado, consorciados o conveniados, vecinales en mano común, etc. Para aclarar la diferencia entre ellos, y sus implicaciones en relación a sus aprovechamientos forestales, se plantea su clasificación en relación a varios criterios (figura 1.9). No se tiene intención en este epígrafe de profundizar en la propiedad y clasificación de los montes, para el lector que sienta interés puede consultar la publicación de Abreu (1995). El objetivo es comentar los aspectos distintivos de cada uno de ellos que pueden condicionar los aprovechamientos que en los mismos se realicen.

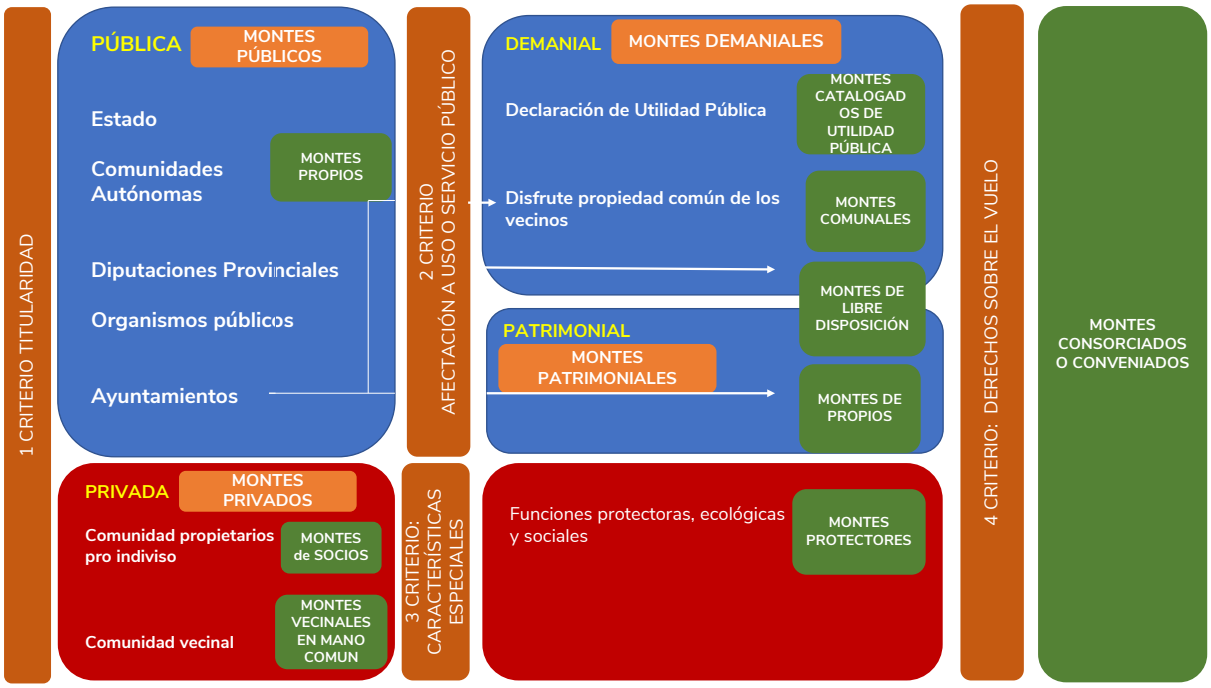


Figura 1.9. Tipos de monte según diferentes criterios.

De conformidad con los artículos 1 665 a 1 678 del Código Civil, según que el titular de un predio forestal sea una persona pública (persona jurídica, una administración pública territorial) o privada (física o jurídica) tendremos una diferente titularidad:

1. Monte público. Es un monte de titularidad pública. Según quien sea el titular se pueden distinguir: i) Montes del Estado, ii) Montes de las Comunidades Autónomas, iii) Montes de las entidades locales provinciales (Diputaciones), iv) Montes de los Ayuntamientos, v) Montes de entidades de derecho público (Confederaciones Hidrográficas, etc.). La gestión de este tipo de montes puede corresponder a la Administración forestal o a su titular, según el monte haya sido destinado o afectado a un uso o servicio público. En España, ocupan una superficie aproximada de 9,5 Mha. Tradicionalmente, a los montes pertenecientes a la Administración forestal, es decir, los pertenecientes a las Comunidades Autónomas, ya que en la mayoría de los casos estas son la Administración forestal, se los ha denominado como montes propios. Las administraciones forestales llevan un registro de los montes propios conocido como Elenco de montes propios en donde se relacionan, con carácter provincial, todos los montes de esta categoría. En él, los montes tienen un código numérico comprendido entre 1 000 y 2 000.

   Una primera clasificación de los montes públicos es según estén destinados o no a un uso público o afectados a un servicio público, distinguiéndose:

1.a. Monte demanial o de dominio público. Está destinado o afectado a un uso público o a un servicio público. Estos montes son inalienables, inembargables e imprescriptibles y no están sujetos a tributo alguno. Son montes de dominio público o demaniales los siguientes:

1.a.1. Monte catalogado de Utilidad Pública (MUP). Son montes públicos que por sus relevantes funciones de carácter protector, ecológico o social, en su estado actual o una vez repoblados, son declarados de utilidad pública. Estas funciones o características están tipificadas en el artículo 13 de la LM: "a) Los que sean esenciales para la protección del suelo frente a los procesos de erosión; b) Los situados en las cabeceras de las cuencas hidrográficas y aquellos otros que contribuyan decisivamente a la regulación del régimen hidrológico, incluidos los que se encuentren en los perímetros de protección de las captaciones superficiales y subterráneas de agua, evitando o reduciendo aludes, riadas e inundaciones y defendiendo poblaciones, cultivos e infraestructuras, o mejorando el abastecimiento de agua en cantidad o calidad; c) Los que eviten o reduzcan los desprendimientos de tierras o rocas y el aterramiento de embalses y aquellos que protejan cultivos e infraestructuras contra el viento; d) Los que sin reunir plenamente en su estado actual las características descritas en los párrafos a), b) o c) sean destinados a la repoblación o mejora forestal con los fines de protección en ellos indicados; e) Los que contribuyan a la conservación de la diversidad biológica a través del mantenimiento de los sistemas ecológicos, la protección de la flora y la fauna o la preservación de la diversidad genética y, en particular, los que constituyan o formen parte de espacios naturales protegidos, zonas de especial protección para las aves, zonas de especial conservación, lugares de interés geológico u otras figuras legales de protección, así como los que constituyan elementos relevantes del paisaje; f) Aquellos otros que establezca la comunidad autónoma en su legislación".

Esta declaración de utilidad pública implica su inclusión en el Catálogo de Montes de Utilidad Pública (CUP). Los montes catalogados de utilidad pública son gestionados por la Administración forestal. Los aprovechamientos de estos montes son planificados por la administración forestal y se recogen en el Plan Anual de Aprovechamientos. En el catálogo, los montes están numerados de forma correlativa desde el número 1 hasta el 1 000. Le antecede en la numeración la abreviatura de la provincia. En los montes de Utilidad Pública una parte de todos los ingresos que genere el monte debe integrarse en el llamado Fondo de Mejoras. El porcentaje de estos ingresos que se destina al mismo está regulado por las respectivas normativas autonómicas debiendo ser, como mínimo, del 15%. Este fondo se constituye para la realización de trabajos de mejora en dichos montes. Este tipo de montes ocupan una superficie aproximada en España de 7,1 Mha.

1.a.2. Monte comunal. Son montes públicos cuyo titular es una entidad local municipal o menor, en el que los aprovechamientos pertenecen al común de los vecinos y no al titular del monte. Estos bienes son el resultado de varios procesos históricos que han tenido su origen en una primitiva propiedad colectiva anterior a la época romana o son fruto de donaciones reales o señoriales o son parte de propiedades colectivas de derecho germánico (Abreu 1995). Según el Reglamento de bienes de las entidades locales (RD 1372/1986) el aprovechamiento y disfrute de bienes comunales se efectuará en régimen de explotación común o cultivo colectivo, lo que implica el disfrute general y

simultáneo de los bienes por quienes ostenten en cada momento la cualidad de vecino. En el caso de que este tipo de disfrute no fuera posible, se realizará: i) Según costumbre o reglamentación local, o ii) Adjudicación por lotes o suertes. Si estas modalidades no resultaran posibles, se acudirá a la adjudicación mediante precio. En algunos casos, estos montes comunales están catalogados de utilidad pública.

1.a.3. Los afectados a un uso o servicio público que no pertenecen a ninguna de las características anteriores (montes de las Confederaciones hidrográficas, campos de maniobras del Ejército, etc.).

1.b. Monte patrimonial. Son los montes públicos que no están destinados o afectados a un uso o servicio público. En los bienes patrimoniales, bien sean públicos o privados, el uso y disfrute de los mismos corresponde exclusivamente a su titular. Según el artículo 66 del Real Decreto Legislativo 781/1986 del texto refundido de la Ley de Régimen Local, se puede establecer que son montes patrimoniales de titularidad pública los que, siendo de propiedad de las administraciones públicas no estén destinados a uso público, ni afectados a algún servicio público y puedan constituir fuente de ingresos para el erario del ente público propietario. En estos montes, tanto el dominio como los aprovechamientos pertenecen al municipio, que no comparte la titularidad con los vecinos; de ahí que su dueño pueda arrendar o ceder libremente sus aprovechamientos, a terceros o a los propios vecinos, o incluso enajenar los montes (Pérez-Soba 2017). Cuando el titular del monte patrimonial es una entidad local municipal a este tipo de montes se les conoce como monte de propios.

En la tradición y literatura forestal se ha acuñado el término clásico de monte de libre disposición. Este término tiene su origen en Real Decreto por el que se aprueban las instrucciones para la adaptación del régimen de los montes de los pueblos al estatuto municipal y sus reglamentos (17.10.1925). En este real decreto se indicaba que los montes que se calificaron de enajenables, y no se vendieron, debían ser entregados a los Municipios con arreglo al Estatuto, para que dispusieran *libremente de ellos*. Este término hace referencia a los montes públicos propiedad de las entidades locales que no están catalogados. En ocasiones se ha asimilado esta denominación a los montes de propios o patrimoniales, pero no es del todo correcto. No todos los montes de libre disposición son patrimoniales, ni todos los montes no catalogados son de libre disposición. Por ejemplo, son montes de libre disposición los comunales que no están catalogados (Pérez-Soba 2017). Ocupan una superficie aproximada en España de 2 Mha.

La Administración forestal no gestiona este tipo de montes, a excepción de los propios, y regulará los aprovechamientos en los términos que especifica la ley, limitándose, básicamente, a las autorizaciones de las cortas de madera.

2. Monte privado. Es un monte de titularidad privada, perteneciente a personas físicas o jurídicas de derecho privado, ya sea individualmente o en régimen de copropiedad. Ocupan una superficie aproximada en España de 18,2 Mha. Se gestionan en la forma que disponga su

titular, sin perjuicio de lo dispuesto en la legislación específica y en el Código Civil. La gestión de estos montes se ajustará al correspondiente instrumento de gestión o planificación forestal, en caso de disponer de él. La aplicación de dichos instrumentos será supervisada por la administración forestal. A falta de dicho instrumento, la gestión del titular conllevará la necesaria autorización previa para los aprovechamientos madereros. Dentro de los montes de titularidad privada se deben destacar tres casos muy singulares:

2.a. Monte de socios. Son un ejemplo característico de montes privados en régimen de copropiedad, que constituye una comunidad de bienes de carácter *pro indiviso*, en el que la propiedad corresponde, a la vez, a distintas personas físicas o jurídicas, las cuales poseen un porcentaje de copropiedad sobre el monte. El origen de estos montes se sitúa en la desamortización, cuando para evitar la pérdida de los montes comunales un vecino los adquiría en régimen de *pro indiviso* romano, por lo que el propietario pasaba a ser la comunidad de vecinos que lo había adquirido. El problema de estos montes surge del abandono en la gestión de la sociedad inicial y de la desaparición de sus miembros, sin que haya habido una actualización de los mismos. Para paliar las limitaciones en la gestión de estos montes, la reforma de 2015 de la LM regula el modo en el que se puede constituir una junta gestora del monte de socios como representante de la comunidad, mientras existan cuotas de participación vacantes. La extensión en España de estos montes se estima en 2 Mha.

2.b. Monte vecinal en mano común. Es un monte de naturaleza privada pero de régimen especial, cuyo titular es el colectivo o agrupación vecinal que lo venga aprovechando consuetudinariamente en mano común. Los derechos de participar en el aprovechamiento en mano común los tienen los miembros del colectivo que tengan la condición de vecinos. Tienen características de los bienes demaniales, es decir, son inalienables, imprescriptibles e inembargables y no están sujetos a contribución alguna de base territorial ni a la cuota de la Seguridad Social Agraria. También son indivisibles. Su titularidad corresponde, sin asignación de cuotas, a los vecinos integrantes en cada momento del grupo comunitario. Su gestión es de carácter privado. Están regulados por una ley específica, la ley 55/1980, de 11 de noviembre, de montes vecinales en mano común. Ocupan una extensión aproximada en España de 620 mil hectáreas.

2.c. Monte protector. Si el monte privado reúne unas características muy especiales de carácter protector, ecológico o social, las mismas que las enunciadas para la declaración de utilidad pública del monte público, se puede declarar como monte protector. La gestión de los montes protectores corresponde a sus propietarios. El gestor deberá presentar a la Administración forestal el correspondiente proyecto de ordenación de montes o plan dasocrático. Según la ley, las limitaciones que se establezcan en la gestión de los montes protectores, por razón de las especiales funciones que presta al conjunto de la sociedad, podrán ser compensadas económicamente. Esta figura, a día de hoy, está muy poco desarrollada en nuestra legislación.

3. Monte consorciado o conveniado. Es un monte de naturaleza pública o privada en los que se ha establecido un contrato (consorcio o convenio) para su repoblación por parte de la administración forestal. Ocupan una superficie aproximada en España de 3 Mha. Como consecuencia de haber sufragado los gastos de su repoblación, la administración forestal se reserva unos derechos sobre el vuelo creado. Estos derechos se mantienen en el tiempo hasta que los aprovechamientos, que del vuelo se produzcan, satisfagan los gastos generados por la repoblación y su gestión posterior. Los beneficios obtenidos por los diferentes aprovechamientos que se produzcan del vuelo se reparten entre el titular y la administración forestal según los porcentajes estipulados en las bases del consorcio. Estos montes están gestionados por la administración forestal hasta que no se rescinda el consorcio. En el Plan Anual de Aprovechamientos deberán figurar los aprovechamientos que se realicen del vuelo creado en estos montes. Sobre el resto de los aprovechamientos del monte que no hacen referencia al vuelo (caza, pastos, apícolas, setas, etc.) la Administración solo podrá imponer condicionantes cuando valore que el disfrute de los mismos puede afectar al vuelo creado. Este aspecto lo dejaban claro las bases de los consorcios cuando indicaban los aprovechamientos de pastos y matorrales los *realizará el titular del suelo con las condiciones que fije el Patrimonio Forestal del Estado subordinado siempre su localización, época y cuantía a las necesidades de la repoblación y conservación del arbolado*. Por tanto, los demás aprovechamientos los enajenan los propietarios, con conocimiento previo y posterior de la administración forestal, que los suele incluir en el Plan anual de aprovechamientos (Pérez-Soba 2017). Las administraciones forestales llevan un registro de este tipo de montes que se conoce como el Elenco de montes consorciados o conveniados, en el que se relacionan, con carácter provincial, todos los montes de esta categoría. En él, los montes tienen un código numérico que responde a estos criterios:

   - Consorcio directo del propietario del monte con la administración forestal. Los montes se numeran a partir del número 3 000.

   - Consorcio entre el propietario del monte con la administración forestal en el que participa también la Diputación provincial. Los montes se numeran a partir del número 2 000.

   - Convenios. Utilizan un código numérico en el que las dos primeras cifras hacen referencia al código provincial, la tercera cifra al tipo de interés (legal 1, básico 2), la cuarta al tipo de pertenencia (4 MUP, 5 vecinal en mano común, 6 libre disposición, 7 otros montes privados) y las tres siguientes cifras a un número correlativo (< 500 los nuevos y > 500 los de conversión de consorcio a convenio).

7.2. Los aprovechamientos madereros según el tipo de monte

Si se analizan las cortas por el tipo de propiedad (tabla 1.8) se puede observar como la mayor parte de ellas se realiza en montes de titularidad privada (86%). En ellos es donde se realizan la práctica totalidad de las cortas de frondosas. En cuanto a los montes públicos, las principales

cortas se realizan en montes de utilidad pública pertenecientes a entidades locales. En este tipo de montes fundamentalmente se cortan masas de coníferas.

Tabla 1.8. Cortas en 2018 según tipo de propiedad (Fuente: Anuario de Estadística Forestal 2018).

Titularidad	Tipo de monte	Volumen cortas (m^3 c.c.)
Pública	Estado o de las CCAA. MUP	448 928,85
	Estado o de las CCAA. No MUP	1 567,86
	Entidades Locales. MUP	204 0364,77
	Entidades Locales. Consorciados	185 187,78
	Entidades Locales. Sin consorcio	132 984,49
	Pública sin especificar	4,5
	Total Pública	2 809 038,25
Privada	con consorcio	70 710,01
	sin consorcio	1 437 9265,1
	Montes Vecinales en Mano Común	914 133,33
	Privada sin especificar	1 574 195,09
	Total Privada	16 938 303,5
Total		19 747 341,8

Incidencia de las "suertes de pino" y las ordenaciones de montes en la Comarca de pinares de Urbión de Soria

Lucas Santolaya JA (2001) Incidencia de las «suertes de pino» y las ordenaciones de montes en la comarca de pinares de Urbión de Soria. Cuad Soc Esp Cien For 11:81-91.

Al parecer, el privilegio por el que los reyes concedieron, por medio de "Cartas Pueblas" y "Cartas de Privilegio", el derecho a los aprovechamientos forestales que se obtuvieran de los montes, data de varios siglos (a finales del siglo XIII ya se tiene conocimiento de ello). Por ejemplo, en Duruelo en 1288, Fernando III el Santo concede estos derechos a los que fuesen a poblar el valle del río Gomiel. Estos derechos fueron confirmados por Fernando IV en 1342, por Alfonso XI en 1356, por Pedro I en 1390, por Enrique II en 1409, por Enrique III, por Juan II, por Enrique IV, por los Reyes Católicos y por Felipe II. Al crearse la administración forestal se reconocieron estos repartos que se venían haciendo desde tiempos antiguos y por Real Orden del Ministerio de Fomento, en agosto y septiembre de 1901, se legalizó la situación, que hasta entonces basaba los aprovechamientos en la costumbre. Al reconocer la administración forestal los repartos vecinales mediante las disposiciones citadas, se pasó a una situación de derecho lo que antes era de hecho, continuando sin interrupción desde aquella fecha hasta el día de hoy, habiéndose procedido a establecer legalmente las condiciones en forma de Ordenanzas Especiales Reguladoras de la distribución de los aprovechamientos forestales o Estatutos que fueron aprobados por el Ministerio de la Gobernación.

En principio se concedía un cierto número de pinos llamados de "privilegio", elegidos entre los mejores de la zona. Existía la costumbre de que comisiones municipales, compuestas por algunos habitantes, eligiesen en el monte estos pinos para el pueblo -los mejores pies a huroneo -, pero cuando se empezaron a ordenar los montes, se limitó a los tramos de corta la superficie para poder llevar a cabo dicha elección. Como consecuencia, la evolución para el monte ha sido totalmente positiva, pues se pasó de no cortar los pies dominados, por ser los peores y no elegirse nunca, a hacer verdaderas cortas de regeneración. La mayoría de los pueblos ejercen el derecho de adjudicación directa (orden ministerial del 13 de agosto de 1949, por la que se han congelado, desde ese año hasta el día de hoy, los precios de tasación de la madera en torno a 500 pesetas por metro cúbico según especies). Esto quiere decir que la administración le envía el expediente a ese precio, figurando el Ayuntamiento como rematante, vendiendo éste la madera posteriormente a precio real, sin que el precio real figure en el expediente.

Hacer constar que, pese a los posibles defectos de las ordenanzas reguladoras de los aprovechamientos, de lo cual son conscientes los beneficiarios, harían cualquier cosa para conservarlas y defenderlas frente a cualquier injerencia de extraños.

... La puesta en marcha de las Ordenaciones supone pues un hito trascendental... de un sistema de pastoreo abierto y libre, con cortas por huroneo y regeneración dispersa, se intenta pasar a un sistema de cortas por aclareo (a partir de los años 50, cortas a hecho), concentradas en tramos que puedan ser fácilmente acotados al ganado, con adjudicaciones públicas por subasta, sin olvidar la creación de infraestructuras de saca y transporte y la mejora de la masa preexistente... los vecinos con derechos obtenían así de la venta de sus "suertes" ingresos cada vez más considerables, hasta el punto que, en muchos pueblos, lo que se recibía anualmente por una suerte, superaba el jornal medio de un obrero forestal. Los vecinos no sólo dejaron de oponerse a la ordenación de sus montes, sino que la empezaron a solicitar al Distrito Forestal... en los municipios de montes muy productivos trataban de avecindarse familias forasteras con el fin de adquirir derecho a una "suerte de pino".

Ejercicios

1. **A partir de los planes anuales de aprovechamiento de los montes gestionados por la Administración forestal, analice: i) el valor económico de cada tipo de aprovechamiento forestal aprobado, ii) la tasa de extracción en los aprovechamientos maderables respecto a los crecimientos anuales de cada provincia, iii) la tasa de cobertura respecto al consumo, iv) la intensidad de las cortas (m^3) en relación a la superficie arbolada.**

Planes anuales de aprovechamiento de algunas Comunidades Autónomas (sobre el nombre de la comunidad aparece el link).

Andalucía

Aragón

Junta de Castilla y León

Generalitat de Catalunya

Generalitat Valenciana

Navarra

Tabla. Datos por Comunidades Autónomas de crecimiento anual, consumo de madera y superficie arbolada (SECF 2010).

	Crecimiento anual (miles m^3)	Consumo madera (miles m^3)	Superficie arbolada (miles ha)
Andalucía	3 075	5 542	2 656
Aragón	2 760	893	1 578
Principado de Asturias	2 810	720	451
Illes Balears	222	728	186
Canarias	383	1 412	134
Cantabria	1 215	392	214
Castilla y León	7 204	1 707	2 982
Castilla-La Mancha	3 374	1 375	2 740
Cataluña	3 964	4 957	1 626
Comunitat Valenciana	756	3.394	754
Extremadura	1 223	735	1 921
Galicia	13 057	1 862	1 405
Comunidad de Madrid	394	4 281	270
Región de Murcia	237	982	316
Comunidad Foral de Navarra	1 488	418	463
País Vasco	3 831	1 453	398
La Rioja	728	215	170

2. Para aclarar los conceptos sobre los tipos de montes, conteste el siguiente test (las preguntas acertadas valen 1 punto y las falladas -0,3).

1. ¿Cuáles son los tipos de monte que la Administración forestal gestiona y planifica sus aprovechamientos forestales?

a. Los montes de propios, los montes Catalogados de Utilidad Pública y los montes consorciados y conveniados
b. Los montes Catalogados de Utilidad Pública, los montes comunales, los montes propios, los montes consorciados y conveniados
c. Los montes Catalogados de Utilidad Pública, los montes propios y los montes consorciados y conveniados
d. Los montes comunales, los montes consorciados y conveniados, los montes Catalogados de Utilidad Pública

2. ¿Qué diferencia hay entre un monte comunal y un monte de socios?

a. Ninguna, dado que en ambos el disfrute es propiedad de los comuneros
b. El monte comunal es propiedad del ayuntamiento y los aprovechamientos del común de los vecinos, mientras que el monte de socios es propiedad de los comuneros
c. El monte comunal es del común de los vecinos (comunidad germana) que tienen esa característica en la entidad propietaria y el de socios (comunidad romana) de los comuneros que participaron en su compra
d. El monte comunal es demanial y el de los socios patrimonial

3. ¿Qué diferencia hay entre un monte de socios y un monte vecinal en mano común?

a. Ninguna, dado que en ambos su titularidad es privada
b. El monte de socios es de los comuneros que participaron en su compra (comunidad germana) y el vecinal en mano común de los vecinos que forman la comunidad (comunidad romana)
c. Ninguna, en ambos los aprovechamientos se realizan en común por todos los integrantes del grupo o comunidad
d. El monte de socios es privado a todos los efectos mientras que el vecinal en mano común, aunque es privado, conserva muchos de los atributos de los bienes de carácter demanial (inembargable, imprescriptible, inalienable)

4. ¿Qué diferencia hay entre un monte comunal y un monte vecinal en mano común?

a. Ninguna, ambos son demaniales
b. El monte comunal es propiedad del ayuntamiento y los aprovechamientos del común de los vecinos, mientras que el monte vecinal en mano común es propiedad del grupo vecinal que lo aprovecha en mano común
c. Los aprovechamientos en el monte comunal son del ayuntamiento y en el vecinal en mano común es del común de los vecinos (comunidad germana).
d. El monte comunal es demanial y el vecinal en mano común patrimonial

5. ¿De qué tipo de montes de esta relación puede ser titular una entidad local municipal?

a. Libre disposición, de propios, catalogados de utilidad pública, patrimoniales, demaniales, comunales, consorciados y conveniados
b. Libre disposición, propios, catalogados de utilidad pública, patrimoniales, demaniales, comunales
c. Libre disposición, de propios, catalogados de utilidad pública, patrimoniales, demaniales, vecinales en mano común, consorciados y conveniados
d. Libre disposición, propios, catalogados de utilidad pública, patrimoniales, demaniales

Solución:
1c, 2b, 3d, 4b, 5a

8. Bibliografía

Abreu J (1995) Propiedad, titularidad y funcionalidad de los terrenos forestales. ICONA, Madrid.

Castellarnau J (1933) Pólogo. En: Ceballos L, Vicioso C (eds) Estudio sobre la Vegetación y flora Forestal de la Provincia de Málaga. Madrid, pp V–XVI.

CONFEMADERA (2011) La industria de la madera en España: situación actual y perspectivas.

FAO (1984) La explotación maderera de los bosques de montaña. Roma.

FAO (2010) Evaluación recursos forestales mundiales. FAO 2010. FAO, Roma, p 381.

García-Asensio J (2017) Análisis jurídico de los aprovechamientos forestales. Atelier, Barcelona

IDAE (2007) Biomasa. Cultivos energéticos. IDE, Madrid.

Jordana J (1900) Algunas voces forestales y otras que guardan relación con las mismas, Facsímil. Ricardo Rojas, Madrid.

MAGRAMA (2011) Estadística Forestal de España 2011.

MAPA (2018) Anuario Estadística Forestal. MAPA, Madrid.

Maza de la J (1970) Criterios y factores que condicionan los aprovechamientos forestales (I). Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias, Madrid.

Montero G, Serrada R (2013) La situación de los bosques y el sector forestal en España. 2013. doi: 10.1007/s13398-014-0173-7.2.

Pérez-Soba I (2017) La clasificación legal de los montes. El catálogo de montes de utilidad pública. La defensa de la propiedad Forestal. CURSO “PROTECCIÓN Y Regul. Leg. LOS MONTES EN LA COMUNIDAD AUTÓNOMA ARAGÓN”. Zaragoza, pp 17-19.

SECF (2005) Diccionario Forestal. Mundi-Prensa, Madrid.

SECF (2010) Situación de los bosques y del sector forestal en España. Informe 2010. Soc Española Ciencias For 1-302.

Tolosana E, González V, Vignote S (2000) Aprovechamiento maderero. Fundación Conde del Valle de Salazar y Mundi Prensa, Madrid.

Valladares A (1975) Manual de explotación forestal. Madrid.

Capítulo 2

Los productos madereros, su precio y el comercio de la madera

Jesús Pemán García, Antonio Villasante Plágaro

1. Uso industrial de la madera en rollo

El destino de la madera en rollo está determinado por las exigencias de las diferentes industrias de transformación que determinan la calidad de los productos madereros. En una primera transformación de la madera, los productos que se pueden obtener son: 1) Chapa de madera, 2) Postes, 3) Madera de sierra de uso estructural y no estructural, 4) RTI (Rollo Torneado e Impregnado), puntales o estacas, 5) Trituración para tablero o pasta y 6) Biomasa forestal.

1. Chapa de madera. La madera con destino a chapa es normalmente la de mayor valor añadido. La chapa se puede obtener, bien por corte a la plana**,** bien por desenrollo (figura 2.1). Las chapas a la plana se obtienen mediante cortes similares al aserrado, con la diferencia de que las piezas son de mucho menor espesor (aproximadamente 1 milímetro) y se obtienen mediante cuchillas en vez de sierras. Dependiendo de la orientación del corte, las chapas a la plana pueden ser rameadas (plano tangencial) o malladas (plano radial). La chapa de desenrollo (figuras 2.1, 2.2) es el tipo de chapa más habitual y se obtiene haciendo girar la troza a la vez que una cuchilla paralela al eje de rotación extrae la chapa de la superficie. Las trozas que se dedican a chapa son las de mayor calidad, normalmente las basales del árbol.

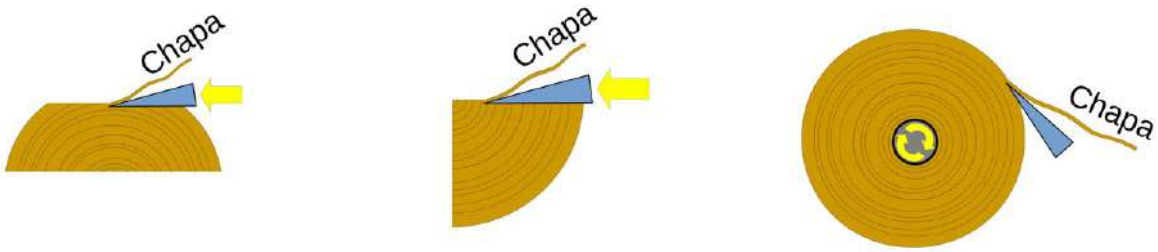


Figura 2.1. Tipos de obtención de chapa de madera. De izquierda a derecha: chapa a la plana rameada, chapa a la plana mallada y chapa de desenrollo (Fuente: A. Villasante).

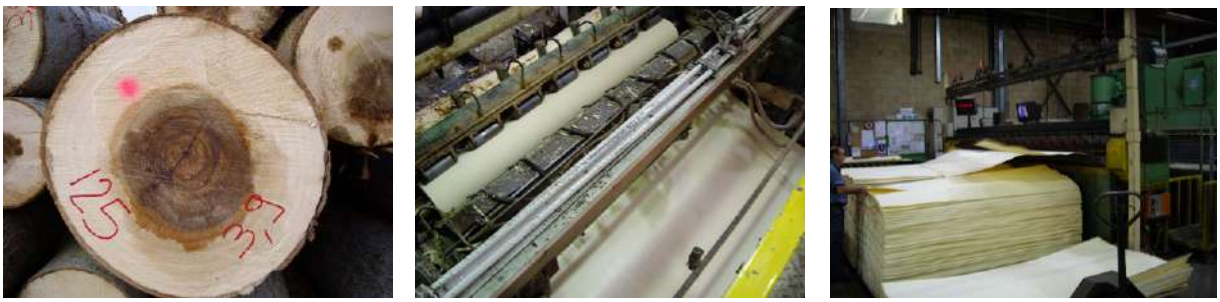


Figura 2.2. Proceso de obtención de la chapa por desenrollo en Populus x euramericana (Fotos: J. Pemán).

2. Postes. Como producto utilizado para la realización de instalaciones eléctricas, telefónicas o agroforestales, la calidad exigible al mismo es muy elevada en cuanto a dimensiones, conformación, resistencia y durabilidad (figura 2.3). Las especies que se utilizan normalmente para su fabricación son *Pinus uncinata, P. sylvestris* y *P. nigra*. El procesado de los fustes para la obtención de estos productos consiste, básicamente, en el descortezado, rebaje de los nudos e, incluso, el torneado según lo especifique el cliente. La punta se suele preparar en forma de tejado o pirámide. Los tratamientos de conservación se suelen hacer con creosota o sales hidrosolubles. La norma europea EN 14229 indica los requisitos que debe cumplir la madera en rollo para este destino y los tratamientos de conservación a los que debe estar sometida.

Figura 2.3. Poste impregnado para instalación eléctrica (izquierda) y postes para instalación agrícola (Fotos: J. Pemán, A. Villasante).

3. Madera de sierra. La madera con destino a sierra es aquella en la que se utilizan este tipo de máquinas para realizar el despiece (figura 2.4). El producto final son piezas de forma paralelepipédica (tablas y tablones, fundamentalmente). Aunque se pueden serrar diámetros por encima de los 12 cm, la madera adquiere más valor cuando se sierra a partir de los 28-30 cm y, sobre todo, con diámetros entre 35-40 cm (Martínez et al. 2012).

Los productos resultantes de la madera de sierra se agrupan en (figura 2.5):

- Madera de uso estructural, para su empleo en edificios, puentes, etc.
- Madera de uso no estructural: preelaborada para una segunda transformación como es el caso del mueble, la carpintería, el embalaje y el encofrado.

Figura 2.4. Sierra de carro inclinada en la fábrica de Maderas de Maria (Burgos) (Foto: J. Pemán).

Figura 2.5. Madera de uso estructural (fotos superiores) y madera para embalaje (fotos inferiores). En la parte izquierda se observan los parques con la materia prima y a la derecha los productos elaborados (Fotos: J. Pemán).

4. RTI, puntales y estacas. Son diferentes productos que presentan ligeras diferencias en su procesado (figura 2.6). El rollizo torneado e impregnado (RTI), es un producto descortezado y cilindrado con tratamientos de protección para prolongar su durabilidad. Puede tener longitudes que oscilan entre 1,5 m y 4 m con diámetros entre 6 y 20 cm. El puntal o estaca es un producto descortezado, sin cilindrar, que suele llevar tratamientos de conservación. En ocasiones, las estacas se elaboran sin descortezar (como es el caso de las de castaño o acacia). Todos estos productos se pueden utilizar para vallas, tutorado de árboles, juegos infantiles, señalización, etc.

Figura 2.6. Madera para puntales (superior izquierda), puntales sin tratar (superior derecha), RTI previo a la impregnación (inferior izquierda) y estacas de castaño (inferior derecha) (Fotos: J. Pemán, A. Villasante).

5. Madera de trituración. La madera de desintegración o trituración, junto con la biomasa forestal, es la que presenta mayor cantidad de defectos. Únicamente se exige que la madera esté sana y no sea excesivamente resinosa. Los principales destinos de la madera de trituración son las pastas papeleras, el tablero aglomerado y el tablero de fibras (figura 2.7). En el caso de que el destino sea la producción de pasta blanqueda se suele rechazar la madera procedente de incendios. Este destino es fundamental en la gestión forestal para que las primeras claras sean rentables económicamente o que, al menos, no supongan coste. Por este motivo, es necesario mantener abastecidas a las empresas para que no necesiten otras fuentes de aprovisionamiento (Martínez et al. 2012). Actualmente se está produciendo una clara tendencia en las industrias de trituración hacia la utilización de mayores porcentajes de madera reciclada en sustitución de la madera en rollo.

6. Biomasa forestal**.** Hace referencia a la biomasa leñosa originaría de árboles, arbustos o matas e incluye, también, los residuos y subproductos de la transformación industrial de la madera (AENOR 2015). A partir de la biomasa, y después de un proceso de preparación o producción, se obtienen diferentes biocombustibles sólidos forestales, que pueden ser usados en la producción de energía térmica y/o eléctrica (figura 2.8). Entre estos biocombustibles sólidos forestales cabría citar: a) Leña, b) Astilla, c) Briquetas y d) Pélets.

Figura 2.7. Madera de trituración de coníferas para la obtención de pasta de papel kraft (Foto: A. Villasante).

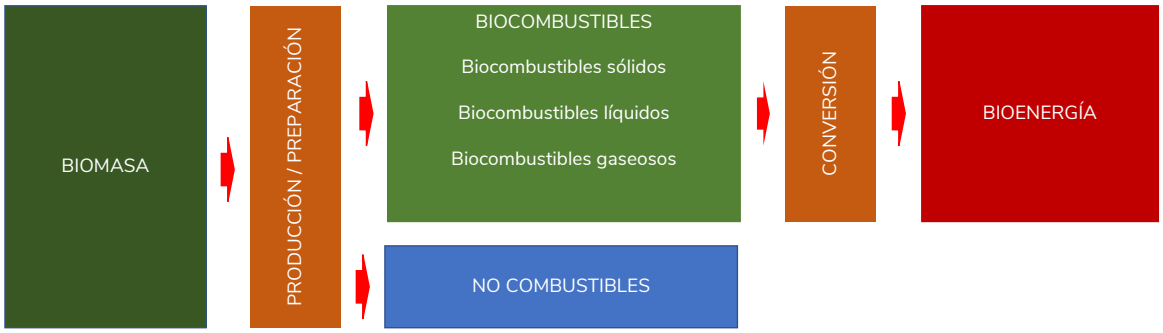


Figura 2.8. Esquema del proceso de transformación de la biomasa en fuente de energía (Modificado de AENOR (2015)).

La leña se define como el "combustible de madera cortada y troceada preparada para utilizarse en los aparatos domésticos de combustión de madera como estufas, chimeneas y sistemas de calefacción central" (AENOR 2019a). Suele tener una longitud uniforme que varía entre 15 y 100 cm. El origen de la leña pueden ser los árboles enteros sin raíces, los fustes, los residuos o restos de corta y los restos de madera no tratados químicamente. El proceso de transformación que tiene la biomasa para la obtención de este producto suele ser un tronzado (figura 2.9) y en ocasiones un hendido si la troza es gruesa. La norma EN ISO 17225-5 diferencia las leñas en tres clases: A1 y A2 apta para estufas y chimeneas; B para calderas de troncos.

Las astillas son trozos o partículas de biomasa leñosa obtenidos mediante un proceso mecánico de fragmentación realizado mediante una astilladora. Las astillas de madera tienen una forma rectangular con una longitud que oscila entre 5 y 50 mm (dirección de la fibra) y un reducido espesor comparado con las otras dimensiones. La norma EN ISO 17225-4 (AENOR 2019b) distingue tres tamaños de astillas (tabla 2.1).

Figura 2.9. Procesadora de leñas de cuñas fijas de la casa comercial POSCH (Fotos: J. Pemán).

Tabla 2.1 Tamaño de partícula de astillas de madera clasificadas (AENOR 2019b).

Clase	Fracción principal (mínimo 60% m/m)	Fracción de finos (% m/m) (≤ 3,15 mm)	Fracción gruesa (% m/m), longitud de partículas (mm)	Longitud máxima de partículas (mm)	Superficie máxima de la sección transversal (cm^2) de la fracción gruesa
P16S	3,15 < P (mm) ≤ 16	≤ 15	≤ 6 (> 31,5 mm)	≤ 45	≤ 2
P31S	3,15 < P (mm) ≤ 31,5	≤ 10	≤ 6 (> 45 mm)	≤ 150	≤ 4
P45S	3,15 < P (mm) ≤ 45	≤ 10	≤ 10 (> 63 mm)	≤ 200	≤ 6

Figura 2. 10. Madera de *Pinus sylvestris* para la obtención de biomasa (superior izquierda), astilladora de tambor de la casa comercial Europe Chippers (superior derecha) (Fotos: J. Pemán) y la astilla como producto final del proceso (inferior) (Foto: A. Villasante).

En la comercialización de la astilla es muy frecuente, en la actualidad, ver referencias a las clases de astilla establecidas por la norma austriaca ÖNORM M 7133 (ÖNORMEN 1998), que clasifica la astilla según su granulometría en las clases G30, G50 y G100. Las clases P16S y P31S de la norma europea serían las equivalentes a las G30 y G50, respectivamente, de la norma austriaca (figura 2.11).

Figura 2.11. Astillas de la clase P16S o G30 (izquierda) y de la clase P31S o G50 (derecha) (Fotos: J. Pemán).

Las briquetas de madera son un biocombustible sólido obtenido a partir de biomasa leñosa triturada que ha sido sometida a un proceso de compresión con o sin la pulverización de aditivos (AENOR 2019c). Pueden tener una forma cúbica, prismática o cilíndrica, con un diámetro mayor de 25 mm (figura 2.12). Se fabrican normalmente en una prensa de pistón y su contenido en humedad es inferior al 15%. La norma EN ISO 17225-3 establece tres clases de calidad: A1 (mayor calidad), A2 y B (menor calidad).

Figura 2.12. Briquetas de madera (Fotos: J. Pemán).

Los pélets de madera son un biocombustible obtenido por la trituración o molido de la biomasa leñosa y sometido posteriormente a un proceso de secado y densificación. Su forma normalmente es cilíndrica con una longitud que varía entre 5 y 40 mm y un diámetro menor a 25 mm (AENOR 2019d) (figura 2.13). Su contenido en humedad habitual es inferior al 10%. La norma

EN ISO 17225-2 establece 6 calidades de pélets: por una parte las clases A1, A2 y B, para aplicaciones comerciales y residenciales, y, por otra, las clases I1, I2 e I3 para usos industriales.

Figura 2.13. Pélet de madera de pino (Foto: J. Pemán)

De acuerdo con los datos del Anuario de Estadística Forestal, en el año 2018 (MAPA 2018), el destino mayoritario de las extracciones de madera fue la producción de pasta celulósica con un 33% de las extracciones, seguido de la madera para aserrío con un 27% y de la madera para tablero de trituración con un 18% (figura 2.14). La madera para biomasa representó el 18% de las extracciones y la destinada a chapa el 2%.

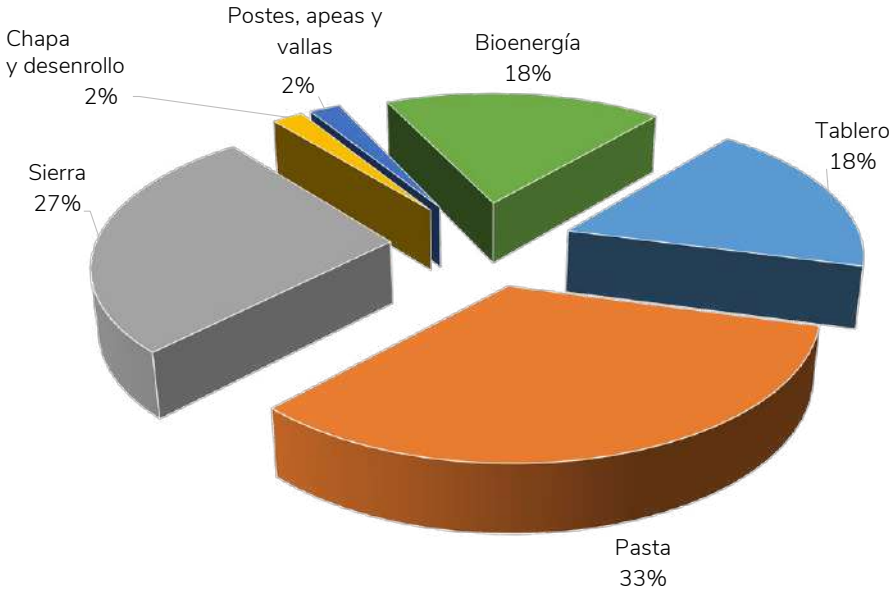


Figura 2.14. Destino de la madera extraída en 2018 (MAPA 2018).

Las posibilidades de destino de la madera en rollo vienen determinadas por las exigencias de calidad impuestas por las industrias. Estas exigencias se concretan en algunas normas de calidad ya establecidas:

1. Madera en rollo

   - UNE-EN 1927-1:2008. Clasificación de calidad de la madera en rollo de coníferas. Parte 1: Piceas y abetos.

   - UNE-EN 1927-2:2008. Clasificación de calidad de la madera en rollo de coníferas. Parte 2: Pinos.

   - UNE-EN 1927-3:2008. Clasificación de calidad de la madera en rollo de coníferas. Parte 3: Alerces y abetos de Douglas.

   - UNE-EN 1316-1:2012. Madera en rollo de frondosas. Clasificación de calidades. Parte 1: Roble y haya.

   - UNE-EN 1316-2:2012. Madera en rollo de frondosas. Clasificación de calidades. Parte 2: Chopo.

2. Madera aserrada y madera en rollo

   - UNE-EN 1310:1997. Madera aserrada y madera en rollo. Método de medida de las singularidades.

3. Madera aserrada para uso estructural

   - UNE 56544:2011. Clasificación visual de la madera aserrada para uso estructural. Madera de coníferas.

   - UNE 56546:2013. Clasificación visual de la madera aserrada para uso estructural. Madera de frondosas.

   - UNE-EN 14081-1:2006+A1:2011. Estructuras de madera. Madera estructural con sección transversal rectangular clasificada por su resistencia. Parte 1: Requisitos generales.

4. Madera aserrada para uso no estructural

   - UNE-EN 1611-1:2000. Madera aserrada. Clasificación por el aspecto de la madera de coníferas. Parte 1: Piceas, abetos, pinos y abeto de Douglas y alerces europeos.

   - UNE-EN 975-1:2010. Madera aserrada de frondosas. Clasificación por aspecto. Parte 1: Haya y roble.

- UNE-EN 975-2:2006. Madera aserrada de frondosas. Clasificación por aspecto. Parte 2: Chopos

5. Postes para líneas eléctricas

- UNE 56547:2013. Clasificación visual de los postes de madera para líneas aéreas.
- UNE-EN 14229:2011. Madera estructural. Postes de madera para líneas aéreas.

6. Biomasa forestal

- UNE-EN ISO 16559: 2015. Biocombustibles sólidos. Terminología, definiciones y clasificaciones
- UNE-EN ISO 17225-2: 2019. Biocombustibles sólidos. Especificaciones y clases de combustibles. Parte 2: Clases de pélets de madera.
- UNE-EN ISO 17225-3: 2019. Biocombustibles sólidos. Especificaciones y clases de combustibles. Parte 3: Clases de briquetas de madera.
- UNE-EN ISO 17225-4: 2019. Biocombustibles sólidos. Especificaciones y clases de combustibles. Parte 4: Clases de astillas de madera.
- UNE-EN ISO 17225-5: 2019. Biocombustibles sólidos. Especificaciones y clases de combustibles. Parte 5: Clases de leña de madera.

2. Estimación de los productos madereros en el árbol en pie

Conjuntamente con la estimación de las existencias maderables en la operación de señalamiento de un lote, se hace necesaria la estimación de los diferentes productos madereros que se pueden extraer de dicho lote. Para ello se puede recurrir a clasificaciones realizadas sobre la calidad de la madera en pie que utilizan criterios dimensionales, de conformación y estado sanitario (Mundet y Capó 2012; Correal et al. 2017) (tabla 2.2) o utilizar modelos de perfil de árbol que se basan en criterios dimensionales. Las Comunidades de Galicia y Castilla y León han sido pioneras en la aplicación de estos modelos, que hoy ya se pueden extender a un número elevado de especies forestales (Rodríguez 2009). Para su aplicación se cuenta con diferentes herramientas informáticas, como el programa CubiFor que ha sido desarrollado en el entorno Excel (Rodríguez 2009).

Ecuaciones de volumen comercial para las principales especies maderables de Castilla y León

Rodríguez F, Broto M (2010) Ecuaciones de volumen comercial para las principales especies maderables de Castilla y León.

El conocimiento de las existencias maderables en los montes es necesario tanto para los gestores como para los propietarios y rematantes de madera. Este conocimiento debe ser lo más preciso posible pero buscando un compromiso entre el coste y el valor de la masa. Los gestores lo necesitan para la planificación y la cuantificación de aprovechamientos y los rematantes para seleccionar los aprovechamientos y cuantificarlos. Las herramientas de cálculo de volúmenes se enriquecen con la clasificación de productos; éstas deben ser homogéneas, aplicables en el mayor número posible de casos y estables en el tiempo. De esta forma se puede aumentar la eficiencia del proceso de gestión y venta, accediendo a las subastas un mayor número de empresas que disponen de mayor información, a la vez que permiten fijar mejor los precios y elaborar estadísticas plurianuales, consiguiendo un mercado más transparente.

El volumen de interés puede englobar todo el fuste del árbol o solamente una porción entre el tocón y un punto determinado sobre el fuste. Las ecuaciones que proporcionan el volumen hasta un determinado diámetro o altura a lo largo del tronco se denominan ecuaciones de volumen con clasificación de productos o ecuaciones de volumen comercial. Estas ecuaciones se han elaborado tradicionalmente mediante dos metodologías distintas: i) funciones de perfil del tronco y, ii) ecuaciones de volumen porcentual.

Las funciones de perfil del tronco fueron inicialmente introducidas por HÖJER en 1903 (citado en BEHRE, 1923) como un intento de describir el perfil del tronco de los árboles y desde entonces éste ha sido un tema de gran interés para los forestales (e.g., KOZAK, 1988, 2004; NEWNHAM, 1992; RIEMER et al., 1995; BI, 2000; FANG et al., 2000). La construcción de una ecuación de volumen con clasificación de productos a partir de una función del perfil del tronco se basa en la capacidad de esta función para describir el diámetro del tronco a distintas alturas... Teniendo en cuenta la aplicación de la integral definida para calcular el volumen de un sólido de rotación, es posible determinar el volumen de madera entre dos alturas cualesquiera a lo largo del tronco del árbol. Una vez que se especifica el diámetro límite hasta el que se quiere conocer el volumen, su correspondiente altura se determina invirtiendo analíticamente la función o bien por medio de algún procedimiento iterativo (DIÉGUEZ-ARANDA et al., 2006).

El enfoque más común en el desarrollo de sistemas compatibles de volumen ha sido desarrollado para expresar el coeficiente (β) de la ecuación de la variable combinada de SPURR (SPURR 1952) sin el término independiente ($V= \beta.D^2H$, donde V es el volumen total del árbol, D es el diámetro normal, y la H es la altura total del árbol) en forma de ecuación de perfil, o viceversa, utilizando un relación de compatibilidad. Esto asegura que la función de volumen y la función de perfil son analíticamente consistentes (SHARMA y ODERWALD 2001). Ejemplos de este enfoque son los sistemas derivados de DEMAERSCHALK (1972), MARTIN (1981), y BYRNE y REED (1986). Otro enfoque se ha basado en el desarrollo de un sistema compatible de volumen que garantice la compatibilidad la ecuación de perfil y la función existente de volumen total. De esta forma se incluye la ecuación de volumen en la ecuación de perfil de modo que la integración del modelo de perfil entre cero y su altura total proporcione el mismo volumen total del árbol que el de la ecuación. Ejemplos de este enfoque son los sistemas de GOULDING y MURRAY (1976), FANG y BAILEY, (1999), y FANG et al. (2000).

Tabla 2.2. Criterios morfológicos, sanitarios y dimensionales de selección individual de árboles en pie de los bosques de Cataluña, según el producto maderero (Modificado a partir de Correal et al. 2017).

Factores que inciden sobre la estabilidad dimensional de los productos		**Factores que influyen sobre la cantidad y gravedad de las singularidades de la madera**		**Factores que limitan las dimensiones de los productos**		**Calidad de los árboles en pie**	
Conicidad (cm m^{-1})	Curvatura (cm m^{-1}) y desviación de la fibra	Conformación, ramosidad y bifurcaciones	Estado sanitario	Longitud (m)	Diámetro punta delgada (cm)	Clase de calidad	Productos
≤ 1,5 (Ø < 35) y 2 (Ø≥ 35)	1 No se admiten las costillas ni las desviaciones de la base del tronco. No se admiten protuberancias. Desviaciones de la fibra en espiral ≤ 3 cm m^{-1}	Tronco óptimamente conformado, libre de ramas y nudos sin alteraciones ni bifurcaciones antes de la longitud aprovechable. Generalmente se trata de la parte basal del tronco	Sano, vigoroso y sin señales de decrepitud. No se admiten ataques de xilófagos o muérdago	8 ≥ L ≥2,4	≥ 20	Primera	Chapa, Estructural, Sierra de calidad, RTI y puntales, Embalaje, trituración, biocombustibles
		Tronco con algún defecto de conformación, pocas ramas de dimensiones nunca superiores que la mitad del diámetro del tronco y no bifurcado antes de la longitud aprovechable	Decaído, no totalmente sano ni vigoroso o ligeramente decrépito y dominado. No se admiten ataques de xilófagos o muérdago	13 ≥L ≥9	≥ 11-14	Segunda, postes	Postes, Estructural, Sierra de calidad, RTI y puntales, Embalaje, trituración, biocombustibles
				≥ 4,5	≥ 20	Segunda, sierra	Estructural, Sierra de calidad, RTI y puntales, embalaje, trituración, biocombustibles
				8 ≥ L ≥1,5	≥ 8(5) - 14(11)	Tercera postes	RTI y puntales, embalaje, trituración, biocombustibles
				4,5 ≥ L ≥ 2,4	≥ 8 - 14	Tercera, sierra	Sierra de calidad, embalaje, trituración, biocombustibles
≤ 2,5 (Ø < 35) y ≤ 4 (Ø ≥ 35)	≤ 5 Se recomienda eliminar las costillas y las desviaciones en la base del tronco. Desviaciones de la fibra en espiral ≤ 3 cm m^{-1}	Tronco con bastantes defectos de conformación, con presencia de pequeños daños, ramas abundantes y no bifurcadas antes de la longitud aprovechable. Ninguna de las singularidades debe reducir de forma significativa las características naturales de la madera	Enfermo, débil o viejo. Se admiten ataques puntuales de xilófagos, chancros y heridas importantes en la corteza	4,5 ≥ L ≥ 2,4	≥ 8 - 14	Cuarta	Embalaje, trituración, biocombustibles

Independientemente de estas clasificaciones generales, las industrias definen los criterios dimensionales y de conformación de la madera en rollo según los productos que fabrican (tabla 2.3).

Tabla 2.3. Criterios dimensionales y de conformación de diferentes industrias catalanas según el producto de fabricación (L = longitud; Dd = Diámetro en punta delgada; DG = Diámetro en punta gruesa; s.c. = sin corteza).

Empresa o destino	Criterios dimensionales y de configuración	
EFAUSA	Sierra, trozas largas L > 4m Dd > 0,20 m	Sierra, trozas cortas L = 3,1 m; 3,6 m o 4,1 m Dd > 0,30 m
BOIX	Sierra, trozas gruesas L > 6 m Dd > 0,08 m DG = 0,25 a 0,35 m	Sierra, trozas delgadas L > 6 m Dd > 0,08 m DG = 0,20 a 0,24 m
CUNILL	Sierra, trozas gruesas L = 2,58 m; 3,08 m; 3,58 m o 4,08 m Dd > 0,30 m	Sierra, trozas delgadas L = 2,08 m o 2,48 m Dd > 0,14 m
INDUFOREST	Puntales (*Pinus uncinata*, *P. sylvestris* o *P. nigra*) L > 5 m DG < 0,20 m Conicidad < 1 cm m^{-1}	
INSA	Puntales (*P. sylvestris* o *P. nigra*) L > 4 m Dd > 0,06 m DG < 0,20 m Conicidad < 1 cm m^{-1}	
Postes	Postes grandes L = 11,10 m a 14,10 m Dd > 0,16 m (s.c.) DG = 0,28 a 0,34 m (s.c.) Conicidad < 1 cm m^{-1}	Postes pequeños L = 8,10 m a 10,10 m Dd > 0,12 m (s.c.) DG = 0,20 a 0,24 m (s.c.) Conicidad < 1 cm m^{-1}
Trituración	L < 2,3 m	

Gracias a estas herramientas, en los aprovechamientos forestales madereros es frecuente observar una estimación de los productos que se pueden obtener (tabla 2.4) o incluso la venta de diferentes lotes de productos directamente a la industria (tabla 2.5).

Tabla 2.4. Ejemplo de destino de un aprovechamiento maderero de 1 200 m^3 realizado en un monte de la comarca Pallars Sobirá en el año 2016.

Especie	Destino			
	Sierra, trozas mayores (m^3)	Trituración (m^3)	Sierra para embalaje (m^3)	Total (m^3)
Pinus uncinata	540	180	360	1 080
Abies alba	60		60	120

Tabla 2.5. Ejemplo de lotes de productos procedentes de montes propios de la Generalitat de Catalunya licitados en la subasta de 2016.

Lote	Unidades (t)	Precio licitación (€ t^{-1})	Características del lote
1	1 500	56	Madera de sierra. Madera cortada a medida, con una longitud mínima de la anchura del camión, según necesidades de la industria con un diámetro con corteza en punta gruesa superior a 30 cm y un diámetro con corteza en punta delgada de superior a 30 cm, en patio dentro de la comarca, en función de las especies.
2	1 000	56	Madera de sierra. Madera larga, mínimo de 4 metros de longitud con punta delgada con corteza mínima de 20 cm, en patio dentro de la comarca, en función de las especies.
3	8 850	54	Madera de sierra. Madera cortada a medida, con una longitud mínima de la anchura del camión, según necesidades de la industria con un diámetro con corteza en punta gruesa inferior a 30 cm y un diámetro con corteza en punta delgada de superior a 14 cm, en patio dentro de la comarca, en función de las especies.
5B	18 600	52	Madera de sierra. Madera larga, mínimo de 6 metros de longitud con punta delgada con corteza mínima de 8 cm y punta gorda con corteza entre 25 cm y 35 cm inclusive, en patio dentro de la comarca, en función de las especies.
6A	2 000	52	Puntales (cualquier especie), con una longitud mínima de 6 metros, el diámetro en punta delgada de 6 cm. El diámetro en punta gruesa de 16 cm. Con índice de conicidad 1, en patio dentro de la comarca.
6B	2 000	52	Puntales (Pinus sylvestris o P. nigra), con una longitud mínima de 4 metros, el diámetro en punta delgada de 8 cm. El diámetro en punta gorda de 16-17 cm. Con índice de conicidad 1, en patio dentro de la comarca.
7	3 000	65	Postes de 8, 9 y 10 metros de longitud, rectos (siempre con un margen de 15 ó 20 cm). Diámetro en punta gruesa sin corteza entre 20 y 24 cm. El diámetro mínimo en punta delgada sin corteza 12 cm. Palos de 12 metros de largo (excepcionalmente también de 11 m), diámetro sin corteza en punta gruesa entre 28 y 34 cm y 16 cm de diámetro en punta delgada sin corteza, no hay diámetro máximo en punta.

3. El precio de la madera

El precio de la madera puede determinarse en tres momentos del aprovechamiento; **en pie, en cargadero o en fábrica** (figura 2.15).

Figura 2.15. Esquema de los tres momentos en los que se puede comercializar el aprovechamiento. En pie (izquierda), cargadero (superior derecha) y en fábrica (inferior derecha) (Fotos: J. Pemán).

La relación entre estos precios se puede estimar mediante las siguientes expresiones:

- Precio de la madera en fábrica o industria. Precio de la madera cargadero + Coste transporte
- Precio de la madera en cargadero. Precio de la madera en pie + Coste apeo + Coste desembosque.

Debido a que el precio en fábrica o industria es el más constante de los tres, a partir de él se suelen estimar los precios en cargadero y en pie, añadiendo a los cálculos los costes de transporte, apeo y desembosque. Las alteraciones de estos costes provocan la modificación de los precios de la madera en pie (figura 2.16). En el caso concreto de la madera de *Pinus sylvestris*, el Observatorio Forestal Catalán estima que los precios en cargadero y en fábrica presentan un incremento medio de 24,8 € t^{-1} y 33,5 € t^{-1}, respectivamente, frente a su valor en pie. Estos diferenciales están provocados por los costes medios de las operaciones de apeo y desembosque y del transporte.

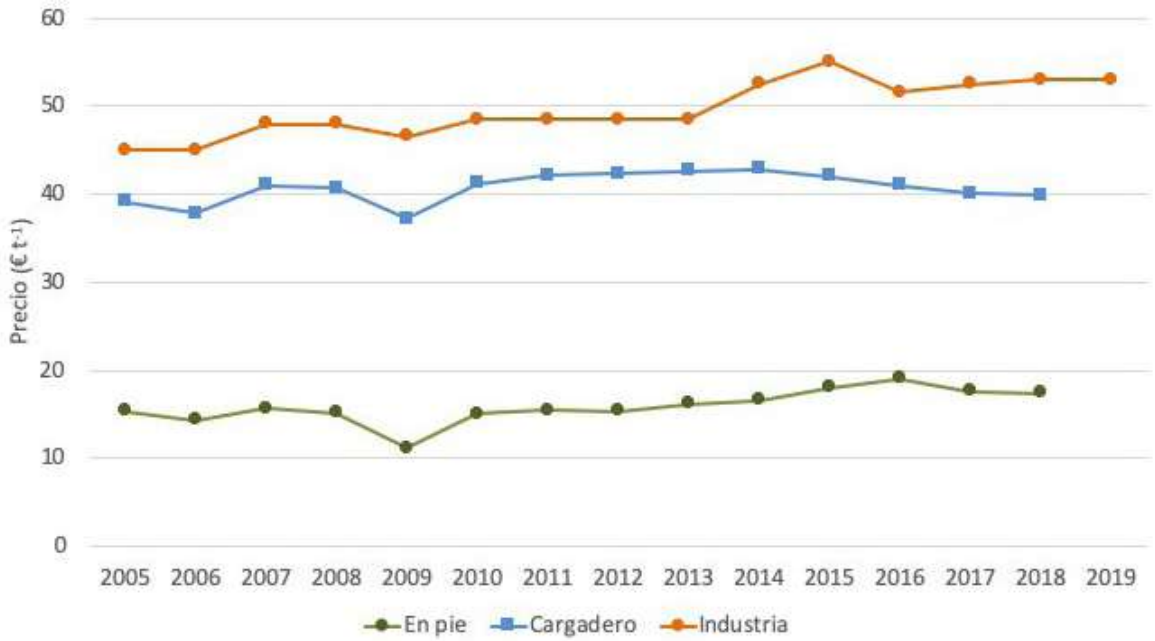


Figura 2.16. Evolución del precio de la madera de *Pinus sylvestris* en pie, en cargadero o en fábrica (Industria) (Fuente: Observatori Forestal Català).

Los precios de los productos madereros son variables según especie, destino, características de las piezas y ámbito territorial; como así se refleja en el Observatorio de precios de los productos forestales (COSE 2015). El análisis realizado de la evolución de los precios de los diferentes productos madereros abarca los siguientes destinos: 1) Madera de sierra, 2) Madera para chapa y desenrollo, 3) Madera de trituración y 4) Leñas.

3.1. Madera de sierra

Los precios en fábrica de la madera de sierra según especie, características y ámbito territorial se recogen en la tabla 2.6.

Tabla 2.6. Precio en fábrica de la madera con destino de sierra (Vm: volumen medio, Ø: diámetro, c.c: con corteza) (COSE 2015).

Especie	Rango de precios o precio medio (€ m^{-3} c.c.)		Destino	Ø (cm)	Vm (m^3)	Comunidad Autónoma
Pinus sylvestris	50	62			0,7 a 1	Navarra, La Rioja, Aragón
	70	73			1 a 1,3	Navarra, La Rioja, Aragón
	48	54		> 14		Cataluña, C Valenciana
		50				Castilla y León, Madrid
		49	Canter			Castilla y León, Madrid
		44	Sierra y canter		0,8 a 1	Castilla La Mancha, Extremadura, Murcia

Especie	Rango de precios o precio medio (€ m^{-3} c.c.)	Destino	Ø (cm)	Vm (m^3)	Comunidad Autónoma
Pinus nigra	48 53	Embalaje		> 0,6	Navarra, La Rioja, Aragón
	56 60	Poste		0,7 a 1	Navarra, La Rioja, Aragón
	45 49		> 14		Cataluña, C Valenciana
	44	Sierra y canter		0,8 a 1	Castilla La Mancha, Extremadura, Murcia
Pinus pinaster	46 52		> 20		Asturias y Cantabria
	29 36		> 16		Asturias y Cantabria
	42 45		14-19		Galicia
	45 47		20-29		Galicia
	48 61		> 30		Galicia
	47 53		> 18		Cataluña, C Valenciana
	50				Castilla y León, Madrid
	39	Canter		0,5 y 1	Castilla La Mancha, Extremadura, Murcia
Pinus pinea	41 44		> 18		Cataluña, C Valenciana
Pinus halepensis	42 44		16 y 20		Cataluña, C Valenciana
Pinus radiata	63 67			1,3 a 1,6	Navarra, La Rioja, Aragón
	61			0,94 a 1,14	Navarra, La Rioja, Aragón
	62			1,14 a 1,5	Navarra, La Rioja, Aragón
	63			1,5 a 1,7	Navarra, La Rioja, Aragón
	63			1,7 a 2	Navarra, La Rioja, Aragón
	64			> 2	Navarra, La Rioja, Aragón
	64	Carpintería (50%)	> 28	0,94 a 1,14	Navarra, La Rioja, Aragón
	65	Carpintería (50%)	> 28	1,14 a 1,5	Navarra, La Rioja, Aragón
	66	Carpintería (50%)	> 28	1,5 a 1,7	Navarra, La Rioja, Aragón
	67	Carpintería (50%)	> 28	1,7 a 2	Navarra, La Rioja, Aragón
	68	Carpintería (50%)	> 28	> 2	Navarra, La Rioja, Aragón
	44 50		> 20		Asturias y Cantabria
	29 35		> 16		Asturias y Cantabria
	42 45		14-19		Galicia
	45 47		20-29		Galicia
	48 61		> 30		Galicia
	54 69		> 18		Cataluña, C Valenciana
	41,5	Madera, Vm (m^3)		> 2	País Vasco
	39,7	Trituración (25%)		> 2	País Vasco
	39,1	Trituración (25%)		1,7 y 2	País Vasco
	38,4	Trituración (25%)		1,5 y 1,7	País Vasco
	37,9	Trituración (50%)		> 2	País Vasco
	37,2	Trituración (50%)		1,7 y 2	País Vasco
	36,5	Trituración (50%)		1,5 y 1,7	País Vasco
	35	Trituración (50%)		1,14 y 1,5	País Vasco
	33,7	Trituración (50%)		0,94 y 1,14	País Vasco

Especie	Rango de precios o precio medio (€ m^{-3} c.c.)		Destino	Ø (cm)	Vm (m^3)	Comunidad Autónoma
Pináceas	44			> 35		Andalucía
Pseudotsuga menziesii	71	85		> 30		Cataluña, C Valenciana
	54	59		> 14		Cataluña, C Valenciana
Castanea sativa	109	115		> 25		Asturias y Cantabria
	66	71		> 17		Asturias y Cantabria
	89	129				Galicia
	52	69		> 16		Cataluña, C Valenciana
	35	37	Puntales			Cataluña, C Valenciana
	75					Castilla y León, Madrid
Fagus sylvatica	50	55			1,5	Navarra, La Rioja, Aragón
	85	95			2 a 3	Navarra, La Rioja, Aragón
	65	70				Asturias y Cantabria
	85	95	Calidad superior			Cataluña, C Valenciana
	63	68		> 20		Cataluña, C Valenciana
Quercus robur	48	85				Galicia
	68	80		> 25		Cataluña, C Valenciana
Quercus petraea	68	80		> 25		Cataluña, C Valenciana
Quercus faginea	48	57		> 30		Cataluña, C Valenciana
Quercus spp.	78	83				Asturias y Cantabria
Acer pseudoplatanus	54	77		> 20		Cataluña, C Valenciana
Betula pendula	50	52				Asturias y Cantabria
Fraxinus spp.	86	119	Calidad superior			Cataluña, C Valenciana
	72	86		> 20		Cataluña, C Valenciana
Alnus spp.	51	54		> 25		Cataluña, C Valenciana
Árboles de ribera	44	49				Asturias y Cantabria
Eucalyptus globulus	57					País Vasco
Eucalyptus nitens	47,5					País Vasco
Eucalyptus spp.	44	47	sin corteza			Asturias y Cantabria
	42	45	con corteza			Asturias y Cantabria
	59	62		> 35		Galicia
Platanus hispanica	46	51		> 23		Cataluña, C Valenciana

3.2. Madera para chapa o desenrollo

El precio en fábrica según especie, características de la madera y ámbito territorial se recoge en la tabla 2.7.

Tabla 2.7. Precios en fábrica de madera con destino a la chapa o desenrollo (Vm: volumen medio, Ø: diámetro, c.c: con corteza) (COSE 2015).

Especie	Rango de precios o precio medio (€ m^{-3} c.c.)		Destino	Ø (cm)	Vm (m^3)	Comunidad Autónoma
Pinus pinaster	63			> 35		Asturias, Cantabria
	55	70	Desenrollo	> 38		Galicia
	120		Chapa a la plana	> 55		Galicia
Pinus radiata	62			> 35		Asturias, Cantabria
Eucalyptus spp.	46			> 40		Asturias, Cantabria
	50	53	Desenrollo	> 38		Galicia
	84	97	Chapa a la plana	> 55		Galicia
Populus nigra	55	61			0,6 a 0,7	Navarra, La Rioja, Aragón
	75	80			1	Navarra, La Rioja, Aragón
	59	63	Desenrollo 1ª calidad			Cataluña, C Valenciana
	49	54	Desenrollo 2ª calidad			Cataluña, C Valenciana

3.3. Madera de trituración

El precio en fábrica según especie, características de la madera y ámbito territorial se recoge en la tabla 2.8.

Tabla 2.8. Precios en fábrica de la madera con destino a trituración (COSE 2015).

Especie	Rango de precios o precio medio (€ m^{-3} c.c.)		Destino	Ø (cm)	Vm (m3)	Comunidad Autónoma
Pinus nigra	38	40	Pasta de celulosa			Navarra, La Rioja, Aragón
	39					Catilla La Mancha, Extremadura, Murcia
Pinus sylvestris	35				0,4 a 0,5	Navarra, La Rioja, Aragón
	36					Castilla y León, Madrid
	38					Catilla La Mancha, Extremadura, Murcia
Populus nigra	40	50	Biomasa			Cataluña, Comunidad Valenciana

Especie	Rango de precios o precio medio (€ m^{-3} c.c.)		Destino	Ø (cm)	Vm (m3)	Comunidad Autónoma
Pinus pinaster	32	41	Tablero de trituración			Galicia
	38					Castilla y León, Madrid
	38					Catilla La Mancha, Extremadura, Murcia
Pinus pinea	38					Castilla y León, Madrid
Pinus radiata	32	41	Tablero de trituración			Galicia
	34,1	41			> 2	País Vasco
	33,6	39			1,7 a 2	País Vasco
	33	38,4			1,5 a 1,7	País Vasco
	32,3	35			1,14 a 1,5	País Vasco
	31,2	33,7			0,94 a 1,14	País Vasco
	30,5	32			< 0,94	País Vasco
	36	41	Sierra (25%)		> 2	País Vasco
	35,4	39,1	Sierra (25%)		1,7 a 2	País Vasco
	34,6	38,5	Sierra (25%)		1,5 a 1,7	País Vasco
	33,5	35	Sierra (25%)		1,14 a 1,5	País Vasco
	32,4	34	Sierra (25%)		0,94 a 1,14	País Vasco
	32		Sierra (25%)		< 0,94	País Vasco
Pinus spp.	37			< 14		Andalucía
Coníferas	30	39				Cataluña, Comunidad Valenciana
	47		Pasta de celulosa			Cataluña, Comunidad Valenciana
Eucalyptus spp.	43	47	Tablero de trituración	> 8		Galicia
	30	32	Tablero de trituración	<8		Galicia
	47		Pasta de celulosa			Cataluña, Comunidad Valenciana
Eucalyptus globulus	48	71	Pasta de celulosa	>7		Galicia
Eucalyptus nitens	40	61	Pasta de celulosa	>7		Galicia
Fagus sylvatica	47		Pasta de celulosa			Cataluña, Comunidad Valenciana
Castanea sativa	43		Pasta de celulosa			Cataluña, Comunidad Valenciana
Otras frondosas	45		Pasta de celulosa			Cataluña, Comunidad Valenciana

3.4. Leñas

Las principales especies utilizadas para la realización de leña son especies con una densidad elevada y cuyo porte reducido y falta de rectitud no las hace adecuadas para otros destinos de mayor valor añadido. El mercado de la leña en España se nutre principalmente de encinas, robles, hayas y de especies características del cultivo agrícola como el olivo y el almendro. La unidad comercial de las leñas es la tonelada. El precio en fábrica según especie, características de la madera y ámbito territorial se recoge en la tabla 2.9.

Tabla 2.9. Precio en fábrica de las leñas (Vm: volumen medio, c.c.: con corteza) (COSE 2015).

Especie	Rango de precios o precio medio (€ t^{-1} c.c.)	Características	Comunidad Autónoma
Pinus pinaster	23	Madera en rollo	Asturias, Cantabria
Pinus radiata	23	Madera en rollo	Asturias, Cantabria
Fagus sylvatica	40 – 45	Maderas delgadas procedentes de claras	Navarra, La Rioja, Aragón
	46 – 52	Maderas procedentes de claras (Vm 0,7 a 1,2 m^3)	Navarra, La Rioja, Aragón
	39 – 45		Cataluña, C Valenciana
Castanea sativa	28	Madera en rollo	Asturias, Cantabria
Quercus robur	31 – 42		Galicia
Quercus ilex	63 – 69		Cataluña, C Valenciana
	46		Castilla y León, Madrid
Quercus faginea, Q. humilis	48		Cataluña, C Valenciana
Quercus pyrenaica	50		Castilla y León, Madrid
Eucalyptus spp.	26	Madera en rollo	Asturias, Cantabria
	35 – 43		Galicia
Otras especies	25 – 28		Galicia

4. El comercio exterior

En 2018 las exportaciones de madera en rollo representaron el 10% de la madera extraída (tabla 2.10).

Una visión más integral de los flujos de la madera, es decir de cómo el volumen de las extracciones, importaciones y exportaciones se distribuyen entre las industrias de primera y segunda transformación se puede visualizar a través de esquemas que representan el circuito de la madera (González Álvarez y Rios 1992), o como se denomina en las actuales estadísticas forestales, el Balance de la madera. Mediante este esquema, además de visualizar estos flujos, se observa como se retroalimentan unos de otros, ya que muchos de los subproductos son reutilizados. Con todo ello se obtienen las cifras nacionales de madera total extraída, consumos aparentes y comercio exterior (figura 2.17).

Tabla 2.10. Producción y comercio exterior en 2018 de los principales productos de la industria de primera transformación en España (MAPA 2018).

Productos	Producción y extracciones	Importaciones		Exportaciones	
		Unidades	Valor (miles €)	Unidades	Valor (miles €)
EXTRACCIONES					
Leñas (1000 m^3 s.c.)	3 506	58	3 888	24	3 128
Madera en rollo industrial (1000 m^3 s.c)	15 457	638	62 204	1 579	103 334
Coníferas	8 032	413	26 868	689	36 283
Frondosas	7 425	225	35 335	890	6 .052
PRODUCCIÓN					
Carbón vegetal (1000 t)	50	33	15 542	51	14 325
Astillas y partículas (1000 m^3)	33	5 820	133	8 732	33
Residuos de madera (1000 m^3)	84	3 473	302	14 934	84
Pélets y otros aglomerados (1000 m^3)	593	98	21 609	260	42 587
Madera aserrada (1000 m^3)	2 994	1 310	287 618	283	8 .637
Coníferas	2 498	1 138	178 978	242	49 816
Frondosas	493	172	108 639	41	37 821
Hojas de chapa (1000 m^3)	97	157	139 411	39	7 120
Tableros de madera (1000 m^3)	4 146	1 004	328 639	1 970	745 932
Tableros contrachapados (1000 m^3)	541	146	68 702	291	278 179
Tableros de partículas (1000 m^3)	1 920	496	119 001	787	181 133
Tableros de fibras (1000 m^3)	1 685	433	157 112	892	286 620
Pasta de papel (1000 t)	1 700	1 096	715 875	935	507 094
Mecánicas y semiquímicas	449	36	19 283	23	8 914
Químicas	1 250	1 044	682 372	888	479 492
Solubles	0	16	14.220	24	1 .688
Otros tipos de pasta (1000 t)	4 379	9	11 686	17	45 158
Pasta de otras fibras	122	8	11 320	17	44 883
Pasta de fibra recuperada	4 257	1	366	0	275
Papel recuperado (1000 t)	4 452	1 339	156 970	897	134 207

En cuanto a la procedencia y destino de las importaciones y exportaciones, según un estudio realizado en 2010 por CONFEMADERA (2011), el 77% de las exportaciones de productos de madera se realizan a Europa, un 8% a Asia, otro 8% a América y un 7% a África. En cuanto a las importaciones, en el año 2010 el 65% tenía como origen países europeos, un 14% asiáticos y un 15% americanos. Las importaciones procedentes de África representan el 5%. Desde el año 2001, se ha producido un aumento de las importaciones procedentes de países asiáticos.

Analizando los principales países de este comercio exterior, la UE ha sido el principal destino de las exportaciones de productos de madera efectuadas por España. Francia y Portugal registra-

ron, respectivamente, el 21,5% y el 21% del total de exportaciones de productos madereros. Reino Unido, con una cuota del 8%, ocupa la tercera posición. Por su parte, Italia es el destino del 6% de las exportaciones de madera. En cuanto a las importaciones de productos de madera, Portugal con el 16% y Francia con el 13% fueron los principales proveedores de productos de madera de España en 2010. China ocupa la tercera posición, aportando el 11,5% de las importaciones de madera. Le sigue por orden de importancia Alemania, que representa el 9% de las importaciones.

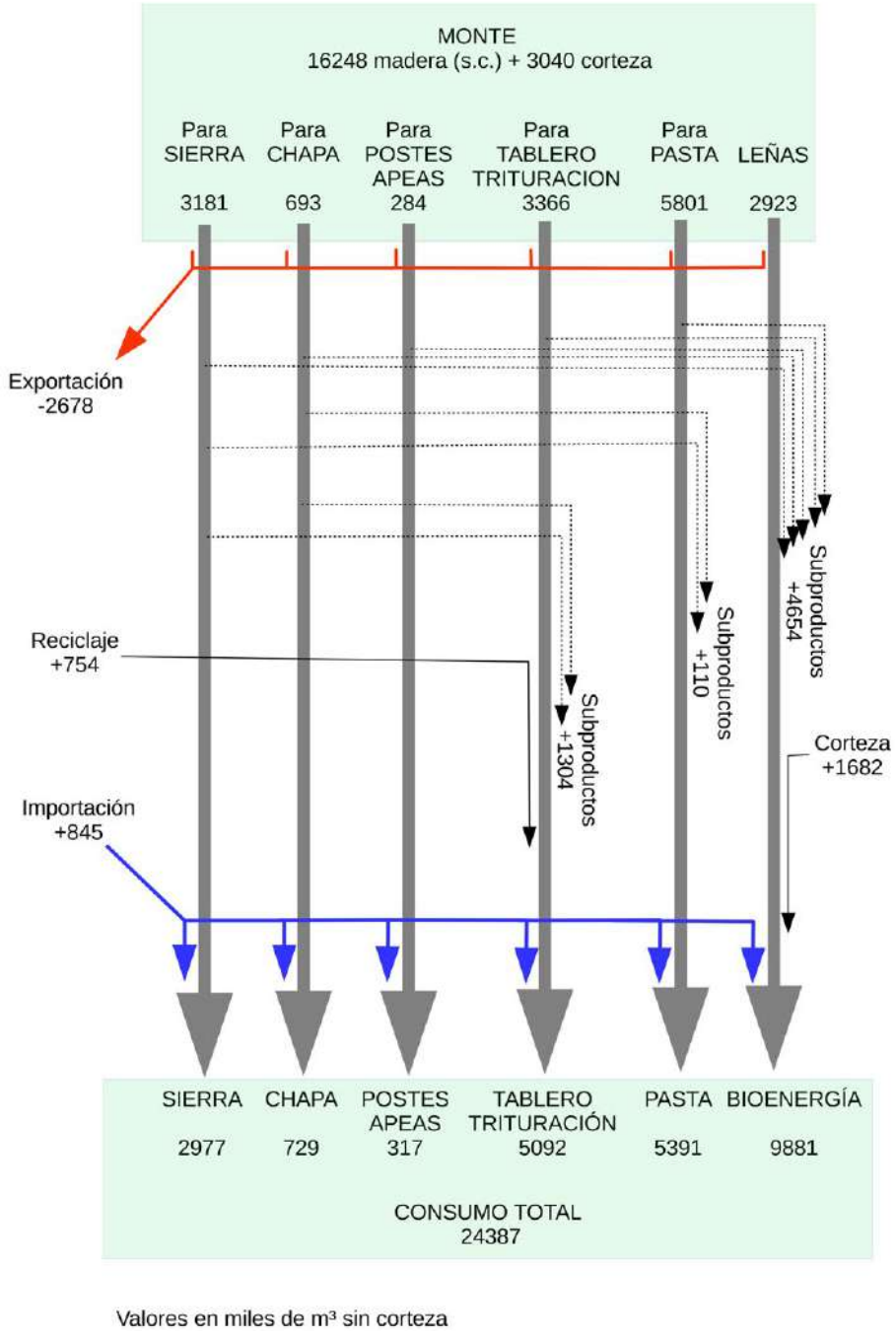


Figura 2.17. Balance de la madera para el año 2016. Versión simplificada a partir de los datos originales (MAGRAMA 2016).

Respecto a los balances comerciales, se puede observar que el déficit se concentra en la madera aserrada y la pasta, con unos valores aproximados de 200 millones de euros en cada caso. En el caso de la madera aserrada esto es debido a unas importaciones 5 veces mayores que las exportaciones. En el caso de la pasta, el déficit está asociado con la elevada cantidad de producto intercambiado, porque a pesar de que el desequilibrio es solo un 25%, es el apartado que presenta mayor intercambio económico. A esto hay que añadir que las pastas importadas son un 30% más caras que las exportadas.

En el caso contrario, nos encontramos con los tableros con un balance claramente positivo de 300 millones de euros. La mitad aproximadamente corresponde a los tableros contrachapados y la otra mitad a los tableros de fibras. En el caso de los tableros de fibras exportados, son un 40% más baratos que los importados. En el caso de los tableros contrachapados la situación se invierte, siendo el precio de los tableros exportados el doble que los que se importan.

4.1. El control de la legalidad en la comercialización de la madera o de sus productos derivados

Según recoge la FAO (2020) en su último informe sobre los recursos forestales mundiales, el ritmo de deforestación es alarmante, estimándose, para el periodo comprendido entre el año 2010 y 2020, un tasa de pérdida global de 4,7 millones de hectáreas anuales. Esta reducción de superficie tiene su origen en causas naturales o en la intervención del hombre, sobre todo debido a la transformación del uso forestal a agrícola. Dado que en la zona boreal se producen incrementos de la superficie forestal, es en los bosques tropicales donde la situación es especialmente problemática. África es la región que lidera la tasa de deforestación, con cerca de 3,9 millones de hectáreas al año, seguida de Sudamérica con 2,6. Detrás de una parte de esta tasa de deforestación está la tala o corta ilegal, entendida esta como la que se produce de forma contraria a lo establecido en la legislación vigente en cada país.

Estimaciones recientes, elaboradas por el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y por la INTERPOL, determinan que entre el 15% y el 30% del volumen de madera comercializado a nivel mundial tiene un origen ilegal (MAPA 2015b). Estos porcentajes se elevan por encima del 50% en caso de madera con origen en países productores tropicales. La cuantía económica de este comercio internacional de madera ilegal, incluyendo su procesado, se estima en más de 50 000 millones de euros anuales. Además de estos perjuicios económicos hay que añadir otros de carácter social, como el enfrentamiento con las comunidades indígenas o locales y la distorsión del mercado de la madera. En ocasiones, detrás de este comercio ilegal está la financiación de conflictos armados.

Se puede asumir, con carácter general, que los aprovechamientos forestales de madera sin garantías de legalidad no son habituales en la Unión Europea (UE). No obstante, los requisitos de libre comercio, derivados de la Organización Mundial del Comercio, obligan a que las medidas impuestas a los operadores económicos europeos sean las mismas cuando comercializan ma-

dera procedente de Europa o de terceros países. Los Estados miembros de la Unión Europea, como responsables de una parte significativa de las importaciones de madera y productos de madera a nivel mundial, han asumido el compromiso de reducir este comercio ilícito a través de varias medidas legislativas. Estas medidas regulan la demanda de productos de madera comercializados en la UE y aseguran que estos han sido extraídos legalmente en el país de origen. Las medidas legislativas más relevantes son:

- Plan de Acción sobre aplicación de las leyes, gobernanza y comercio forestal (*Forest Law Enforcement, Governance and Trade*, FLEGT) aprobado por la Comisión Europea en 2003. Como respuesta a este plan de acción, el Consejo de la UE aprobó en el año 2005 el Reglamento CE nº 2173/2005 *sobre licencias FLEGT* que determina que todas las exportaciones a la Unión Europea de madera o productos derivados procedentes de países socios deberán contar obligatoriamente con una licencia FLEGT. Los países socios son aquellos países exportadores de madera con los que la Unión Europea ha firmado un acuerdo voluntario de asociación (AVA). El objetivo de estos acuerdos es asegurar que toda la madera exportada cumple con los requisitos de legalidad del país donde es aprovechada, mejorando al mismo tiempo la gobernanza forestal de estos países. Hasta la fecha, la Unión Europea ha firmado acuerdos con siete países exportadores: República de Ghana, República del Camerún, República Centroafricana, República del Congo, República de Liberia, Vietnam y República de Indonesia; y está en fase de negociación con: Costa de Marfil, Gabón, la República Democrática del Congo, Guayana, Honduras, Laos, Malasia y Tailandia. El Reglamento FLEGT se articula, en esencia, como un control en frontera, con carácter previo a la comercialización del producto en el territorio de la UE. Solo se autoriza el despacho libre a los productos de madera procedentes de países socios –aquellos con los que la Unión Europea ha formalizado un AVA– cuando el producto cuente con la licencia FLEGT debidamente validada por la autoridad competente del país de origen.

- El Reglamento UE 995/2010, por el que se establecen las obligaciones de los agentes que comercializan madera y productos de la madera (*European Union Timber Regulation*, EUTR). Este reglamento tiene como objeto "establecer las obligaciones para los agentes que comercializan por primera vez en el mercado interior madera y productos de la madera, así como una obligación de trazabilidad para los comerciantes". Es de aplicación sobre todos los productos derivados de la madera que se comercializan en el territorio europeo, independientemente del lugar de su aprovechamiento. El Reglamento EUTR no impone un control en frontera o previo a la comercialización del producto; obliga a que el operador económico que comercializa la madera esté en disposición, cuando así sea solicitado por la Administración competente, de poder demostrar el origen legal del producto. En el año 2015, en España, se aprobó el Real Decreto 1088/2015, *de 4 de diciembre, para asegurar la legalidad de la comercialización de madera y productos de la madera* y se ha elaborado un Plan Nacional de Control de la Legalidad de la Madera Comercializada (MAPA 2015b). El Reglamento diferencia varios actores, cada uno de las cuales está sujeto a diferentes obligaciones y responsabilidades (MAPA 2015b) (figura 2.18):

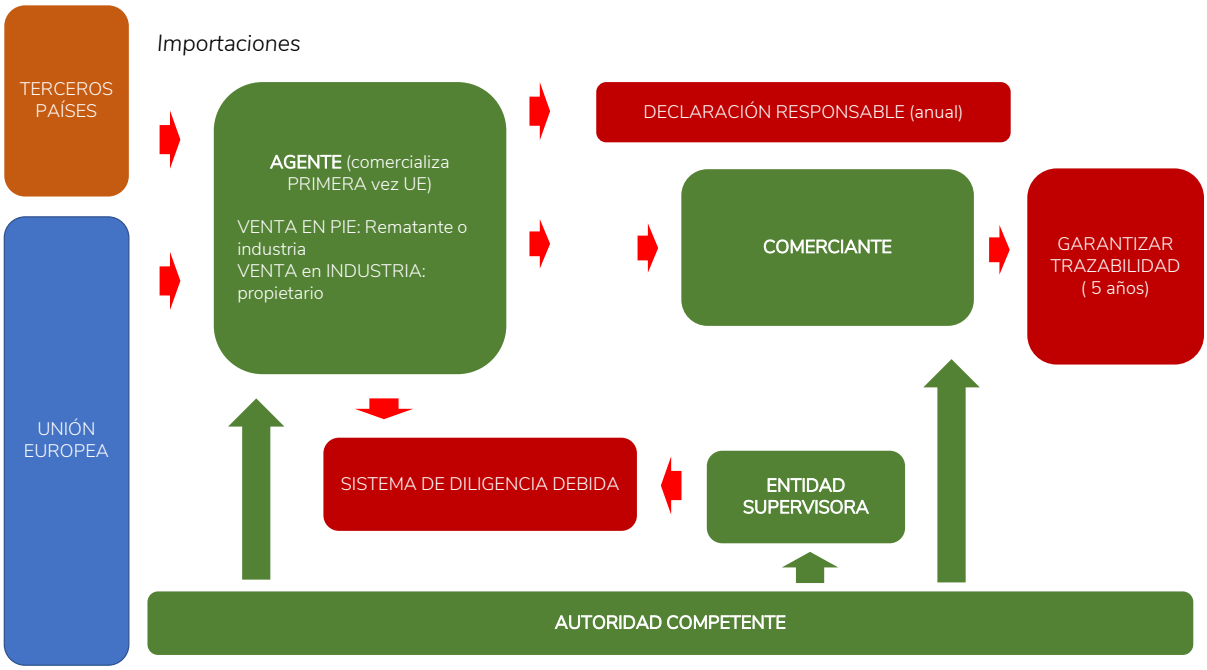


Figura 2.18. Actores que intervienen en el Reglamento EUTR.

1. Agente. Cualquier persona física o jurídica que comercialice madera o productos de la madera. Existen, básicamente, tres tipos de agentes: a) el propietario, cuando comercializa la madera extraída de su monte (la vende en cargadero o en la industria), b) el rematante, cuando comercializa la madera adquirida en pie, c) los importadores. Sobre los agentes recae la obligación, que impone el Reglamento, de desarrollar y poner en práctica un Sistema de Diligencia Debida (SDD) que permita evaluar y asegurarse de que existe un riesgo despreciable de que la madera que están comercializando haya sido aprovechada ilegalmente. El SDD es un conjunto de medidas y procedimientos que tienen por objeto:

1.a. Aportar la información del producto que se comercializa. Esta información hará referencia al tipo de producto, la especie, la cantidad, el país origen del aprovechamiento, el proveedor, el cumplimiento de las exigencias legales en su país de origen, el cliente y el certificado PEFC o FSC si se dispone.

1.b. Evaluar el riesgo de que se introduzca madera aprovechada ilegalmente. Partiendo de la información anterior, se deben poner en marcha mecanismos que permitan evaluar los riesgos. Son indicios a valorar: a) La existencia de un sistema de garantía que certifique el cumplimiento de la legislación aplicable, b) La predominancia de aprovechamientos ilegales de especies concretas, c) La realización de prácticas ilegales en el país origen del aprovechamiento, d) La existencia de sanciones impuestas en la importación y/o exportación de madera por el Consejo de Seguridad de Naciones Unidas, e) La complejidad de la cadena de suministro de la madera. En nuestro país este apartado es sencillo, como consecuencia de: a) Tener un sistema de autorización administrativa para todo tipo de corta, b) No realizar aprovechamientos sobre las especies reguladas por acuerdos internacionales, c) No ser un país donde exista riesgo de prácticas ilegales, d) Cadena de suministro de la madera

es sencilla. Los propietarios que dispongan de certificado PEFC o FSC, disponen de un certificado de legalidad de origen y no están obligados al procedimiento de evaluación del riesgo.

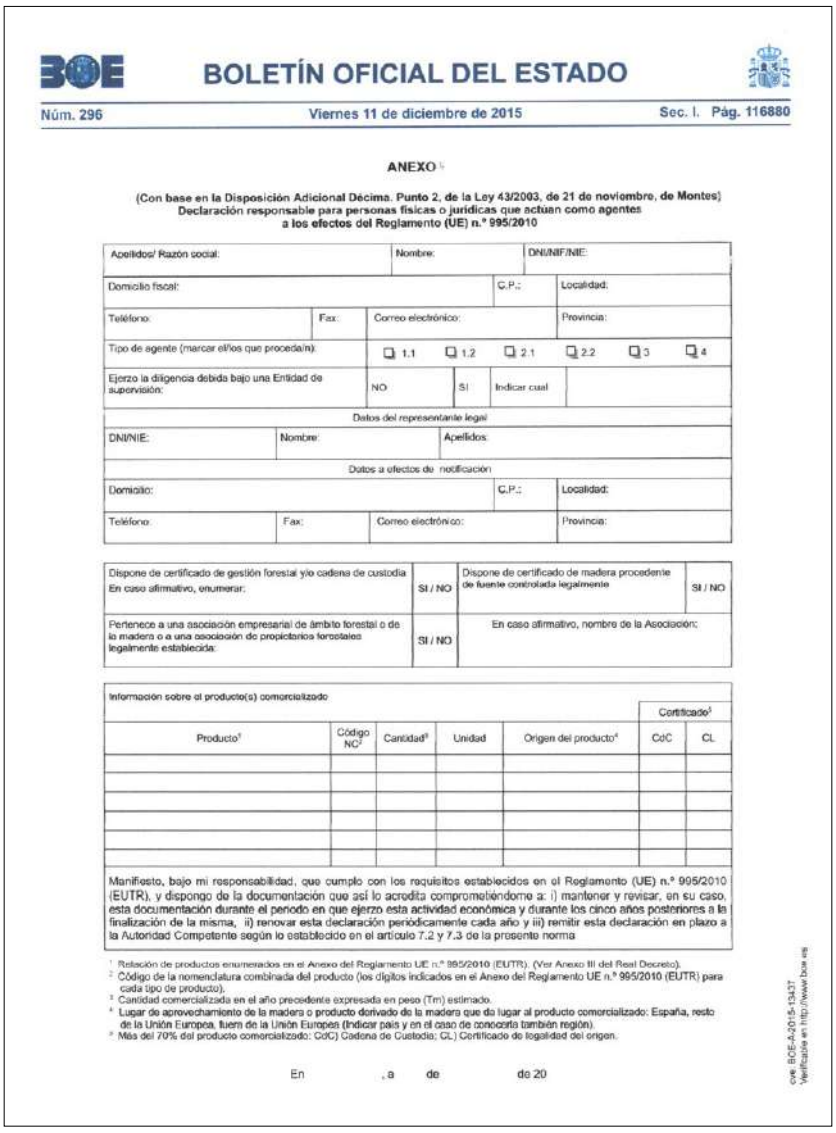
1.c. Reducir el riesgo de que se introduzca madera aprovechada ilegalmente. En el caso de que en la etapa anterior el riesgo no sea despreciable se deberán poner en marcha procedimientos para su disminución, pudiendo llegar a exigirse la obligación de aportar información o documentos adicionales y/o exigir la verificación por terceros. Un riesgo muy elevado puede desaconsejar la comercialización de la madera, que en caso de no cumplir con las medidas aconsejadas por el SDD, podrá acarrear sanciones. EL SDD deberá ser ejercido por los propios agentes que comercialicen la madera, ya sea de manera individual o bien a través de las denominadas Entidades de supervisión.

Los agentes que comercialicen en España madera o productos de la madera incluidos en el anexo del Reglamento EUTR están sometidos a un régimen de Declaración responsable. El agente debe presentar la Declaración responsable ante el órgano competente de la Comunidad Autónoma donde tenga su domicilio o sede social. Esta Declaración se presentará con carácter anual, con datos del ejercicio anterior y antes del 31 de marzo de ese año. Los órganos competentes de las CC.AA han establecido la forma en que debe presentarse la Declaración responsable, siendo preferible que esta se habilite por medios electrónicos (figura 2.19).

2. Comerciante. Cualquier persona física o jurídica que vende o adquiere, en el mercado interior, madera o productos derivados de la madera que ya han sido previamente comercializados. La normativa les obliga a asegurar la trazabilidad del producto de madera que comercializan, debiendo poder determinar, durante al menos cinco años, quiénes son los agentes o comerciantes que le han suministrado la madera y, cuando proceda, cuáles son los comerciantes a los que ha suministrado madera.

3. Entidades de supervisión. Personas jurídicas legalmente establecidas en la UE que facilitan el ejercicio de la Diligencia Debida al agente que debe desarrollarla. En España, AENOR (Agencia Española de Normalización y Certificación) es la entidad reconocida de supervisión desde el mes de octubre de 2015. AENOR ha desarrollado su Reglamento Particular para la Certificación de Sistemas de Diligencia Debida.

4. Autoridad competente. Son las Administraciones Públicas de cada Estado miembro responsables de la aplicación de los Reglamentos FLEGT y EUTR y de hacer cumplir el régimen sancionador que resulte de aplicación en cada caso. Pueden existir una o varias por Estado miembro. Como funciones ejecutivas de estas Autoridades se encuentran la realización de controles sobre los agentes, comerciantes y entidades de supervisión, para el Reglamento EUTR, y la ejecución de controles de identidad en el ámbito del Reglamento FLEGT.



BOLETÍN OFICIAL DEL ESTADO
Núm. 296 Viernes 11 de diciembre de 2015 Sec. I. Pág. 116880

ANEXO

(Con base en la Disposición Adicional Décima. Punto 2, de la Ley 43/2003, de 21 de noviembre, de Montes)
Declaración responsable para personas físicas o jurídicas que actúan como agentes
a los efectos del Reglamento (UE) n.º 995/2010

Apellidos/ Razón social:	Nombre:	DNI/NIF/NIE:
Domicilio fiscal:	C.P.:	Localidad:
Teléfono: Fax:	Correo electrónico:	Provincia:
Tipo de agente (marcar el/los que proceda/n):	☐ 1.1 ☐ 1.2 ☐ 2.1 ☐ 2.2 ☐ 3 ☐ 4	
Ejerzo la diligencia debida bajo una Entidad de supervisión:	NO SI Indicar cual	

Datos del representante legal

DNI/NIE:	Nombre:	Apellidos:

Datos a efectos de notificación

Domicilio:	C.P.:	Localidad:
Teléfono: Fax:	Correo electrónico:	Provincia:

Dispone de certificado de gestión forestal y/o cadena de custodia En caso afirmativo, enumerar:	SI / NO	Dispone de certificado de madera procedente de fuente controlada legalmente	SI / NO
Pertenece a una asociación empresarial de ámbito forestal o de la madera o a una asociación de propietarios forestales legalmente establecida:	SI / NO	En caso afirmativo, nombre de la Asociación:	

Información sobre el producto(s) comercializado

Producto[3]	Código NC[2]	Cantidad[3]	Unidad	Origen del producto[4]	Certificado[5] CdC	Certificado[5] CL

Manifiesto, bajo mi responsabilidad, que cumplo con los requisitos establecidos en el Reglamento (UE) n.º 995/2010 (EUTR), y dispongo de la documentación que así lo acredita comprometiéndome a: i) mantener y revisar, en su caso, esta documentación durante el período en que ejerzo esta actividad económica y durante los cinco años posteriores a la finalización de la misma, ii) renovar esta declaración periódicamente cada año y iii) remitir esta declaración en plazo a la Autoridad Competente según lo establecido en el artículo 7.2 y 7.3 de la presente norma

[1] Relación de productos enumerados en el Anexo del Reglamento UE n.º 995/2010 (EUTR). (Ver Anexo III del Real Decreto).
[2] Código de la nomenclatura combinada del producto (los dígitos indicados en el Anexo del Reglamento UE n.º 995/2010 (EUTR) para cada tipo de producto).
[3] Cantidad comercializada en el año precedente expresada en peso (Tm) estimado.
[4] Lugar de aprovechamiento de la madera o producto derivado de la madera que da lugar al producto comercializado: España, resto de la Unión Europea, fuera de la Unión Europea (Indicar país y en el caso de conocerla también región).
[5] Más del 70% del producto comercializado: CdC) Cadena de Custodia; CL) Certificado de legalidad del origen.

En , a de de 20

cve: BOE-A-2015-13437
Verificable en http://www.boe.es

Figura 2.19. Anexo I del Real Decreto 1088/2015, de 4 de diciembre, para asegurar la legalidad de la comercialización de madera y productos de la madera que indica el contenido mínimo de una Declaración responsable.

Control de cortas de madera y evaluación del riesgo en cada comunidad autónoma para aplicación del Sistema de Diligencia Debida

COSE (2011) **Control de cortas de madera y evaluación del riesgo en cada comunidad autónoma para aplicación del sistema de diligencia debida.**

...tras el análisis de la legislación vigente, los métodos de control y realidad forestal en las distintas Comunidades Autónomas, se ha comprobado que tanto la Ley de Montes Estatal como las distintas legislaciones autonómicas existentes son un mecanismo adecuado y suficiente para garantizar la legalidad de los aprovechamientos forestales en el Estado Español.

No se ha encontrado ningún caso de aprovechamientos no declarados o de dudosa legalidad. Es más, el sistema de control y seguimiento no lo permitiría, por lo que se puede afirmar que el sis-

tema de control de los aprovechamientos forestales desarrollados por la Administración Forestal Española y Autonómica es garantía de legalidad de los citados aprovechamientos, al garantizar que la madera y productos forestales obtenidos de los montes españoles son:

1. Origen conocido: la madera cuenta con permisos de corta y cumple con la legislación forestal del país de origen. La procedencia de la madera ofrece garantías de legalidad y, en su caso, de sostenibilidad en su aprovechamiento.

2. Garantía de legalidad: hay mecanismos públicos y privados que permiten garantizar la legalidad del aprovechamiento.

Permiso de corta de la Administración pública de los países miembros de la Unión Europea: el consumidor puede garantizarse la legalidad del aprovechamiento de madera en la Unión Europea mediante un permiso de corta expedido por la Administración Pública competente. En España toda la madera que se corte y se comercialice debe tener un permiso de corta expedido por la Comunidad Autónoma correspondiente. Son sus servicios de policía ambiental quienes marcan y controlan los aprovechamientos de madera.

3. Garantía de sostenibilidad

-Certificación forestal: es la máxima garantía de sostenibilidad del aprovechamiento de madera y permite acreditar la legalidad a través del ejercicio de la diligencia debida. Es una auditoría externa de la gestión forestal que se realiza en el bosque. Está realizada por entidades independientes (entidades de certificación) y exige el cumplimiento de unas determinadas condiciones ecológicas, sociales y económicas. La certificación forestal es, principalmente, una herramienta de comunicación: transmite al consumidor una garantía. En el mundo hay varios sistemas de certificación forestal, aunque los dos principales en número de hectáreas y cadenas de custodia certificadas son FSC y PEFC. En España actúan estos dos sistemas de certificación.

Ambos sistemas tienen una marca, sello o logotipo que identifica la madera procedente de gestión sostenible. La madera que lleva cualquiera de estos sellos ofrece garantía de legalidad y de sostenibilidad en su aprovechamiento. Para conseguir este sello de certificación los propietarios de los bosques deben estar realizando previamente una gestión forestal sostenible que se ajuste a las exigencias del sistema en cuestión. La gestión sostenible es el paso previo a la certificación y es, a la vez, el paso más importante. Sin ella no hay certificado, sin ella podemos quedarnos sin bosques. Lograr esta gestión forestal sostenible debe ser el objetivo a alcanzar en todos los bosques del planeta. Un bosque puede tener gestión sostenible y no estar certificado. En este caso, el objetivo fundamental (la sostenibilidad del aprovechamiento) está logrado; ahora bien, la garantía de esa sostenibilidad la facilita la certificación forestal. De hecho, por ejemplo, los bosques de España tienen una gestión forestal sostenible y sólo están certificados un pequeño porcentaje de ellos. Por otro lado, un bosque certificado sólo puede ser un bosque gestionado de manera sostenible.

Por tanto, desde COSE se asume que la manera de impulsar la legalidad de los aprovechamientos forestales es seguir apostando por la certificación forestal y elaborar un mecanismo de ordenación de montes, que, de forma simplificada, garantice la legalidad de los montes y la sostenibilidad de los mismos. La Ley de Montes ya contempla la necesidad de planes de gestión en los montes y

la obligatoriedad de ordenación para 2018, el reto es implementar una herramienta que agilice ambos procesos: legalidad y sostenibilidad, de forma que el propietario forestal pueda obtener una garantía de legalidad mediante un plan de cortas aprobado por la Administración Forestal con el que pueda cumplir con las obligaciones de Due Dilligence y una garantía de sostenibilidad con el que pueda obtener el sello de certificación si así lo desea.

No olvidemos que la certificación es un proceso voluntario y el ejercicio de la diligencia debida es un proceso obligatorio, pero ambos procesos pueden converger en uno sólo, que de forma ágil y transparente, favorezca la sostenibilidad de los montes españoles.

4. Cadena de custodia

Para dar respuesta a esta demanda, las empresas de primera y segunda transformación de productos de origen forestal (madera, resina, corcho...) implantan sistemas de trazabilidad o de Cadena de Custodia, para garantizar el origen sostenible de sus productos, dando como resultado productos certificados. La certificación de la cadena de custodia implica certificar el producto desde su origen hasta que llega al consumidor final. Por lo tanto se debe verificar que el producto procede de una superficie con gestión forestal certificada y controlar todos los pasos del proceso de producción, transporte y distribución.

La certificación de la Cadena de Custodia es, por tanto, un proceso voluntario mediante el cual una tercera parte, independiente y acreditada, verifica la trazabilidad de los productos forestales en una empresa que utiliza material forestal como materia prima en la fabricación de sus productos. El seguimiento de la trazabilidad se realiza a lo largo del proceso productivo de la empresa que, en función de su actividad, puede comprender desde la realización del aprovechamiento forestal en el monte (corta de madera, extracción de corcho, carga y transporte, etc.), el procesamiento industrial de los productos (aserrado, secado, astillado, etc..), hasta su entrega final al cliente que, en el caso de ser otra empresa, se convertirá en el siguiente eslabón de la cadena (artes gráficas, editoriales, revistas). Durante todo el proceso de certificación, se procede a verificar el cumplimiento de los requisitos de trazabilidad de la normativa de referencia a la que la empresa decida adherirse.

5. Bibliografía

AENOR (2015) UNE-EN IS0 16559. Biocombustibles sólidos. Terminología, definiciones y descripciones. Asociación Española de Normalización, Madrid.

AENOR (2019a) UNE-EN ISO 17225-5. Biocombustibles sólidos. Especificaciones y clases de combustibles. Parte 5: Clases de leña de madera (ISO 17225-5:2014). Asociación Española de Normalización, Madrid.

AENOR (2019b) UNE-EN ISO 17225-4. Biocombustibles sólidos Especificaciones y clases de combustibles Parte 4 : Clases de astillas de madera. Asociación Española de Normalización, Madrid.

AENOR (2019c) UNE-EN ISO 17225-3. Biocombustibles sólidos Especificaciones y clases de combustibles Parte 3 : Clases de briquetas de madera. Asociación Española de Normalización, Madrid.

AENOR (2019d) UNE-EN ISO 17225-2. Biocombustibles sólidos Especificaciones y clases de combustibles Parte 2 : Clases de pélets de madera. Asociación Española de Normalización, Madrid.

CONFEMADERA (2011) La industria de la madera en España: situación actual y perspectivas.

Correal E, Rabascall X, Cervera T, Baiges T (2017) Guia dels criteris de classificació de la fusta en peu de Catalunya. Centre Propietat Forestal, Barcelona.

COSE (2015) Observatorio de precios de productos forestales. RedFor 33.

FAO (2020) Global forest resources assessment 2020. Key findings. doi: https://doi.org/10.4060/ca8753en.

González Álvarez MA, Rios J (1992) El circuito de la madera. AITIM 51-54.

MAGRAMA (2016) Producción, consumo y comercio exterior de la madera y sus productos. En: Anu. estadística For. 2016. https://www.mapa.gob.es/es/desarrollo-rural/estadisticas/forestal_anuario_2016.aspx. Accessed 24 sep 2019.

MAPA (2015a) Producción, consumo y comercio exterior de la madera y sus productos. En: Anu. estadística For. 2015. https://www.mapa.gob.es/es/estadistica/temas/default.aspx. Accessed 12 dic 2018.

MAPA (2015b) Plan Nacional para el control de la legalidad de la madera comercializada. En: Planes y estrategias. https://www.mapa.gob.es/images/es/plannacionaldecontroldelalegalidaddelamaderacomercializada_informacionpublica_tcm30-437755.pdf. Accessed 13 mar 2019.

MAPA (2018) Anuario Estadística Forestal. MAPA, Madrid.

Martínez E, Ortiz L, González-Dominguez M, et al. (2012) Manual para la cubicación, taxación e venda de madeira en pé e biomasa forestal. Universidade de Vigo, Vigo.

Mundet R, Capó J (2012) Guia per a la classificació de la fusta en peu. Consorci Forestal de Catalunya, Barcelona.

ÖNORMEN (1998) ÖNORM M 7133 Chipped wood for energetic purposes – Requirements and test specifications (1998 02 01)

Rodríguez F (2009) Cuantificación de los productos forestales en la planificación forestal: Análisis de casos con cubiFOR. En: SECF (ed) 5 Congreso Forestal Español. SECF, Avila, p 5.

Capítulo 3

Las unidades de medida de los productos forestales

Jesús Pemán García, Antonio Villasante Plágaro

1. La cosa cierta

En el derecho civil, y en las relaciones contractuales, el objeto de un contrato es una cosa determinada o cierta. Por lo tanto, en el ámbito de los aprovechamientos madereros, la cosa cierta es el número de árboles que se van a aprovechar. No lo es su volumen o su peso, ya que estas unidades comerciales representan una estimación de dichos árboles. El término cosa cierta hace referencia, por tanto, a lo que realmente es el objeto del aprovechamiento, lo concreto, lo determinado, lo cierto. La determinación o identificación de la cosa cierta en los aprovechamientos madereros se puede realizar de dos formas:

- Señalando cada uno de los árboles objeto de corta. Esta operación se denomina señalamiento y consiste en la colocación de señales o marcas en los pies a cortar. El número de unidades de la cosa cierta es el número de pies señalados.

- Marcando la superficie que abarcan los árboles a cortar, es decir, marcando la superficie de corta. A esta operación la denominamos demarcación e implica el marcado del perímetro de la superficie de corta con hitos, mojones, estacas o cintas. En este caso, el número de unidades de la cosa cierta son las hectáreas que abarca la superficie de corta. Todos los árboles que están dentro de esta superficie serán objeto de la corta. La elección de esta forma de identificación es propia de las cortas a hecho en montes altos o de las cortas a matarrasa en los montes bajos. Es frecuente, también, en las cortas derivadas de unos tratamientos de mejora, como puedan ser las claras por lo bajo, en donde se demarca la superficie de corta señalando los pies que no son objeto de la misma o indicando un criterio de corta, por ejemplo, se cortarán de cada tres árboles el de menor diámetro. En este caso, se recurre a este tipo de identificación de la cosa cierta por ser una operación menos costosa que el señalamiento.

Se elija uno u otro tipo de identificación, lo que siempre debe quedar claro, y no debe ser objeto de duda, son los árboles que deben ser cortados.

En el caso de productos no madereros, la cosa cierta es la superficie en los aprovechamientos de pastos, cultivos, corcho (cuando se descorchan todos los pies de la misma) o en el de leñas cuando estas proceden de cortas a hecho. En estos casos, la identificación de la cosa cierta se realiza mediante la demarcación de la superficie.

Habida cuenta de que el precio de los diferentes productos forestales se expresa en unidades comerciales, es decir, no se expresa por unidad de árbol en el caso de los aprovechamientos madereros, la cosa cierta deberá ser expresada en estas unidades (tabla 3.1). Hay que tener presente que, cuando se vende la madera en pie, la expresión de la cosa cierta en unidades comerciales se realiza mediante una estimación.

Tabla 3.1. Unidades tradicionalmente utilizadas en la elaboración de los planes anuales de aprovechamiento de los montes gestionados por la administración forestal según el producto objeto del disfrute.

Producto forestal	Unidad comercial
Madera	Metro cúbico (m^3) con corteza o sin corteza, tonelada (t) con corteza o sin corteza, estéreo
Leñas	Tonelada (t), estéreo
Astilla	Tonelada (t), kilogramo (kg), estéreo
Pastos	Hectárea (ha), unidades ganaderas mayores (UGM), cabezas reducidas a lanares (CRL)
Caza	Hectárea (ha)
Cultivos	Hectárea (ha)
Corcho	Quintal métrico (qm), kilogramo (kg)
Resinas	Quintal métrico (qm), kilogramo (kg)
Frutos	Hectolitro (hl), kilogramo (kg)
Setas	Kilogramo (kg), hectárea (ha)
Miel	Número de colmenas

En el caso de los aprovechamientos madereros, en la elección de la unidad comercial en la que se expresa la cosa cierta pueden influir varios factores: 1) Modalidad de comercialización del aprovechamiento y 2) Forma de liquidación del aprovechamiento.

1. Modalidad de comercialización del aprovechamiento. Influye en función de la facilidad de estimación de las unidades comerciales.

- Venta de la madera en pie. La expresión de la unidad comercial de la cosa cierta suele ser el volumen o el peso.

- Venta de la madera puesta en cargadero. La expresión de la unidad comercial de la cosa cierta suele ser el volumen o los estéreos (el concepto estéreo se desarrolla en el apartado 2).

- Venta de la madera puesta en fábrica o industria. La expresión de la unidad comercial de la cosa cierta suele ser el volumen o el peso.

2. Forma de liquidación del aprovechamiento, o lo que es lo mismo, en función de la exigencia o no de un control final de las unidades comerciales aprovechadas.

- Riesgo y ventura (también denominada a *suerte*). Este término deriva de una forma tradicional de la contratación administrativa que implica que el adjudicatario debe hacer frente por su cuenta a todos los imprevistos que surjan en la ejecución del contrato. En el ámbito del aprovechamiento forestal implica que, entre las incertidumbres, figura el número final de las unidades comerciales. Es decir, el adjudicatario paga un importe por unas unidades comerciales estimadas, que podrán ser más o menos. Al no haber un control final de las unidades, esta forma de liquidación no condiciona el tipo de unidad a elegir en el momento de la enajenación.

- Liquidación final (también denominada a *resultas*). El valor inicial de la enajenación tiene un carácter de provisional, ya que el valor final está a expensas del número final de unidades del aprovechamiento. La valoración se va realizando a medida que los productos se extraen del monte hacia la industria. La elección de la unidad comercial puede estar influida por el tipo de control de las unidades extraídas. La forma más común de controlar el aprovechamiento es mediante el pesaje del camión que transporta la madera a la industria. Esto implica que la unidad más cómoda sea el peso. Cuando se haya enajenado por volumen es necesario realizar la conversión correspondiente a través de la densidad. En el caso de que el aprovechamiento realizado tenga como destino la industria de trituración es frecuente usar como unidad comercial el estéreo. En este caso, la liquidación final se realiza mediante la cubicación de las pilas o cambras de madera en el cargadero.

En ocasiones, el tipo de unidad comercial establecido en un aprovechamiento puede variar en el proceso de compraventa entre el vendedor inicial (el propietario del monte) y el comprador final (la industria). Esto hace necesario conocer las conversiones entre unas y otras unidades. La razón de esta disparidad suele residir en la mayor facilidad o dificultad de realizar la estimación de la cuantía del aprovechamiento y su control, tanto por parte del comprador como del vendedor. Como consecuencia, tiene una gran importancia la determinación precisa de los factores de conversión entre las diferentes unidades comerciales por los efectos que tienen en el valor final del aprovechamiento. Los factores más utilizados para la realización de estas conversiones son: el porcentaje de corteza, el peso específico de la madera (vulgarmente denominado densidad) y el coeficiente de apilamiento.

2. Unidades de medida de los productos madereros

En los productos madereros se han utilizado tradicionalmente dos unidades comerciales:

1. Volumen. Se puede distinguir entre:

   - Volumen real. Su unidad es el metro cubico (m^3). Puede referirse a madera con corteza (m^3 c.c.) o sin corteza (m^3 s.c.).

   - Estéreo. Hace referencia al volumen envolvente de una pila de madera. En concreto, un estéreo corresponde a un metro cúbico de una pila, compuesto por una parte de madera y una parte de aire debida a los huecos que hay entre las trozas. La madera apilada puede ubicarse en el cargadero, en la caja de un camión o en el parque exterior de la industria.

2. Peso. La unidad es la tonelada (t) y puede referirse a madera con corteza (t c.c.) o sin corteza (t s.c.).

2.1. Volumen

2.1.1. Volumen real

Cuando la enajenación o venta del producto se realiza de árboles en pie, la unidad más utilizada suele ser el metro cúbico con corteza. Se justifica porque en el señalamiento se han estimado los volúmenes de los árboles objeto del mismo a partir de fórmulas o tablas de cubicación, basadas en la medición de los diámetros y las alturas. Cuando se pretende realizar la cubicación con clasificación de productos, la estimación se realiza con ecuaciones de perfil.

En el caso de liquidación final, la comprobación del volumen aprovechado puede hacerse, igualmente, mediante cubicación de los árboles individualmente. En este caso, se mide el volumen de todas las trozas obtenidas en el aprovechamiento. Este proceso, en caso de realizarse, se lleva a cabo en el cargadero. La cubicación de trozas, más o menos cilíndricas, suele realizarse mediante la Fórmula de Huber, recogida a continuación:

$$V = 10^{-4} \frac{\pi}{4} d^2 l$$

En donde V es el volumen de la troza en m^3, l es la longitud de la troza en metros y d es el diámetro medido a la mitad de la longitud en cm.

En el caso de trozas de conicidad importante se aplica la fórmula de Smalian, en donde se miden los diámetros en los extremos de cada troza (D y d, expresados en cm) como se expresa a continuación:

$$V = 10^{-4} \frac{\pi}{8} (d^2 + D^2) l$$

Según la norma UNE 1309-02 (AENOR 2007), π debe expresarse con 4 decimales (3,1416).

En el País Vasco, el resultado de la cubicación mediante la aplicación de la fórmula de Huber o Smalian se expresa como metros cúbicos a la real, para diferenciarlos de otra forma de cubicación que se expresa como metros cúbicos a la cuarta (Anónimo 1988; Anónimo 1996).

Cubicación a la cuarta

Forma de cubicación muy corriente en el País Vasco entre propietarios y administración forestal por la que el árbol se cubicaba por aproximación a una prisma cuadrangular de lado la cuarta parte del perímetro de su circunferencia a 1,3 m del suelo. Esta forma de cubicación tenía por objeto descontar el volumen no aprovechable como consecuencia de la corteza y los costeros y presentaba variantes según las provincias. Así, mientras que en Guipúzcoa la cubicación se ajustaba a lo descrito anteriormente, en Vizcaya el perímetro del árbol era la media aritmética entre el medido a 1,30 m y el correspondiente al diámetro en punta delgada (20 cm). El perímetro que corresponde a la punta delgada, 62,83 cm, se redondea a 60 cm, por lo que perímetro medio resultante será la media aritmética entre 60 cm y el perímetro de la sección a 1,30 m del suelo.

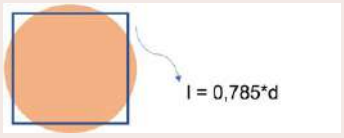
La relación en entre el volumen a la real y a la cuarta se puede deducir de la siguiente manera:

$V_{real} = \frac{\pi}{4} d^2 h$

para un árbol de altura h y diámetro d.

Para el cálculo del volumen a la cuarta imponemos la condición de que el perímetro del árbol debe ser igual al del cuadrado, es decir:

$Perímetro_{árbol} = Perímetro_{cuadrado}$; $2 \pi r = 4 l$; $l = \pi \frac{d}{4}$



$V_{cuarta} = (\pi \frac{d}{4})^2 h$

La relación entre ambos volúmenes será, por tanto:

$\frac{V_{real}}{V_{cuarta}} = \frac{4}{\pi} = 1{,}273$

Luego 1 m^3 a la cuarta equivale a 1,273 m^3 a la real y un 1 m^3 a la real equivale a 0,785 m^3 a la cuarta.

2.1.2. Estéreo

El estéreo representa la cantidad de madera apilada que hay en un metro cúbico. Representa un volumen aparente al comprender no solo el de la madera o leñas en él ubicadas sino el de los huecos existentes entre las piezas. La relación con el volumen real se expresa a través del coeficiente o factor de apilamiento (Ca), también llamado coeficiente del estéreo. El estéreo se utiliza normalmente como unidad comercial cuando se estima la cantidad de madera contenida en una pila en el cargadero o en la caja de un camión.

1. Cubicación en cargadero. Para la cubicación de una pila en cargadero, en lugar de estimar el volumen de un prisma de sección trapezoidal, que es el volumen al que más se aproxima, se realiza una transformación para convertir el prisma en una paralelepípedo y, así, facilitar su cubicación. Esta transformación consiste en la compensación de los dos triángulos rectángulos laterales por dos rectángulos de la misma altura pero cuya base es la mitad de la de los triángulos (figura 3.1).

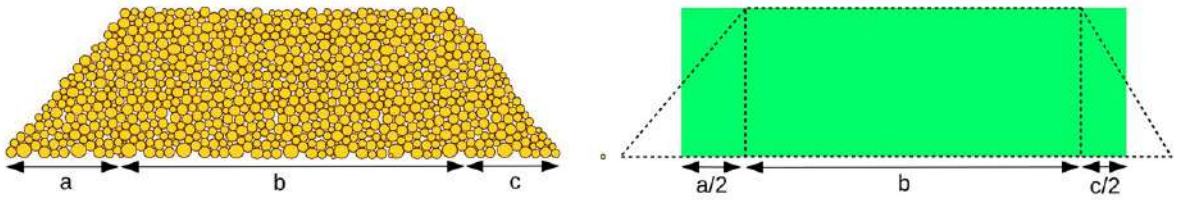


Figura 3.1. Esquema de cubicación de una pila de madera. La superficie transversal de la pila de la izquierda equivale a la superficie rectangular en verde de la figura de la derecha (Fuente: A Villasante).

Para cubicar el paralelepípedo resultante tan sólo habrá que medir la altura y la longitud de la base de la pila (figura 3.2):

- Altura. Será la media de las diferentes alturas medidas de la pila (solo en la zona rectangular, no en los triángulos rectángulos de los laterales). En pilas de más de 100 m de longitud se toma una medida cada 20 m. Debido a la escasa rigidez de las cintas de los flexómetros, es recomendable el uso de pértigas graduadas.

- Longitud de la base de la pila. Se estima como la suma de la mitad de la base de los dos triángulos rectángulos laterales más la longitud de la parte rectangular de la pila.

La cubicación de la pila de la figura 3.1. será, por tanto:

$$V = \frac{(h_1+h_2+\cdots+h_n)}{n}\ l\ (\frac{a}{2}+b+\frac{c}{2})$$

Siendo, V (estéreos) el volumen de la pila y l (m) la longitud de las trozas. Los valores a, b y c (m) corresponden a los representados en la figura 3.1.

Figura 3.2. Medidas a tomar para la cubicación de una pila de madera. Longitud de la pila (izquierda) y altura (derecha) (Fotos: J. Pemán).

Cubicación de una pila de madera en cargadero

2. Cubicación de un camión. Se realiza a través del cálculo de los estéreos que ocupa la madera en la caja del camión. El volumen máximo de la pila se corresponde, en este caso, con el de la caja del camión, cuyas dimensiones según el tipo de semirremolque o remolque están reguladas en España por el Reglamento General de Vehículos (RD. 2822/98). Para la medida de la altura de la carga de madera en el camión se tomará el valor medio de las diversas mediciones H_i (m) que se hayan hecho de la misma a lo largo de la caja (figura 3.3, donde se pueden observar los otros parámetros de la ecuación).

$$V = \Sigma \left(A_i \, L_i \, \frac{(H_{i1} + H_{i2} + \cdots + H_{in})}{n} \right)$$

Figura 3.3. Transporte de madera en rollo en tren de carretera con disposición de las trozas en su caja de forma transversal (Foto: J. Pemán).

Para el cálculo del volumen real habrá que multiplicar el número de estéreos por el coeficiente de apilamiento.

Ejercicios

1. **Según las dimensiones máximas de longitud de los vehículos recogidas en el RGV (RD.2822/1998), se desea calcular el volumen de la caja que pueden transportar las distintas configuraciones de transporte por carretera en España: i) Remolque, ii) Camión rígido, iii) Vehículo articulado con semiremolque y iv) Tren de carretera. El cálculo de este ejemplo se realizará para una anchura útil de 2,45 m y una altura de caja útil de 2,7 m. En el camión rígido se considerará una longitud máxima de la caja de 10 m.**

   Solución: i) 79,38 m^3, ii) 66,15 m^3, iii) 92,87 m^3, iv) 103,52 m^3

2. **¿Cuál sería la forma de cubicación de este semiremolque donde se combina la carga de trozas transversales con la carga de trozas longitudinales? Suponga una longitud de troza (l_t), una longitud de la caja del camión cargada transversalmente (L_t) y las alturas de la carga longitudinal (h_{ij}) siendo i la pila, en este caso 2, y j el número de medidas de la altura de cada pila. Las alturas de la pila cargada transversalmente sería (H_{ti}), siendo i el número de mediciones de la pila transversal.**

Como unidad de comercialización para la astilla se utiliza el término de volumen aparente, para distinguirlo del estéreo que se utiliza para leñas y madera en rollo. Cuando el proceso de astillado se realiza en el monte o en el cargadero también suele utilizarse la tonelada. Los factores de conversión utilizados para pasar de m^3 de madera en rollo a metros cúbicos aparentes de astilla dependen del tamaño de la astilla, de la especie, del contenido de humedad, etc. Normalmente se utilizan índices volumétricos que expresan la relación entre el volumen de la madera en rollo y el volumen aparente de astilla.

2.2. Peso

La elección del peso como unidad comercial tiene la indudable ventaja de la facilidad de su estimación. Sin embargo, presenta el inconveniente de que un mismo volumen de madera pesa diferente en función de su contenido en humedad. La cantidad de agua contenida en la madera

depende de cuanto tiempo haya transcurrido desde el momento de la corta, de la especie, de su edad, de la parte concreta del árbol y de las características de la estación. Así, cuando el árbol se acaba de cortar, se habla de madera en verde y a su peso, peso en verde. Cuando el árbol ha sufrido un proceso de secado y la madera alcanza un contenido de humedad del 12%, se denomina peso normal. Nos referimos a madera anhidra cuando el contenido de humedad es del 0% (se consigue de forma artificial en los laboratorios utilizando estufas). También se utiliza la denominación madera seca para aquella que ha perdido humedad hasta alcanzar un peso relativamente estable. La elección del peso como unidad comercial tiene como ventaja su facilidad de control, que se realiza mediante la pesada del camión (figura 3.4).

Figura 3.4. Comprobante del peso de un camión en el que se indica los datos del proveedor, la matrícula del camión, el conductor, el día y la hora, el peso bruto, la tara del camión y el peso neto (izquierda) y pesada de un camión en la báscula a la entrada de una industria (derecha) (Fotos: J. Pemán).

2.2.1. Humedad de la madera

El agua en la madera puede presentarse de varias formas:

- Agua libre. Ocupa el interior del lumen celular. La pérdida del agua libre no produce cambios dimensionales en la madera. Cuando la madera ha perdido todo este agua alcanza el llamado punto de saturación de las fibras (PSF). En España, se acepta que el PSF es del 30% para todas las especies y equivale al contenido de humedad de la madera cuando se encuentra en un ambiente saturado (la humedad relativa del aire es del 100%).

- Agua higroscópica. Se encuentra en el interior de la pared celular. El agua higroscópica es la que se pierde cuando la humedad de la madera es menor que el PSF. Si el secado se produce en condiciones ambientales estables, la pérdida de humedad se va ralentizando hasta que finalmente se alcanza el equilibrio higroscópico entre la madera y el medio ambiente que le rodea. Este estado, denominado humedad de equilibrio higroscópico, depende fundamentalmente de la humedad relativa del aire y de la temperatura. En España, los valores de humedad de equilibrio higroscópico oscilan entre el 7 y 20%, según las localizaciones geográficas. Cuando el contenido de agua en la madera se encuentra por debajo del PSF se

producen cambios dimensionales y, por tanto, alteraciones del volumen, circunstancia que no ocurre cuando se encuentra por encima del PSF.

Cuando se utiliza el peso como unidad comercial siempre hay que indicar el contenido de humedad de la madera al que corresponde dicho peso. Según la norma EN 844-4 (AENOR 1997) el contenido de humedad de la madera (h) es el peso del agua contenida en la madera (calculado por la diferencia entre el peso húmedo y el peso anhidro, P_h-P_0), expresada en porcentaje respecto de su peso anhidro (P_o). Su valor, habitualmente en tanto por ciento, viene expresado por la siguiente relación:

$$h\ (\%) = \frac{(P_h - P_0)}{P_0}\ 100$$

A este valor de la humedad es frecuente referirse como humedad en seco o en base seca (h) y es el tipo de humedad que se utiliza en industrias de aserrado y de chapa, en estructuras de madera, en ataques de hongos e insectos, etc. La relación entre el peso húmedo y seco viene dada por la siguiente expresión:

$$P_h = P_0\ (1 + \frac{h}{100})$$

El peso anhidro de una madera se obtiene secando una muestra en estufa a 103±2 °C hasta que su peso se mantiene constante.

En el caso de biocombustibles sólidos, la estimación del contenido de humedad está regulada por las normas EN ISO 18134-1,2 y 3 (AENOR 2016a; AENOR 2016b; AENOR 2017) en las que se establece una temperatura de secado en estufa ligeramente mayor (105 °C). En el sector de la bioenergía es frecuente utilizar el contenido de humedad de la astilla respecto al peso fresco o en verde, al que se hace referencia como humedad en base húmeda (h_{bh}):

$$h_{bh}\ (\%) = (\frac{P_h - P_0}{P_h})\ 100$$

Ejercicio

3. **Según las expresiones anteriores de la humedad en base seca y húmeda, se desea obtener: i) la ecuación que relacione hbh en función de h y viceversa y ii) el contenido de humedad en base seca a partir de los valores de la humedad en base húmeda de la tabla siguiente:**

t

h_{bh} (%)	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
h (%)										

Solución: i) $h = \frac{100\ h_{bh}}{100 - h_{bh}}$ y $h_{bh} = \frac{100\ h}{100 + h}$ ii) 5,3;11,1;17,6;25;33,3;42,9;53,8;66,7;81,8;100

La relación entre el volumen en verde (V_v, con humedad por encima de PSF) y el volumen anhidro (V_0 en estado anhidro) se puede obtener mediante la contracción volumétrica total (C_{VT} en %, tabla 3.2) utilizando la siguiente ecuación:

$$V_v = V_0 \left(1 + \frac{C_{VT}}{100} \right)$$

Por otra parte, la relación entre el volumen anhidro y el volumen a humedad *h* (V*h*, con humedad dentro del intervalo 0% - 25%) se puede estimar utilizando el coeficiente de contracción volumétrica (C_{CV} en %, tabla 3.2) a partir de la siguiente ecuación:

$$V_h = V_0 \left(1 + \frac{C_{cv}}{100} \right)$$

Tabla 3.2. Valores de contracción e hinchazón de diferentes especies forestales

Especies	Contracción volumétrica total (C_{VT} en %) (Guindeo et al. 1997)	Coeficiente de contracción volumétrica (C_{CV} en %) (Vignote y Jiménez 1996)
CONÍFERAS		
Abies alba	12 - 15	-
Pinus halepensis	12,5 - 15	-
Pinus nigra	11,8	0,39
Pinus pinaster	14,5	0,45
Pinus radiata	14,5	0,48
Pinus sylvestris	12 - 15	0,38
Pseudotsuga menziesii	11 – 12,5	0,36
FRONDOSAS		
Castanea sativa	8,2 – 11,9	0,43
Fagus sylvatica	18,6 – 24,6	0,50
Populus spp.	12 – 14,3	0,49
Quercus spp. (robles)	11,9 – 14,5	0,47

El contenido de humedad de la madera recién cortada puede ser del 100 al 200% en el caso de *Populus*, entre el 90 y 120% en las coníferas y del 70 al 90% en el resto de las frondosas. Desde el momento en que el árbol es apeado comienza a perder humedad. Esta velocidad de secado, a igualdad de especie y condiciones de estación, depende del diámetro de la troza, de si el árbol se ha desramado o no (con ramas mayor velocidad de secado), de si se ha descortezado o no (sin corteza mayor velocidad), del momento de corta (en primavera se produce mayor velocidad) y de si se ha tronzado o no (mayor velocidad en las trozas cortas, por ser más rápido el movimiento del agua en dirección de la fibra que en perpendicular) (Álvarez 1984, Defo y Brunette 2006, Klepac et al. 2008, Saralecos et al. 2014) (tabla 3.3) (figura 3.5).

Figura 3.5. Diámetro, pérdida de corteza y longitud de la troza son factores que influyen, entre otros, en la pérdida de humedad (Foto: J. Pemán).

Tabla 3.3. Pérdida de humedad a las dos semanas de cortada la madera. Su humedad inicial estimada era del 90%.

Pérdida de humedad (%)	Características	Referencia
< 5	Trozas de conífera con corteza apiladas en Irlanda	(Kofman y Kent, 2009)
< 5	Pinos y abedules con corteza, sin desramar, apilados en Rusia	(Anisimov et al. 2017)
< 5	*Pinus sylvestris*, postes descortezados en Escandinavia	(Salin y Gjerdrum, 2009)
37	Con corteza a la sombra	(Valladares 1975)
49	Sin corteza al sol	
25	*Pinus taeda* sin desramar colgados en caballetes en verano, en Alabama	(Keplac et al 2008)
32	*Pseudotsuga menziesii* desramado o sin desramar, sin apilar, de clase diamétrica 44 cm, en Idaho en verano	(Saralecos et al 2014)
41	*Pseudotsuga menziesii* desramado o sin desramar, sin apilar, de clase diamétrica 32 cm, en Idaho en verano	
47	*Pseudotsuga menziesii* desramado o sin desramar, sin apilar, de clase diamétrica 19 cm, en Idaho en verano	

Ejercicios

4. La Generalitat de Catalunya en sus Pliegos de Condiciones Técnicas Particulares para las subastas del año 2016 indicaba: "En el cas que la fusta tallada romangui al bosc per un període superior als 15 dies, al pes d'aquesta fusta s'aplicarà el coeficiente de 1,3 com a penalització i per compensar la pèrdua de pes per assecament".

("En el caso de que la madera cortada permanezca en el bosque un periodo de tiempo superior a 15 días, al peso de esta madera se le aplicará el coeficiente de 1,3 como penalización para compensar la pérdida de peso por secado").

Si la madera recién cortada tiene una humedad del 90%, i) ¿Qué humedad tendría que perder para que el coeficiente de penalización se ajustase a la realidad?, ii) ¿Es posible en un plazo de 15 días?

Solución: i) $h_{15\ días}=(h_{cortada}-30)/1,3$; 44%; ii) Comparando con los valores de la tabla 3.2: es posible, pero solo ocurrirá en condiciones extremas (madera descortezada de pequeño diámetro, al sol, sin apilar, en verano, etc.)

5. El Gobierno de Aragón en algunos de los Pliegos de Prescripciones Técnicas que ha redactado ha impuesto las siguientes compensaciones en peso por el retraso en la extracción de la madera del monte: Por superar los 20 días establecidos para la extracción de la madera desde su apeo y como compensación por la pérdida de peso de la misma por secado, se aplicará una penalización del 12% en peso si la madera ha tardado en extraerse de 1 a 2 meses; un 17% si ha tardado de 2 a 3 meses; un 23% si ha tardado de 3 a 4 meses; y un 25% si tarda más de 4 meses. Conteste las preguntas realizadas en el ejercicio anterior para cada caso.

Solución: i) $h_{1\text{-}2\ meses}=(h_{cortada}-12)/1,12$; 20%; si, ii) $h_{2\text{-}3\ meses}=(h_{cortada}-17)/1,17$; 28%; si, iii) $h_{3\text{-}4\ meses}=(h_{cortada}-23)/1,23$; 36%; si, iv) $h_{>4\ meses}=(h_{cortada}-25)/1,25$; 38%; si.

Controlar el volumen aprovechado mediante el peso de los camiones que realizan el transporte suele ser uno de los métodos más utilizados por la facilidad de su realización. Para el control de madera por peso la forma de proceder será pesar el camión con la carga en una báscula y descontar del mismo la tara del camión. Ese valor expresará el peso de la madera. El Reglamento General de Vehículos regula en España el peso máximo autorizado (P.M.A.), según el tipo de camión (tabla 3.4).

Tabla 3.4. Peso máximo autorizado para los camiones en el transporte de mercancías por carretera en España según el Reglamento General de Vehículos (RD 2822/98) ([1]: eje motor equipado con neumáticos dobles, suspensión neumática o eje motor con neumáticos dobles y masa máxima de cada eje < 9,5 t; [2:] Vehículo motor 2 ejes con ruedas gemelas en el eje motor, suspensión neumática y semirremolque con distancia entre ejes superior a 1,8 m, y se respeten la masa máxima autorizada del vehículo motor; [3]: Vehículo motor de 3 ejes con semirremolque de 2 ó 3 ejes llevando, en transporte combinado, un contenedor o caja móvil cerrados, igual o superior a 20 pies y homologado para el transporte combinado).

	Masa máxima autorizada (t)	Masa máxima del conjunto (t)
Vehículo a motor 2 ejes	18	
Vehículo a motor 3 ejes	25	
Vehículo a motor 3 ejes[1]	26	
Vehículo a motor 4 ejes	32	
Vehículo articulado 4 ejes		36
Vehículo articulado 4 ejes[2]		38
Vehículos articulados de 5 o más ejes		40
Vehículos articulados de 5 o más ejes [3]		44
Trenes de carretera 4 ejes		36
Trenes de carretera 5 o más ejes		40
Configuración euromodular		60

3. Conversión entre las unidades de medida de la madera en rollo y la astilla

La utilización de distintas unidades de medida en la comercialización de los aprovechamientos forestales exige la necesidad de poderlas convertir entre ellas (figura 3.6). De la bondad del factor de conversión utilizado, en cuanto a su ajuste a la realidad, depende que una de las partes del proceso de compraventa salga beneficiada en detrimento de la otra.

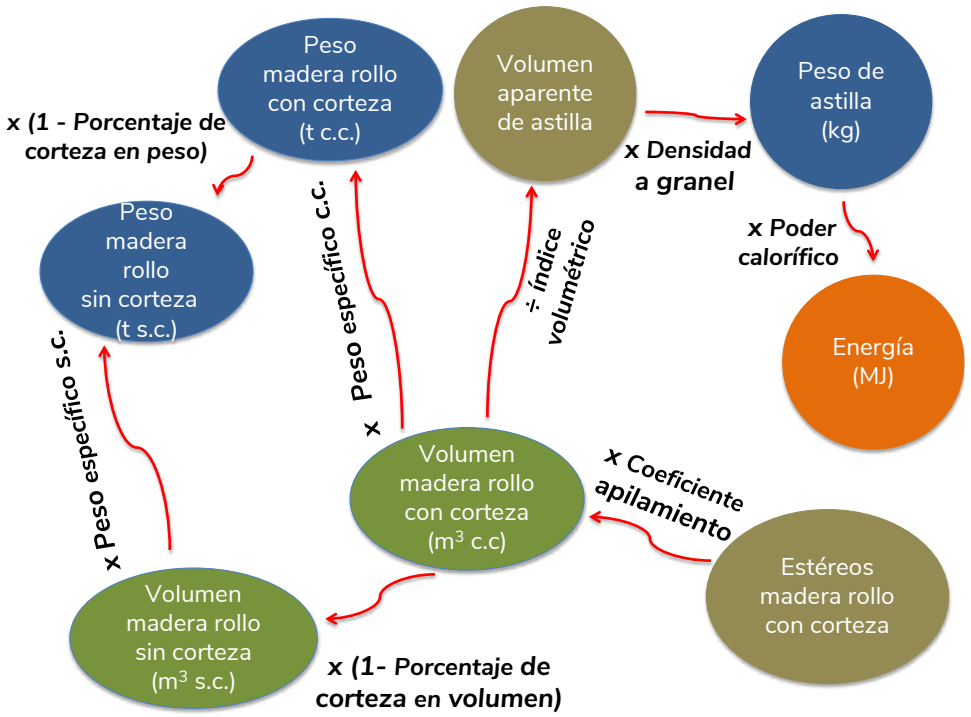


Figura 3.6. Unidades de medida utilizadas en la comercialización de productos madereros y sus factores de conversión.

3.1. Peso específico o densidad de la madera

El factor clave para convertir el peso de la madera en volumen es el peso específico. Vulgarmente en los productos madereros se le denomina *densidad*, aunque en sentido estricto sean conceptos diferentes. El peso específico es el peso por unidad de volumen y la densidad es la masa por unidad de volumen. Debido a la variación del contenido en humedad, se puede hablar de peso específico normal (PE_{12}), cuando nos referimos al peso específico de la madera en condiciones normales de humedad (esta humedad normalizada corresponde al 12%), y de peso específico en verde o húmedo (PE_h), cuando nos referimos a la madera en verde o húmeda (tabla 3.5). El peso específico anhidro (PE_0) se corresponde con el de la madera anhidra (0% de humedad). La relación entre el peso específico húmedo y el anhidro, para valores de humedad comprendidos entre 0 y el 25%, puede establecerse a partir del Coeficiente de contracción volumétrica (C_{CV} en %). La ecuación correspondiente, para una humedad h(%), es la siguiente:

$$PE_h = PE_0 \left(\frac{1+\frac{h}{100}}{1+C_{cv}\frac{h}{100}} \right)$$

El coeficiente de contracción volumétrica está determinado para numerosas especies forestales (tabla 3.2).

Debido a la generalización del uso del término densidad en lugar del de peso específico en el ámbito de la industria, se usará el término densidad en todo el texto a partir de este punto. Para poder convertir el peso en volumen habrá que estimar la densidad de la madera para ese contenido de humedad. Para la estimación del volumen de madera en el ámbito de la industria se utiliza el densímetro. Este dispositivo se basa en el principio de Arquímedes, estimando el volumen de un cuerpo a través de la diferencia de pesos obtenidos cuando el cuerpo está completamente sumergido en agua y cuando está completamente fuera de ella.

Densímetro

Tal y como indica el Principio de Arquímedes, un peso sumergido en un fluido experimenta un empuje vertical ($E_{sólido}$) igual al peso del volumen del fluido que desaloja ($V_{sólido}$). Los densímetros calculan el volumen de la madera mediante la diferencia entre el peso de la madera en el exterior (P_{aire}) y el peso de la madera completamente sumergida en agua ($P_{sumergida}$). La diferencia de pesos (P_{aire} - $P_{sumergida}$) representa el empuje ($E_{sólido}$) que es el peso del volumen del cuerpo sumergido. Si el fluido es agua, su densidad de 1 kg dm^{-3}, lo que permite transformar directamente cada kg de empuje en dm^3 de volumen. Como consecuencia, la densidad se puede calcular mediante la expresión:

$$\text{Densidad} = \frac{P_{aire}}{P_{aire} - P_{sumergida}}$$

Dado que la mayoría de las maderas flotan en agua, se debe añadir una sujeción, generalmente de acero, que actúe de lastre y obligue a que la madera quede totalmente sumergida. El efecto de esta sujeción también debe tenerse en cuenta en las medidas de peso y empuje (figura 3.7).

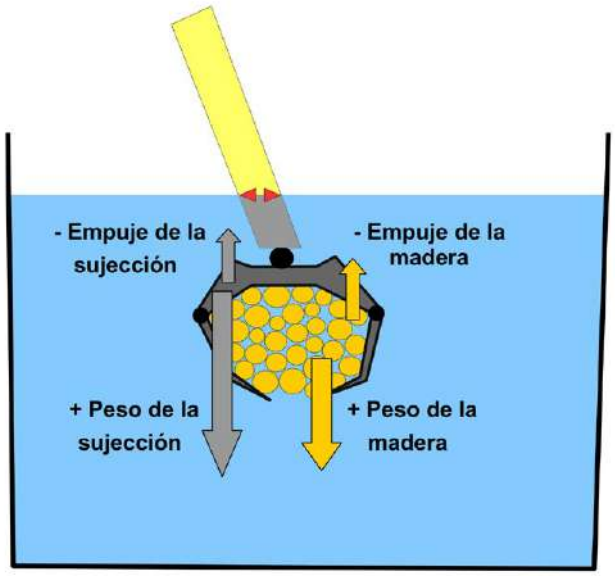


Figura 3.7. Esquema de pesos y empujes de unas trozas de madera introducidas en un depósito de agua para el cálculo de su densidad (Fuente: A. Villasante).

Cálculo de la densidad de la madera en fábrica mediante densímetro

El cálculo del volumen de madera que entra en una fábrica puede realizarse en varias etapas: i) Pesada del camión a la llegada a la fábrica, ii) Sorteo de la muestra de madera a la que se va a determinar la densidad. Teniendo en cuenta que en el proceso de descarga del camión en el parque de la industria se realiza en varias descargas con la pinza de sujeción, el sorteo puede consistir en elegir aleatoriamente un ciclo de descarga, tomando para el cálculo de la densidad las trozas comprendidas en el mismo, iii) Determinación de la densidad en el densímetro, iv) Determinación del volumen. Para la determinación de la densidad se puede diseñar una instalación que disponga de una plataforma con unas células de carga y de un depósito de agua donde se puedan ir introduciendo las trozas de madera. Sobre la plataforma se dispondrá la máquina encargada de las operaciones de manipulación de la carga (figura 3.8).

Figura 3.8. Elementos de una instalación para la estimación de la densidad de la madera (Foto: J. Pemán).

Previamente a la determinación de la densidad se debe proceder al tarado de la máquina, pesando la pinza vacía al aire (figura 3.9A) y sumergida en el depósito del agua hasta una marca establecida en la pinza (figura 3.9B). Posteriormente se extraen las trozas de la caja del camión y se pesan en el exterior (pesada al aire) (figura 3.9C) y luego se introducen en el depósito de agua (pesada sumergida) hasta la marca establecida en la pinza (figura 3.9D).

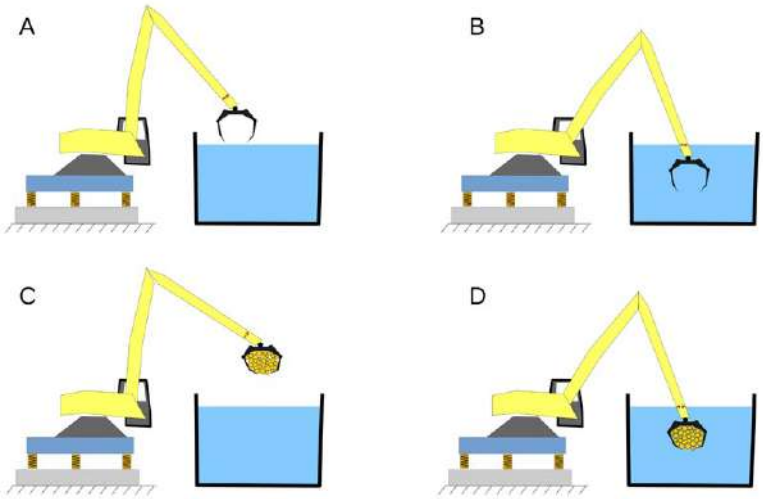


Figura 3.9. Esquema del proceso de determinación de la densidad de unas trozas de madera

Cálculo de la densidad de la madera en rollo a la entrada de la industria

Manual del maderero

Pla E (1882) Manual del maderero. Biblioteca Enciclopédica Popular Ilustrada, Madrid

La cubicación de un tronco por las fórmulas de un cono, tronco de cono o cilindro, da un volumen aproximado al real de la madera; para obtenerlo con más exactitud se puede seguir el procedimiento indicado de fraccionar la madera en trozos y calcular con la mayor exactitud los volúmenes de las diversas porciones, cuya suma será la del volumen total del tronco. Más expedito es el sistema hidrostático, por cuyo medio se averigua el volumen de una gran masa leñosa; se pesa la madera al aire y luego se sumerge en un estanque lleno de agua, pesándola de nuevo en esta situación, y la diferencia entre los dos pesos obtenidos es el peso de un volumen de agua igual al volumen de la madera, que en el sistema métrico cada kilogramo de peso representa el volumen de un decímetro cúbico; de modo que si la diferencia entre los pesos obtenidos era de 1 420 kilogramos, el volumen de la madera corresponde a 1,420 decímetros cúbicos, o bien, 1 metro cúbico 420 decímetros cúbicos. Si se emplea un estanque de capacidad conocida y graduado en sus paredes a diversos niveles, se puede simplificar la operación; se llena de agua, y luego se introduce la madera que se quiere cubicar, la cual naturalmente hace salir un volumen de agua igual al de la madera, que después de extraída deja el estanque con el agua a un nivel inferior al que tenía antes de la inmersión; se calcula el volumen de agua que desalojo la madera, y éste es el correspondiente a los productos leñosos que se desea averiguar. Este procedimiento puede servir para determinar factores de conversión, para tener aproximadamente el volumen real de las maderas, ó de una unidad de leñas, por ejemplo, de un estério ó de una fagina...

Tabla 3.5. Densidad normal y en verde de diferentes especies forestales.

Especies	Peso específico en verde (kg m^{-3}) (Mundet y Capó 2012)	Peso específico normal (12 % humedad) (kg m^{-3}) (Guindeo et al. 1997)
CONÍFERAS		
Abies alba	900	440-460-480
Pinus halepensis	1 000-1 200	450-550
Pinus nigra	950-1 100	510-580-650
Pinus pinaster	-	530-540-550
Pinus radiata	950-980	500
Pinus sylvestris	800-950	500-520-540
Pseudotsuga menziesii	850-900	510-530-550
FRONDOSAS		
Castanea sativa	900	540-590-650
Eucalyptus globulus	-	740-830
Fagus sylvatica	1 000-1 200	690-710-750
Populus spp.	700-900	420-440-480
Quercus spp. (robles)	-	670-710-760

Ejercicio

6. **Una empresa desea estimar el volumen de madera que transporta un camión cuyo peso bruto en báscula ha sido de 43 927 kg. Su tara es de 15 062 kg. Para determinar su densidad en el densímetro se ha extraído una muestra de madera de la caja del camión mediante la pinza de una retroexcavadora. El peso al aire de la máquina con la muestra de madera en la pinza fue de 14 603 kg. Introducida la muestra de madera en el densímetro, hasta el nivel prefijado en su brazo registró un peso de 13 211 kg. La máquina sin muestra pesa 13 817 kg y cuando se introduce su brazo sin muestra en el densímetro hasta el mismo nivel prefijado su peso es de 13 456 kg.**

Solución: densidad 0,762 t m^{-3}; volumen 37,86 m^3

En el caso de la astilla se habla de densidad a granel para expresar la relación entre el peso y el volumen aparente o a granel (sólido más aire) de la misma. El volumen aparente de la astilla es un concepto equivalente al estéreo de la madera en rollo (figura 3.10) y hace referencia al volumen envolvente de un acopio de astilla. Es importante destacar que los valores de la densidad aparente o a granel de las astillas no son aplicables a la madera en rollo, porque el tipo de compactación es diferente. La norma EN ISO 17225-4 establece rangos de densidades a granel en función del tipo de especie y el contenido de humedad (AENOR 2019) (tabla 3.6).

Tabla 3. 6. Rangos de densidades a granel (kg m^{-3}) según especie y contenido de humedad de acuerdo con la norma europea EN ISO 17225-4 (AENOR 2019).

Contenido humedad (%)	8 a 18	18 a 25	25 a 35	35 a 45
Coníferas	160 a 180	180 a 200	200 a 225	225 a 270
Frondosas	225 a 250	250 a 280	280 a 320	320 a 380

Figura 3.10. Astilla a granel, o suelta, producto del astillado en cargadero (Foto: J. Pemán).

El cálculo de la densidad a granel en un camión, un almacén o un muelle portuario se puede realizar de forma sencilla mediante la extracción de una serie de muestras representativas de

la astilla en la zona donde se ha realizado el acopio (figura 3.11). Las distintas fases que comprende el proceso, como la realización del muestreo, la preparación de la muestra y el pesaje y cubicación de la misma están regulados por sus respectivas normas ISO (AENOR 2016c; AENOR 2018a; AENOR 2018b). El proceso de obtención de la densidad se desarrolla en las siguientes etapas:

- Elección de un recipiente cilíndrico de tamaño normalizado. Deberá ser resistente a los golpes, resistente al agua y de paredes lisas. La norma permite dos tamaños: uno grande (50 litros de capacidad) y otro pequeño (5 litros).

- Elección de las balanzas. La balanza para el pesado del recipiente grande debe ser capaz de leer con una aproximación de 10 g y de 1 g para el pequeño.

- Llenado del recipiente con la muestra de astilla. Una vez llenado y enrasado, se debe asentar la astilla dejando caer el recipiente sobre un tablero, o una superficie similar, desde una altura de 15 cm. Se debe realizar esta compactación tres veces. Posteriormente se rellenará el recipiente con astilla de la muestra hasta enrasarlo nuevamente.

- Pesado de la muestra

El proceso de llenado del recipiente debe repetirse al menos una vez más para obtener el valor promedio.

- La densidad a granel (BD_{ar}, expresada en kg m^{-3}) se obtiene a partir del peso del recipiente vacío (p_1 en kg, tara), el peso del recipiente lleno de astilla (p_2 en kg), y la capacidad del recipiente (V en m^3). La ecuación utilizada es la siguiente:

$$BD_{ar} = \frac{p_2 - p_1}{V}$$

Figura 3.11. Acopio de astilla en el muelle de un puerto (izquierda) y cálculo de la densidad de las muestras extraídas (derecha) (Fotos: J. Pemán).

3.2. Porcentaje de corteza

La unidad de medida, bien sea el peso o el volumen, se puede expresar con corteza o sin corteza. Para la conversión entre estas unidades debe determinarse el espesor de corteza (tabla 3.7). Su estimación se realiza en árboles tipo de la masa mediante la utilización de un calibrador de corteza o mediante la eliminación de la misma en monte y determinación de los diámetros con y sin corteza. La relación entre el diámetro sin corteza ($d_{s.c.}$), el espesor de la corteza (e) y el diámetro con corteza ($d_{c.c.}$) es la siguiente (figura 3.12):

$$d_{s.c.} = d_{c.c.} - 2e$$

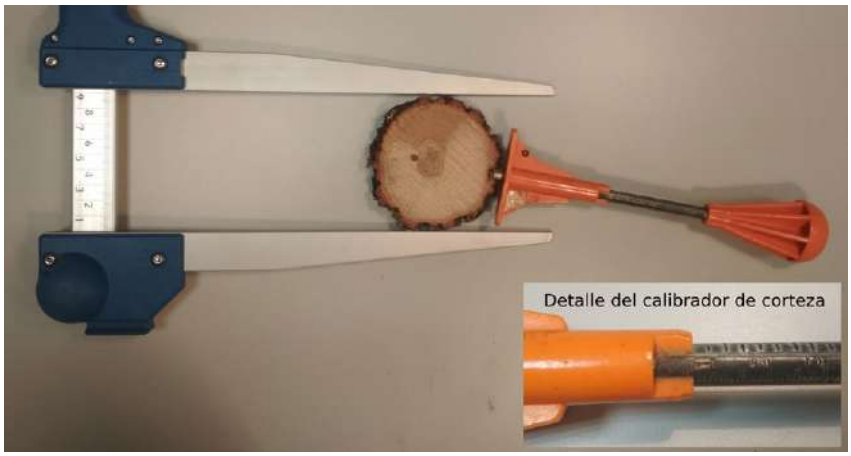


Figura 3.12. Estimación de la corteza mediante calibrador. El diámetro con corteza indicado a la izquierda por la forcípula es 92 mm. El espesor de corteza indicado a la derecha por el calibrador es de 6 mm (escala inferior), o un cuarto de pulgada (escala superior) (Foto: A Villasante).

Tabla 3.7. Porcentajes de corteza en volumen de diferentes especies forestales.

Especie	Porcentaje de corteza en volumen (%)	Características árbol
Quercus robur, Q. rubra	14-15 10	árboles jóvenes árboles viejos
Fagus sylvatica	9 5	árboles jóvenes árboles viejos
Betula spp.	14-16 18 12	árboles medios árboles jóvenes árboles viejos
Pseudotsuga menziesii	10 – 11	
Pinus halepensis	23 a 24	
Pinus pinaster	30 23 a 25	árboles jóvenes árboles adultos
Pinus nigra subsp. *nigra*	18 a 22	
Pinus nigra subsp. *laricio*	17 a 21	

Especie	Porcentaje de corteza en volumen (%)	Características árbol
Pinus sylvestris	20 10-15	30 años
Pinus uncinata	15 10	Masas jóvenes Masas viejas
Pinus pinea	32 26	árboles 20 cm árboles 45 cm
Pinus radiata	15	

El porcentaje de corteza en volumen (en %) se puede estimar a partir de los volúmenes con corteza ($V_{c.c.}$) y sin corteza ($V_{s.c.}$) mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Porcentaje de corteza (en volumen)} = ([V_{c.c.}-V_{s.c.}]/V_{c.c.})100$$

El porcentaje de corteza también se puede expresar en peso a partir de los pesos con corteza ($P_{c.c.}$) y sin corteza ($P_{s.c.}$) mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Porcentaje de corteza (en peso)} = ([P_{c.c.}-P_{s.c.}]/P_{c.c.})100$$

La cantidad de corteza en un árbol depende de la especie, la edad, la procedencia y la calidad de estación, variando a lo largo de la altura del fuste (Baonza et al. 2001).

3.3. Coeficiente de apilamiento

El coeficiente de apilamiento es adimensional y representa el cociente entre el volumen real de la madera (V_{real}) y el volumen de la pila (V_{pila}). Presenta valores entre 0 y 1.

$$\text{Coeficiente de apilamiento (Ca)} = V_{real} / V_{pila}$$

Suponiendo que todas las trozas tuvieran el mismo diámetro, fueran perfectamente cilíndricas y estuviesen perfectamente apiladas al tresbolillo, el coeficiente de apilamiento sería 0,906 (Kollmann 1959), lo que significa que el 90,6% del espacio está ocupado por madera y el 9,4% restante por aire. Con este coeficiente de apilamiento, para obtener un metro cúbico (real) de madera se necesitaría una pila de 1,104 estéreos. Los coeficientes de apilamiento en la práctica suelen ser inferiores a este valor, porque las trozas presentan curvaturas, deformaciones, irregularidades, diferencias de diámetro, etc., que hacen que las pilas no sean tan compactas. Habitualmente varían entre 0,5 y 0,75 (tabla 3.8).

Para la estimación del coeficiente de apilamiento se pueden utilizar diferentes procedimientos como el método del metro cuadrado móvil, la regla de Shellman, la plantilla de Bitterlich, el muestreo fotográfico reticular, etc.

Tabla 3.8. Coeficiente de apilamiento según el diámetro o el tipo de madera.

Diámetro medio (cm)	Coeficiente apilamiento	Referencia
5	0,442	(Vignote y Jiménez 1996)
10	0,568	
12	0,634	
15	0,662	
17	0,652	
19	0,667	
21	0,681	
Troncos curvados 14-30	0,66	(García-Esteban et al. 2005)
Trozas o madera en rollo	0,8 (c.c), 0,88 (s.c)	
Leñas	0,7 (c.c), 0,77 (s.c)	
Puntas y ramas	0,5	
Tocones	0,5	
Apeas de picea, abetos y haya	0,8 (c.c), 0,88 (s.c)	
Apeas de picea, alerce y roble	0,7 (c.c), 0,8 (s.c)	
Madera desintegración, (7 cm) y longitud (1 a 2 m)	0,8 (c.c), 0,88 (s.c)	

3.4. Coeficiente de conversión del volumen de madera en rollo en volumen a granel de astilla

La conversión de un volumen de madera en rollo a un volumen aparente o a granel de astilla depende del tamaño de la astilla, de la especie, del contenido de humedad, etc. No obstante, se han extendido algunos índices volumétricos para la realización de las diferentes conversiones (Francescato et al. 2008):

- 0,41 m^3 madera rollo equivalen a un metro cúbico aparente de astilla P16S al 35% de h_{bh}
- 0,33 m^3 madera rollo equivalen a un metro cúbico aparente de astilla P31S al 35% de h_{bh}

Esto implica que de un metro cúbico de madera en rollo se obtendrán 2,44 metros cúbicos aparentes de astilla P16S con 35% de h_{bh} y 3,03 metros cúbicos aparentes de astilla P31S con 35% de h_{bh}. Estos índices volumétricos permiten, también, calcular la densidad a granel a partir de la densidad sólida (tabla 3.9.)

Tabla 3.9. Densidad de madera en rollo y densidad a granel de astilla P16S según especie y contenido de humedad (*:Densidad a granel = Densidad rollo x índice volumétrico) (adaptado de Francescato et al. 2008).

Contenido de humedad (%)	*Fagus sylvatica*		*Quercus robur*		*Pinus spp.*	
	Densidad madera rollo (kg m^{-3})	Densidad a granel astilla P16S (kg m^{-3})*	Densidad madera rollo (kg m^{-3})	Densidad a granel astilla P16S (kg m^{-3})*	Densidad madera rollo (kg m^{-3})	Densidad a granel astilla P16S (kg m^{-3})*
0	680	280	660	272	490	202
10	704	290	687	283	514	212
20	730	300	724	298	541	223
30	798	328	828	341	615	253

3.5. Contenido energético de la astilla

Debido al potencial de la astilla de madera como biocombustible, interesa conocer cuál es su contenido energético o, lo que es lo mismo, su energía térmica (habitualmente expresada en MJ). Es frecuente en los estudios sobre la biomasa utilizar como unidad el kWh, cuya equivalencia con el MJ es la siguiente:

1 julio (J) = watio (W) x segundo (s)

$$1 \text{ megajulio (MJ)} = 10^6 \text{ J} = 10^6 \frac{1}{1000} kW \frac{1}{3600} h = 0{,}2778 \text{ kWh}$$

Para estimar la energía térmica de la biomasa es necesario conocer cuál es su poder calorífico (PC, medido en MJ kg^{-1}), es decir, la energía que libera cada unidad de masa durante su combustión. Es frecuente verlo expresado, también, en $MWht^{-1}$, cuya equivalencia es la siguiente:

1 MJ kg^{-1}= 0,2778 MWh t^{-1}

Durante la combustión de una madera, el calor producido provoca un evidente aumento de temperatura. Simultáneamente, parte del calor debe producir un cambio de estado de la humedad que contiene, de agua en estado líquido (en la madera) a estado de vapor (en los humos). Esta energía, denominada Calor latente de vaporización, tiene un valor muy elevado. Como ejemplo, un kilogramo de agua líquida necesita 335 kJ para pasar de 20 °C a 100 °C. Para que esa misma cantidad de agua líquida a 100 °C pase a estado de vapor a 100 °C es necesario aportar 2 257 kJ, casi 7 veces más aunque la temperatura no aumente. Por este motivo es necesario diferenciar dos tipos de poderes caloríficos: i) Poder calorífico bruto, ii) Poder calorífico neto.

El poder calorífico bruto se define como toda la energía liberada en la combustión de una unidad de masa de combustible en presencia de oxígeno, para que la combustión sea completa. El término de poder calorífico bruto engloba además de la energía liberada en la combustión

de la materia pura de la madera (celulosa, lignina, resinas, etc.), toda la energía producida por la evaporación del agua. Esto se consigue recuperando el calor mediante la condensación del agua en forma líquida. La norma EN ISO 18125 (AENOR 2018c) recoge el concepto poder calorífico bruto a volumen constante, $q_{v,gr}$, aplicable a ensayos de laboratorio en los que se utiliza un recipiente cerrado rígido donde no escapen los gases de combustión (bomba calorimétrica). Es frecuente referirse al poder calorífico bruto con el término poder calorífico superior.

El poder calorífico neto se define como la energía liberada por una unidad de masa de combustible en una combustión completa en presencia de oxígeno, de modo que toda el agua de los productos de combustión se elimine en forma de vapor de agua. Esto es lo que ocurre en la mayoría de las calderas, en la que el agua escapa por la chimenea en forma de vapor junto con el resto de humos. En la norma EN ISO 18125 (AENOR 2018c) se diferencia entre el poder calorífico neto a volumen constante ($q_{v,net}$) y el poder calorífico neto a presión constante ($q_{p,net}$), dependiendo de en qué condiciones se realice la combustión. Habitualmente se realiza a volumen constante en las bombas calorimétricas de los laboratorios y se realiza a presión constante, presión atmosférica, en las calderas de combustión industriales o residenciales. Es frecuente referirse al poder calorífico neto también con el término poder calorífico inferior. Como consecuencia de que la madera destinada a combustión en una caldera tiene un porcentaje de agua más o menos elevado, el poder calorífico que presenta mayor interés para conocer su energía térmica es el poder calorífico neto. Por este motivo es frecuente utilizar el término de poder calorífico inferior para referirse al poder calorífico neto.

Contrariamente a lo que pudiera parecer, las maderas en estado anhidro presentan poderes caloríficos similares, aproximadamente 19 MJ kg^{-1}. Por ejemplo, no hay grandes diferencias entre una madera de roble y una madera de abeto (tabla 3.10). Este dato paradójico es consecuencia de que una misma cantidad en peso genera una cantidad de calor similar, pero no ocurre así con el volumen: la madera de roble es más densa y un metro cúbico contiene más kilogramos y por lo tanto más energía.

Tabla 3.10. Poderes caloríficos de diferentes especies (Elvira y Hernando 1989).

Especies	Poder calorífico neto a humedad 0% (MJ kg^{-1})
CONÍFERAS	
Abies alba	19,21
Picea spp.	19,29
Pinus pinaster	20,30
Pinus sylvestris	19,08
FRONDOSAS	
Castanea sativa	19,82
Eucalyptus globulus	20,00
Fagus sylvatica	19,17
Populus spp.	18,33
Quercus robur	19,05

Los resultados de las experiencias de poderes caloríficos netos indican que en las coníferas, tomadas globalmente, son alrededor de un 2% superiores que en las frondosas (Francescato et al. 2008).Esta ligera diferencia se explica por un mayor porcentaje de lignina en las coníferas y por la presencia de resinas.

En situaciones reales, la madera no está absolutamente seca (anhidra) y contiene agua en su interior. El poder calorífico neto de un biocombustible ($q_{net,h}$) a una humedad h_{bh} (en %), se puede calcular a partir del poder calorífico neto en estado anhidro ($q_{net,0}$) utilizando la siguiente ecuación:

$$q_{net,h}\ (MJ\ kg^{-1}) = \frac{q_{net,0}\ (100 - h_{bh}) - 2{,}443\ h_{bh}}{100}$$

La constante 2,443 hace referencia al consumo térmico en MJ que representa la evaporación de un kg de agua.

El interés económico de la astilla como combustible se puede deducir comparando sus poderes caloríficos (tabla 3.11) y sus costes con otros combustibles. El precio que se paga por la astilla es función de su contenido energético, por lo que dependerá de la humedad que tenga. Para el cálculo del contenido energético, a una humedad determinada, bastará con utilizar la ecuación anterior del $q_{net'h}$ y multiplicarla por el precio que tenga la energía para, así, obtener el precio de la astilla (para el intervalo de precios 20-30 € MWh se presenta en la figura 3.13).

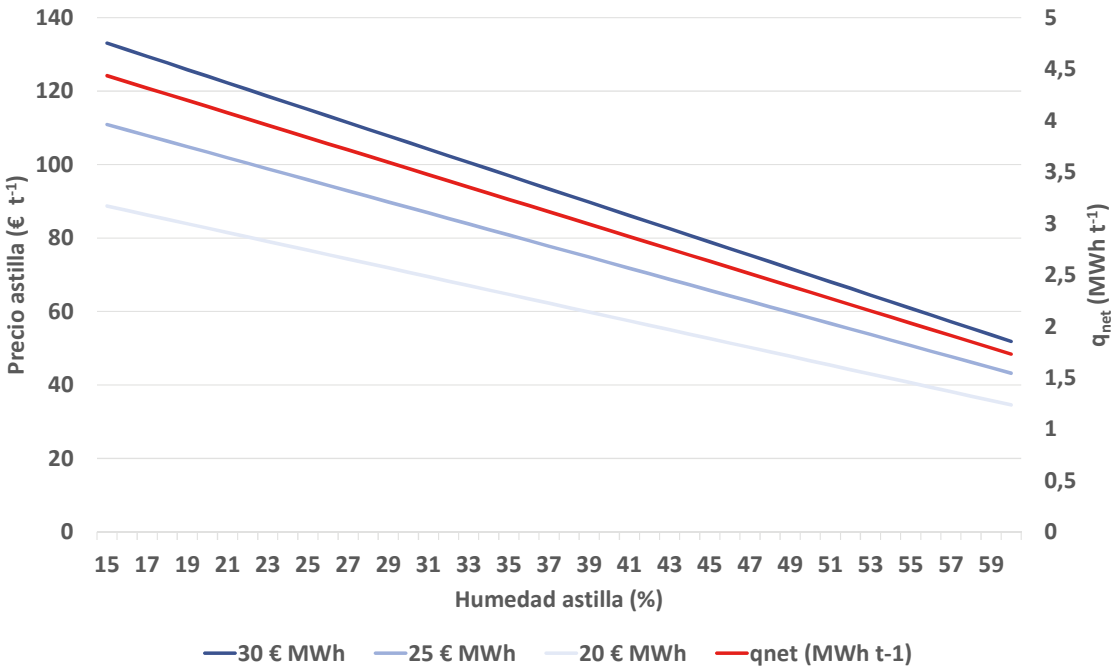


Figura 3. 13. Poder calorífico neto (MWh t^{-1}) según el contenido de humedad y el coste de la astilla en planta según el contenido de humedad en base húmeda y el coste de la energía. Se ha considerado para el cálculo un $q_{net,0}$ de 19 MJ kg^{-1}.

Ejercicio

h (%)	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
$q_{net,h}$ (kWh kg^{-1})											

7. Una empresa desea conocer la variación del poder calorífico (en kWh kg^{-1}) según los valores de humedad para un tipo de madera con poder calorífico anhidro de 19 MJ kg^{-1}

Solución: 5,3; 5;4,7;4,4;4,1;3,8;3,5;3,2;2,9;2,6;2,3

Tabla 3.11. Poderes caloríficos de diferentes combustibles (IDAE 2014).

Combustibles		Poder calorífico neto de material húmedo $q_{net,h}$	
		MJ kg^{-1} (GJ t^{-1})	kWh kg^{-1}
Petróleo y productos petrolíferos	Petróleo Bruto	42,55	11,82
	Materias primas de refinería	39,88	11,08
	Propano	46,20	12,83
	Butano	44,78	12,44
	Queroseno	42,89	11,91
	Gasolina	43,89	12,19
	Otros gasóleos	42,47	11,80
Carbones	Antracita eléctrica	19,23	5,34
	Antracita industrial	24,40	6,78
	Lignito	13,34	3,71
	Coque de coquería	26,80	3,71
	Alquitrán de hulla	38,00	3,71
Biomasa	Biomasa en general	14,12	3,92
	Leña y ramas	15,87	4,41
	Leñas tallares	10,44	2,90
	Leñas de podas	10,44	2,90
	Leñas de olivos y cultivos agrícolas	10,44	2,90
	Serrines y virutas	15,79	4,38
	Cortezas	15,24	4,23
	Astilla de pino triturada (humedad <20%)	15,07	4,19
	Residuos de poda	15,66	4,35
	Otros residuos forestales	13,82	3,84
	Biomasa de la industria forestal	14,60	4,06
	Biomasa agrícola	12,53	3,48
	Sarmientos de vid	13,70	3,80
	Orujo de uva	13,53	3,76
	Cáscara de frutos secos	15,49	4,30
	Cáscara de almendra (humedad <20%)	15,90	4,42
	Pellet de madera (humedad <15%)	18,04	5,01
	Carbón vegetal	15,87	4,41
Biocarburantes	Bioetanol	26,93	7,48
	Biodiesel	36,90	10,25

Ejercicios

8. **En un aprovechamiento de árboles adultos de *Pinus pinaster* una industria paga 45 € m^{-3} c.c. Atendiendo a los factores de conversión que se proporcionan se desea estimar el precio de las siguientes unidades comerciales: i) Metro cúbico de madera en rollo sin corteza, ii) Tonelada de madera en rollo con corteza, iii) Tonelada de madera en rollo sin corteza, iv) Estéreo de madera en rollo con corteza y v) Volumen a granel de astilla con corteza P16S (estéreos).**

   Factores de conversión: i)Porcentaje de corteza en volumen 27%, ii) Densidad con corteza 0,900 t m^{-3}, iii) Porcentaje con corteza en peso 13%, iv) Coeficiente de apilamiento de madera en rollo 0,637, v) Índice volumétrico 0,41.

Solución: i) 61,64, ii) 50,00 iii) 57,47, iv) 28,67, v) 18,45

9. **En el laboratorio de maderas de una fábrica de trituración se obtienen los siguientes datos en la descarga de un camión de madera: i) peso bruto del camión 27.252 kg, ii) tara del camión 12.349 kg, iii) longitud caja camión 8,2 m, iv) anchura caja del camión 2,35 m, iv) alturas medidas de la carga 2,25 m; 2,31 m; 2,37 m; 2,42 m; 2, 46 m, v) humedad de la madera sin corteza 38 %, vi) porcentaje de corteza en peso 13%, vii) porcentaje de la corteza en volumen 19%, viii) peso muestra de rodajas de madera en el aire (c.c.) 91 kg, ix) volumen de agua desalojada 127 dm^3, x) diámetros de la madera en rollo con corteza entre 7 y 17 cm, xi) precio de la tonelada con corteza 52 €. Con estos datos se deben calcular: i) densidad de la madera, ii) precio del metro cúbico con corteza, iii) precio del metro cúbico sin corteza, iv) los metros cúbicos con corteza que transporta el camión, v) los metros cúbicos sin corteza que transporta el camión, vi) las toneladas sin corteza que transporta el camión, vii) cuantos estéreos lleva el camión, viii) cual es el coeficiente de apilamiento en la caja del camión, ix) las toneladas secas sin corteza que transporta el camión, x) el precio de cada tonelada sin corteza, xi)Precio de la toneladas anhidras sin corteza**

Solución: i) 0,717 t m^{-3}, ii) 37,28 € m^{-3} c.c, iii) 46,02 € m^{-3} s.c., iv) 20,79 m^3 c.c., v) 16,84 m^3 s.c, vi) 12,97 t s.c vii) 45,52 estéreos, viii) 0,457, ix) 9,40 t seca s.c, x) 59,77 € t s.c. xi) 82,48 € t anhidra s.c.

10. **Una caldera produce 200.000 kWh $año^{-1}$. Se desea estimar la cantidad de astilla de pino a una humedad del 30% que será necesaria suministrar (en t y volumen aparente). Se estima que el poder calorífico anhidro de esta madera es 19 MJ kg^{-1} y que la eficiencia de la caldera es el 80%. La densidad a granel es 253 kg m^{-3}**

Solución: $q_{net'30}$ = 12,57 MJ kg^{-1} =3491 kWh t^{-1}; 71,61 t; 283 m^3 aparentes

4. Bibliografía

AENOR (1997) Madera en rollo. Terminología. Parte 4. Términos relativos al contenido de humedad (UNE-EN 844-4).

AENOR (2007) Madera aserrada y madera en rollo. Método de medida de dimensiones. Parte 2: Requisitos para la medida y métodos para cálculo del volumen (UNE-EN 1309-2).

AENOR (2016a) UNE-EN ISO 18134-1. Biocombustibles sólidos. Determinación del contenido de humedad. Método de secado en estufa. Parte 1: Humedad total. Método de referencia. Asociación Española de Normalización, Madrid.

AENOR (2016b) UNE-EN ISO 18134-3. Biocombustibles sólidos. Determinación del contenido de humedad. Método de secado en estufa. parte 3: Humedad de la muestra para análisis general. Asociación Española de Normalización, Madrid.

AENOR (2016c) UNE-EN ISO 17828. Biocombustibles sólidos. Determinación de la densidad a granel. Madrid.

AENOR (2017) UNE-EN ISO 18134-2: Biocombustibles sólidos. Determinación del contenido de humedad. Método de secado en estufa. Parte 2: Humedad total. Método simplificado. (ISO 18134-2:2017). Asociación Española de Normalización, Madrid.

AENOR (2018a) UNE-EN ISO 14780 Norma Española Biocombustibles sólidos Preparación de muestras.

AENOR (2018b) UNE EN ISO 18135. Biocombustibles sólidos. Muestreo. Asociación Española de Normalización.

AENOR (2019) UNE-EN ISO 17225-4. Biocombustibles sólidos Especificaciones y clases de combustibles Parte 4 : Clases de astillas de madera. Asociación Española de Normalización, Madrid.

Álvarez H (1984) Secado de la madera al aire. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Madrid.

Anisimov P, Onuchin E, Vishnevskaja M (2017) Modeling pine and birch whole tree drying in bunches in the cutting area. Croat J For Eng 38:11-17.

Anónimo (1988) Demostración forestal en Iruzubieta para cubicación de árboles en pie. Euzkadi For 12-13.

Anónimo (1996) Establecimiento de calidades de madera en pie y unificación de medidas de cubicación. Euzkadi For 4-7.

Baonza M, Gutiérrez A, Grau J (2001) Variación de la densidad, la humedad, el duramen y la corteza con la altura en el tronco de pino laricio. 3 Congreso Forestal Español. doi: 10.1007/s00158-009-0416-y.

Baró F (1948) Alrededor del estéreo. Montes 21:185-195.

Defo M, Brunette G (2006) A log drying model and its application to the simulation of the impact of bark loss. Prod J 56:71-77.

Elvira L, Hernando C (1989) Inflamabilidad y energía de las especies de sotobosque. INIA, Madrid.

Francescato V, Antonini E, Zuccoli L (2008) Manual de combustibles. Valladolid.

García-Esteban L, Guindeo A, Palacios P, Peraza C (2005) Tecnología de la madera. Prontuario For. Colegio Ingenieros Montes, Madrid, pp 1-37.

Guindeo A, García L, Peraza F, et al. (1997) Especies de madera para carpintería, construcción y mobiliario. Asociación de Investigación Técnica de las Industrias de la Madera y Corcho, Madrid.

IDAE (2014) Poderes caloríficos de las principales fuentes energéticas. In: Inf. y estadísticas.

https://www.idae.es/estudios-informes-y-estadisticas. Accessed 5 oct 2019.

Klepac J, Rummer B, Seixas F (2008) Seasonal effects on moisture loss of Loblolly Pine. For Eng pp 1-9.

Kofman PD, Kent T (2009) Long term storage and seasoning of conifer energy wood. Coford Connect 20:1-4.

Salin J, Gjerdrum P (2009) Modelling air-drying of wooden poles. COST E53/EDG.

Saralecos JD, Keefe RF, Tinkham WT, et al. (2014) Effects of harvesting systems and bole moisture loss on. Forests 5:2289-2306.

Valladares A (1975) Manual de explotación forestal. Madrid.

Vignote S, Jiménez F (1996) Tecnología de la madera. Mundi-Prensa, Madrid.

Capítulo 4

El marco legal de los aprovechamientos de los productos forestales

Jesús Pemán García, Miguel Ángel Sobrino, Enric Vadell

1. Disposiciones

El marco legal de los aprovechamientos de los productos forestales ha estado ampliamente regulado en España por la ley de montes de 1957, su reglamento de 1962 (RM), el Pliego General de Condiciones Técnico Facultativas para la ejecución de disfrutes en montes a cargo del Instituto Nacional para la Conservación de la Naturaleza (ICONA) de 1975 y los Pliegos Especiales de Condiciones Técnico Facultativas para la regulación de los aprovechamientos madereros y de corcho de 1975. La ley de 1957 está derogada por la ley 43/2003, pero no así su Reglamento, que está vigente en aquellos aspectos que no contradigan las leyes sectoriales del Estado o de las Comunidades Autónomas (CC.AA.). En este sentido, por tanto, están vigentes gran parte de los artículos del RM-1962 que hacen referencia al aprovechamiento de los montes catalogados (artículos 212-224) y de los montes no catalogados (artículos 225-236).

En la actualidad, el marco legal básico está regulado por el Estado y desarrollado en la mayoría de las CC.AA. por sus respectivas legislaciones sectoriales (tabla 4.1, figura 4.1). Hay 13 CC.AA. con legislación de montes y cuatro sin ella (Baleares, Canarias, Cantabria y Murcia). Entre estas últimas, solo Baleares tiene regulados los aprovechamientos mediante normas específicas.

Tabla 4.1. Marco legal de los aprovechamientos forestales en el Estado y en las diferentes Comunidades Autónomas.

Ámbito	Norma
Estado	L 43/2003, de 21 de noviembre, de Montes (LM) L 10/2006, de 28 de abril, modificación L 21/2015, de 20 de julio, modificación
Andalucía	L 2/1992, 15 de junio, Forestal de Andalucía D 208/1997, 9 septiembre, Reglamento D 15/2011, usos y actividades en parques naturales
Aragón	L 15/2006, 28 de diciembre, de Montes L 3/2014, de 29 de mayo D.L. 1/2017, de 20 de junio, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Montes de Aragón
Principado de Asturias	L 37/2004, de 23 de noviembre, Montes y Ordenación Forestal L 6/2010, de 29 de octubre, modificación de L 37/2004

Ámbito	Norma
Illes Balears	L 3/2019, de 31 de enero, Agraria
Islas Canarias	D 47/1998, de 17 de abril, sobre el Fondo de Mejoras de Aprovechamientos Forestales y de Creación de la Comisión de Montes de Canarias
Castilla-La Mancha	L 3/2008, 12 de junio, de Montes y Gestión Forestal Sostenible L 7/2009, de 17 de diciembre de modificación
Castilla y León	L 3/2009, de 6 abril, de Montes D 1/2012, 12 de enero de los aprovechamientos madereros y leñosos en montes y otras zonas arboladas no gestionados por la Junta de Castilla y León. O FYM/985/2014, 5 de noviembre, que desarrolla el D 1/2012 O 22.2.1990, por la que se determinan las normas económicas, técnicas y facultativas que han de regir en los aprovechamientos forestales con participación económica de la Junta de Castilla y León así como la gestión, recaudación y contabilidad de los ingresos generados por dichos aprovechamientos O HAC/1325/2011, de 30 de septiembre, de modificación de la anterior
Cataluña	L 6/1988, de 13 de marzo, Forestal
Comunidad de Madrid	L 16/1995, de 4 de mayo, Forestal y de Protección de la Naturaleza D. 8/1986, 23 de enero, sobre regulación de podas limpias y aclareos de fincas de propiedad particular pobladas de encinas D 111/1988, de 27 de octubre, por el que se establece la regulación de cortas en los montes bajos o tallares de encina y rebollo
Comunidad Foral de Navarra	L 13/1990, de 31 de diciembre, Protección y Desarrollo del Patrimonio Forestal L 3/2007, de 21 de febrero, modificación L 13/1990 D 52/1992, 17 de febrero, Reglamento L 13/1990
Comunitat Valenciana	L 3/1993, de 9 de diciembre, Forestal D 98/1995, de 16 de mayo, reglamento O 10/2015, de 8 d'abril, per la qual es regulen els aprofitaments forestals Resolución de 29 de marzo de 2017 por la que se modifican los anexos de la Orden 10/2015 D 205/2020, de 11 de diciembre, del Consell, de regulación de los aprovechamientos forestales en montes privados y la enajenación de aprovechamientos forestales en montes gestionados por la Generalitat
Extremadura	L. 6/2015, 24 de marzo, Agraria D. 13/2013, de 26 de febrero, por el que se regula el procedimiento administrativo para la realización de determinados aprovechamientos forestales y otras actividades D 111/2015, de 19 de mayo, por el que se modifica D 13/2013
Galicia	L 7/2012, de 28 de junio, de Montes D 50/2014, de 10 de abril, por el que se regulan los aprovechamientos madereros y leñosos, de corcho, de pastos y micológicos en montes o terrenos forestales de gestión privada O 28.9.2004, por la que se regulan los aprovechamientos madereros y leñosos en aplicación de la L 43/2003 de 21 de noviembre
País Vasco	Álava: Norma Foral 11/2007, de 26 de marzo, de Montes Guipúzcoa: Norma Foral 7/2006, de Montes Vizcaya: Norma Foral 3/94, de Montes y administración de ENP, Norma Foral 3/2007, de modificación
Región de Murcia	D 50/2003, de 30 de mayo, por el que se crea el Catálogo Regional de Flora Silvestre Protegida de la Región de Murcia y se dictan normas para el aprovechamiento de diversas especies forestales.
La Rioja	L 2/1995, 10 febrero, Montes D 114/2003, de 30 octubre, reglamento

Además de la legislación forestal, que es la preferente que regula los aprovechamientos forestales, hay que tener en cuenta otras normas en el caso de que la entidad titular del monte sea

pública: 1) Marco jurídico que regula el régimen local y el patrimonio de las entidades públicas, 2) Legislación de contratación pública 3) Legislación sobre procedimiento administrativo.

1. Régimen local y de patrimonio de las entidades públicas.

- Texto refundido de las disposiciones legales vigentes en materia de Régimen Local, RDL 781/1986, de 18 de abril (TRRL).
- RD 1372/1986, de 13 de junio, por el que se aprueba el Reglamento de Bienes de las Entidades Locales (REBASO).
- Texto consolidado de la L 33/2003, de 3 de noviembre, del Patrimonio de las Administraciones Públicas (LPAP) (31 octubre de 2015).
- RD 1373/2009, de 28 de agosto, reglamento general de la L.33/2003.
- Leyes autonómicas de régimen local.

2. Contratación pública.

- L 9/2017, de 8 de noviembre, de Contratos del Sector Público (LCSP).

3. Procedimiento administrativo

- L 39/2015, de 1 de octubre, del Procedimiento Administrativo Común de las Administraciones Públicas.

En el caso de los montes de propiedad particular, la legislación que regirá en los procesos de compra y venta será la que regula los contratos privados, por tanto, el Código Civil (artículos 1445-1537).

Figura 4.1. Regulación de los aprovechamientos de setas en los montes de Soria (Foto: J. Pemán).

2. Potestad de enajenación de los productos forestales

Los titulares o propietarios de los montes son los que ostentan la propiedad de los recursos de los montes, incluidos los frutos espontáneos. Son ellos, por tanto, los que tienen la capacidad para enajenarlos o venderlos, eso sí, siempre sujetos a los que disponga la normativa vigente y los documentos de planificación u ordenación existentes. Como novedad importante, y no exenta de polémica, hay que hacer referencia a la modificación de la ley de Montes de 2015 que introdujo la posibilidad de que las administraciones gestoras de los montes demaniales, es decir, las administraciones autonómicas en la mayoría de los casos, enajenaran los aprovechamientos de dichos montes: **"En los montes de utilidad pública, es decir, demaniales, la administración forestal del monte podrá enajenarlos** con igual sujeción a lo dispuesto en la normativa, en los documentos de planificación y las prescripciones técnico-facultativas y económico-administrativas que se establezcan y a los instrumentos de gestión vigentes. Como contraprestación, además o en lugar del precio, podrá establecerse o aceptarse la realización de determinadas mejoras del monte, que deberán sujetarse al instrumento de gestión correspondiente, a las condiciones específicas que se establezcan y a la aprobación del titular del monte (artículo 53. L 21/2015)".

Esta disposición ha sido interpretada por los titulares de algunos de estos montes como una vía para la expropiación *de facto* de los aprovechamientos aunque, es probable, que el legislador estuviese pensando al introducir esta disposición en proporcionar una vía para poder enajenar los productos forestales en los montes propiedad de entidades locales menores, que carecen de los medios y facilidades para hacerlo. No obstante, al no acotarse cuando se puede hacer uso de esta prerrogativa dichas alarmas parecen fundadas.

Como excepción al criterio general antes apuntado, conviene hacer una referencia explícita a los aprovechamientos en los montes comunales. Como se indicó en el capítulo 1, en este tipo de montes los aprovechamientos de los productos forestales pertenece al común de los vecinos y no al titular del monte. La forma en que estos aprovechamientos pueden realizarse está regulada en el REBASO, que establece que el aprovechamiento de los bienes comunales se realizará por:

- Régimen de explotación común. Implica el disfrute general y simultáneo de los "bienes por quienes ostenten en cada momento la cualidad de vecino".

- Aprovechamiento peculiar. Según costumbre o reglamentación local o adjudicación por suertes y lotes. La adjudicación por lotes o suertes se hace a los vecinos en proporción directa al número de personas que tengan a su cargo e inversa de su situación económica.

- Adjudicación mediante precio. Se efectuará por subasta pública, previa autorización por el órgano competente de la Comunidad Autónoma, en la que tengan preferencia los postores vecinos sobre los no residentes en igualdad de condiciones. A falta de licitadores la adjudicación se podrá hacer de forma directa.

3. Marco jurídico para la enajenación de los productos forestales por la entidad pública titular

Existe cierta confusión sobre la naturaleza jurídica del contrato que rige la enajenación de los productos forestales cuando el titular del monte es una entidad pública, al haberse realizado dichos contratos bajo figuras diversas, como son: contratos menores, contratos de servicios, contratos administrativos especiales o, incluso, contratos de obras (tabla 4.2). Esta confusión está implícita en algunas leyes sectoriales que otorgan diversa naturaleza a este tipo de contratos.

Tabla 4.2. Naturaleza jurídica del contrato de enajenación de los productos forestales.

Ámbito	Disposición
Estado L 21/2015, de 20 de julio, por la que se modifica la Ley 43/2003 de Montes (LM)	Se determina en este texto que **los contratos públicos de aprovechamientos forestales**, diferentes en esencia de las concesiones de uso, **se deben regir** en sus términos generales por el Texto Refundido de la Ley de Contratos del Sector Público, aprobado por Real Decreto Legislativo 3/2011, de 14 de noviembre, **bajo la figura de contratos especiales**, puesto que deben estar sometidos a la legislación sectorial forestal. Por esta razón, **se faculta al Gobierno a regular reglamentariamente el régimen básico de estos contratos de obras y servicios forestales** (Exposición motivos) Los **aprovechamientos en los montes del dominio público** forestal **podrán ser** enajenados por sus titulares en el marco de lo establecido en la **legislación patrimonial** que les resulte de aplicación (art.53.4) El Gobierno, oídas las comunidades autónomas, **regulará reglamentariamente el régimen básico propio de los contratos públicos de aprovechamientos, obras y servicios forestales** (art.53.8)
Andalucía L 2/1992, 15 de junio, Forestal de Andalucía (LFA)	**Los contratos administrativos de aprovechamientos forestales**, con excepción de los apícolas, que realice la Administración de la Junta de Andalucía, **se regirán** por lo dispuesto en la Ley de Contratos de las Administraciones Públicas y, en especial, **por las normas reguladoras del contrato de obras** (disposición adicional cuarta) La adjudicación o enajenación de usos o aprovechamientos forestales en montes públicos se realizará mediante contrato, o en su caso, concesión, adjudicado y celebrado con arreglo a lo dispuesto en la Ley 13/1995, de 18 de mayo, de Contratos de las Administraciones Públicas (art.100.1 Reglamento LFA)
Extremadura L 6/2015, de 24 de marzo, Agraria de Extremadura	Los contratos por los que se rige la **enajenación de los productos forestales** y, en general, los recursos procedentes de los montes declarados de utilidad pública propiedad de la Comunidad Autónoma, **tendrán naturaleza administrativa especial** (art.259.3)
Comunidad de Madrid L 16/1995, de 4 de mayo, Forestal y de Protección de la Naturaleza	A efectos de esta Ley, se denomina aprovechamiento a todo uso del monte o utilización de sus recursos que, al menos potencialmente, pueda generar ingresos. Tales aprovechamientos, cuando se realicen en montes públicos, cuya titularidad o gestión esté atribuida a la Comunidad de Madrid, **tendrá la consideración de contratos administrativos especiales** y se regirán por su normativa específica, debiendo, en todo caso, ajustarse a las normas de esta Ley, de la legislación urbanística y sectorial (art.76.1)

La confusión en la interpretación, a nuestro entender, viene propiciada por varios aspectos:

1. La existencia de diferentes leyes que establecen el marco jurídico de los mismos, como son la de Montes (LM), la del Patrimonio de las Administraciones Públicas (LPAP), el Reglamento de Bienes de las Entidades Locales (REBASO) y la de Contratos del Sector Público (LCSP).

2. Las posibles alternativas que tiene la administración para la realización del aprovechamiento, que básicamente podíamos resumir en:

2.a. Administración como enajenadora del aprovechamiento en pie.

2.b. Administración como ejecutora del aprovechamiento con valor comercial.

2.c. Administración como ejecutora del aprovechamiento sin valor comercial.

Esta confusión ha propiciado un debate, en ocasiones, con posicionamientos muy diferentes (Junta Consultiva de Contratación Administrativa 2013; García-Asensio 2017). El análisis de la naturaleza jurídica de este contrato se realiza a partir de las alternativas antes comentadas:

2.a. La administración como enajenadora del aprovechamiento en pie. El marco normativo que regula esta relación será el contrato administrativo especial, como lo indica el confuso redactado de la LM y algunas de las normas específicas de las CC.AA. García-Asensio (2017) justifica este hecho por las siguientes razones:

- La enajenación de los productos forestales no figura entre los contratos administrativos típicos. Esto implica que solo puede ser privados o administrativos especiales.

- Los contratos administrativos especiales se justifican “por estar vinculados al giro o tráfico específico de la Administración contratante o por satisfacer de forma directa o inmediata una finalidad pública de la específica competencia de aquella (art.25.2b LCSP)”. En esta justificación encaja perfectamente la enajenación de los productos forestales en los montes públicos.

- La enajenación se considera un acto administrativo regulado al detalle por su legislación específica.

- La jurisprudencia ha considerado como públicos este tipo de contratos por ser de interés público la riqueza forestal de la que se derivan.

- El carácter forestal tiene unas connotaciones públicas que se extiende a los contratos afectados.

El carácter especial de este tipo de contrato implica, por tanto, la siguiente prelación de normas: i) La forestal, salvo que incurra en contradicción con la patrimonial, ii) La normativa de régimen local, iii) La normativa general de contratación pública y la patrimonial, que se

consideraran normas complementarias. La naturaleza de este contrato sería la misma para los montes demaniales como para los patrimoniales.

2.b. La administración como ejecutora directa del aprovechamiento con valor comercial. En este supuesto, la administración ejecuta la realización directa de las operaciones de apeo y desembosque con la finalidad de enajenar el producto de las mismas en el cargadero o en la industria. Si la Administración no dispone de medios para llevarla a cabo podrá contratar a una empresa. En este caso, por tanto, tenemos dos tipologías de contratos: i) Contrato de venta de la madera a la industria y ii) Contrato con la empresa que ejecuta el aprovechamiento. El primero de los contratos tiene, también, el carácter de especial, mientras que la segunda tipología puede ser un contrato de obras. Algunas CC.AA. utilizan la figura del contrato menor para pagar a las empresas que realizan estos trabajos cuando la cuantía de los mismos no es muy elevada. Este es el modelo que desarrolla la Generalitat de Catalunya en la enajenación de los aprovechamientos en los montes propios.

2.c. La administración como ejecutora directa del aprovechamiento sin valor comercial. En este supuesto, no se realiza la venta de la madera en pie, sino que la administración contrata una empresa que ejecuta un tratamiento selvícola, que tiene un coste para la administración y, por tanto, cabría tipificarlo como de contrato de obra. En el caso de que los productos extraídos como consecuencia de este tratamiento selvícola tuvieran un valor comercial podrían quedar a disposición del adjudicatario del mismo y el importe obtenido por su venta detraerse del presupuesto de contratación, como así lo refleja la LM: "En los contratos que celebren las Administraciones gestoras o titulares de montes demaniales para la realización de actuaciones de mejora en dichos montes, en las que se generen productos forestales con valor de mercado, estos podrán quedar a disposición del adjudicatario de los trabajos y el precio estimado de su venta constituir un elemento dentro del presupuesto de la actuación (art. 36.6)". Se entiende que el valor de estos productos no sufragaría por sí el aprovechamiento y que es necesario la financiación externa de estas actividades. Por tanto, la finalidad de esta actuación no es la venta de los productos si no la realización de unos tratamientos selvícolas que no se autofinancian.

4. ¿Quién regula los aprovechamientos de los productos forestales?

La administración pública forestal regula los aprovechamientos madereros, leñosos y no madereros que se celebren en el territorio de la misma. Esta regulación se puede realizar en dos momentos:

- Con la aprobación del instrumento de gestión del monte, en el caso de que este se haya elaborado. Cuando se dispone de este instrumento, los aprovechamientos forestales deben ajustarse a lo indicado expresamente en el mismo.

- Con la aprobación o autorización expresa del aprovechamiento, en el caso de que no tenga instrumento o documento de gestión aprobado.

En el caso de los montes gestionados por la administración forestal -que tradicionalmente han sido los montes catalogados de utilidad pública, los montes propios y los montes consorciados y conveniados- la aprobación expresa del aprovechamiento se produce con la inclusión del mismo en el Plan Anual de Aprovechamientos (PAA) que se redacta para este tipo de montes. La ejecución del aprovechamiento se podrá iniciar una vez que el proceso de adjudicación del mismo haya terminado y el beneficiario haya obtenido la preceptiva licencia de disfrute.

En el caso de los aprovechamientos madereros y leñosos en montes no gestionados por la administración forestal, para la realización de estos aprovechamientos se deberán cumplir, con carácter general, unos condicionantes según se disponga o no de documento de gestión aprobado (tabla 4.8) (LM, art. 37.2):

- En el caso de montes con documento de gestión aprobado, el titular del monte deberá enviar una declaración responsable del aprovechamiento al órgano forestal (figura 4.2).

GENERALITAT VALENCIANA

DECLARACIÓ RESPONSABLE. D'APROFITAMENT FORESTAL PLANIFICAT

DECLARACIÓN RESPONSABLE. DE APROVECHAMIENTO FORESTAL PLANIFICADO

A DADES DEL TITULAR DEL TERRENY / *DATOS DEL TITULAR DEL TERRENO*

REF (A EMPLENAR PER L'ADMINISTRACIÓ) / *REF (A RELLENAR POR LA ADMINISTRACIÓN)*

PRIMER COGNOM O RAÓ SOCIAL / *PRIMER APELLIDO O RAZÓN SOCIAL* | SEGON COGNOM / *SEGUNDO APELLIDO* | NOM / *NOMBRE* | DNI / CIF

DOMICILI SOCIAL / *DOMICILIO SOCIAL* | CP | LOCALITAT / *LOCALIDAD*

PROVÍNCIA / *PROVINCIA* | TELÉFON / *TELÉFONO* | FAX | ADREÇA ELECTRÒNICA / *CORREO ELECTRÓNICO (*)*

B DADES DE LA PERSONA REPRESENTANT (SI ÉS EL CAS) / *DATOS DE LA PERSONA REPRESENTANTE (EN SU CASO)*

COGNOMS / *APELLIDOS* | NOM / *NOMBRE* | DNI | TELÉFON / *TELÉFONO*

ADREÇA ELECTRÒNICA / *CORREO ELECTRÓNICO (*)*

C NOTIFICACIONS (SI ÉS DIFERENT A L'APARTAT A) / *NOTIFICACIONES (SI ES DISTINTO AL APARTADO A)*

DOMICILI (CARRER/PLAÇA, NÚMERO I PORTA) / *DOMICILIO (CALLE/PLAZA, NÚMERO Y PUERTA)* | CP

LOCALITAT / *LOCALIDAD* | PROVÍNCIA / *PROVINCIA* | TELÉFON / *TELÉFONO* | FAX

ADREÇA ELECTRÒNICA / *CORREO ELECTRÓNICO (*)*

Indiqueu en quina llengua voleu rebre les notificacions: / *Indique en qué lengua desea recibir las notificaciones:*
☐ Valencià / *Valenciano* ☐ Castellà / *Castellano*

Si el sol·licitant és persona física, accepta la notificació per mitjans electrònics: / *Si el solicitante es persona física, acepta la notificación por medios electrónicos:* ☐ SÍ

(*) A l'efecte de la pràctica de notificacions electròniques, l'interessat haurà de disposar de certificació electrònica en els termes previstos en la seu electrònica de la Generalitat (https://sede.gva.es).
(*) A efectos de la práctica de notificaciones electrónicas, el interesado deberá disponer de certificación electrónica en los términos previstos en la sede electrónica de la Generalitat (https://sede.gva.es).

D DOCUMENTACIÓ ADJUNTA (SI CORRESPON) / *DOCUMENTACIÓN ADJUNTA (SI CORRESPONDE)*

☐ Document vàlid en dret que acredite les facultats de representació del sol·licitant / *Documento válido en derecho que acredite las facultades de representación del solicitante*

☐ Altres / *Otros* (especificar): _____

E DECLARACIÓ RESPONSABLE / *DECLARACIÓN RESPONSABLE*

La persona sotasignada, en nom seu o en representació legal, declara sota la seua responsabilitat expressa:
La persona abajo firmante, en su propio nombre o en representación legal, declara bajo su expresa responsabilidad:

- Que les dades consignades en la present declaració i en la documentació que s'adjunta són certes, exactes, completes i conformes amb l'establert en la legislació, i que es troba en possessió de la documentació que així ho acredita, quedant a la disposició de la Generalitat per a la seua presentació, comprovació, control i inspecció posterior que s'estimen oportuns. / *Que los datos reseñados en la presente solicitud y en la documentación que se adjunta son ciertos, exactos, completos y conformes con lo establecido en la legislación, y que se encuentra en posesión de la documentación que así lo acredita, quedando a disposición de la Generalitat para su presentación, comprobación, control e inspección posterior que se estimen oportunos.*
- Que la finca o parcel·les sobre la qual se va a realitzar l'activitat és de la seua propietat o de la persona a la qual representa / *Que la finca o parcelas sobre la que se va a realizar el aprovechamiento es de su propiedad o de la persona a la cual representa.*
- Que es compromet a complir les condicions especificades en la normativa aplicable, la qual coneix íntegrament, especialment el que es disposa en matèria de prevenció d'incendis forestals, actualment el Decret 7/2004, de 23 gener del Consell, de la Generalitat, pel qual s'aprova el plec general de normes de seguretat en prevenció d'incendis forestals a observar en l'execució de treballs que es realitzen en terrer forestal o en els seus voltants / *Que se compromete a cumplir las condiciones especificadas en la normativa aplicable, la cual conoce en su integridad, en especial lo dispuesto en materia de prevención de incendios forestales, actualmente el Decreto 7/2004, de 23 enero del Consell, de la Generalitat, por el que se aprueba el pliego general de normas de seguridad en prevención de incendios forestales a observar en la ejecución de trabajos que se realicen en terrero forestal o en sus inmediaciones.*
- Que compleix amb els requisits establits en la normativa vigent per a realitzar l'aprofitament forestal objecte d'aquestes. *Que cumple con los requisitos establecidos en la normativa vigente para realizar el aprovechamiento forestal objeto de las mismas.*
- Que, en el seu cas, disposa de la documentació que acredita l'anterior afirmació, posant-la a disposició de l'Administració quan li siga requerida. *Que, en su caso, dispone de la documentación que acredita la anterior afirmación, poniéndola a disposición de la Administración cuando le sea requerida.*
- Que les dades relatives als productes obtinguts en els aprofitaments seran veraços. *Que los datos relativos a los productos obtenidos en los aprovechamientos serán veraces.*
- Que es compromet a mantindre el compliment de les anteriors obligacions durant el període de temps inherent a aquest reconeixement o exercici *Que se compromete a mantener el cumplimiento de las anteriores obligaciones durante el período de tiempo inherente a dicho reconocimiento o ejercicio.*
- Que l'aprofitament forestal a realitzar està contemplat en un instrument tècnic de gestió forestal aprovat i vigent i s'executa d'acord amb les prescripcions contingudes en aquest / *Que el aprovechamiento forestal a realizar está contemplado en un instrumento técnico de gestión forestal aprobado y vigente y se ejecuta conforme a las prescripciones contenidas en este.*
- Que ha subscrit amb caràcter previ l'acta de determinació de l'aprofitament a la qual l'article 28 del DECRET 205/2020, d'11 de desembre, fa referència / *Que ha suscrito con carácter previo el acta de determinación del aprovechamiento a la que el artículo 28 del DECRETO 205/2020, de 11 de diciembre, hace referencia.*
- Que, en el cas de que l'aprofitament haja vingut donant-se en anys anteriors, s'ha donat compliment a les obligacions establertes a l'article 32 del DECRET 205/2020, d'11 de desembre, en relació a la necessitat de presentar una comunicació de la quantitat de producte efectivament obtingut mitjançant un aprofitament de fusta i afins / *Que, en el caso de que el aprovechamiento haya venido dándose en años anteriores, se ha dado cumplimiento a las obligaciones establecidas en el artículo 32 del DECRETO 205/2020, de 11 de diciembre, en relación a la necesidad de presentar una comunicación de la cantidad de producto efectivamente obtenido mediante un aprovechamiento de madera y afines.*

(1/2) EXEMPLAR PER A L'ADMINISTRACIÓ / *EJEMPLAR PARA LA ADMINISTRACIÓN*

SS.TT. CONSELLERIA D'AGRICULTURA, DESENVOLUPAMENT RURAL, EMERGÈNCIA CLIMÀTICA I TRANSICIÓ ECOLÒGICA 05/07/21
SS.TT. CONSELLERÍA DE AGRICULTURA, DESARROLLO RURAL, EMERGENCIA CLIMÁTICA Y TRANSICIÓN ECOLÓGICA

IA - 260184 - 01 - E DIN - A4 CHAP - IAC

Figura 4.2. Impreso de declaración responsable de un aprovechamiento forestal según el marco legal de la Generalitat Valenciana.

- En el caso de no existir estos documentos de gestión, estos aprovechamientos requerirán autorización administrativa previa. Se consideran como excepción los aprovechamientos madereros o leñosos de turno corto (< 20 años) y los domésticos de menor cuantía (< 10 m^3 de madera o 20 estéreos de leña). Esta autorización se materializa con la expedición de la licencia de corta.

Según establece la L 21/2015, "los aprovechamientos en los montes afectados por las zonas de servidumbre, policía, o afección de los dominios públicos hidráulico, marítimo-terrestre, de carreteras o ferroviario, no precisarán de la autorización de los órganos competentes de dichos dominios, siempre y cuando tales montes dispongan de instrumentos de gestión cuya aprobación por el órgano forestal de la comunidad autónoma haya sido informada favorablemente por los órganos de gestión de los dominios públicos mencionados (LM, art. 36.7)". Un ejemplo de ello puede ser la corta de choperas en las zonas de dominio público hidráulico, que no precisarán de la autorización para su corta de los órganos de cuenca si tienen un instrumento de gestión aprobado con su informe favorable.

5. El marco de planificación de los aprovechamientos forestales: los proyectos de Ordenación y Planes Técnicos

Los proyectos de ordenación o planes técnicos, como documentos básicos de gestión de los montes, constituyen el marco de planificación de referencia para la ejecución de los aprovechamientos forestales. En la legislación de varias administraciones públicas (por ejemplo, Diputación Foral de Álava o La Rioja) se determina explícitamente la necesidad de que todo aprovechamiento de maderas y leñas que se realice, en cualquier tipo de monte, debe estar recogido en un documento de planificación forestal. En su defecto, los aprovechamientos que se podrán realizar se reducirán a cortas de saneamiento y mejora.

La aprobación que la Administración forestal realiza de estos documentos de planificación supone, para la mayoría de los aprovechamientos en ellos recogidos, una autorización implícita. Esta autorización implica que el propietario del monte solo tenga que limitarse a notificar o comunicar la realización del aprovechamiento, en vez de solicitar su autorización a la Administración forestal (tabla 4.8). En el País Vasco, en las normas forestales de sus tres territorios históricos, tener autorizado un plan de gestión no excluye la necesidad de solicitar la autorización de los aprovechamientos madereros que se realicen en montes particulares con planes de gestión.

6. Los aprovechamientos madereros en los montes que gestiona la Administración Forestal

La realización de los aprovechamientos madereros en montes gestionados por la administración pública conlleva un procedimiento que implica diferentes etapas: 1) Preparación y apro-

bación del aprovechamiento, 2) Enajenación del aprovechamiento, 3) Ejecución y control y 4) Finalización del aprovechamiento (figura 4.3).

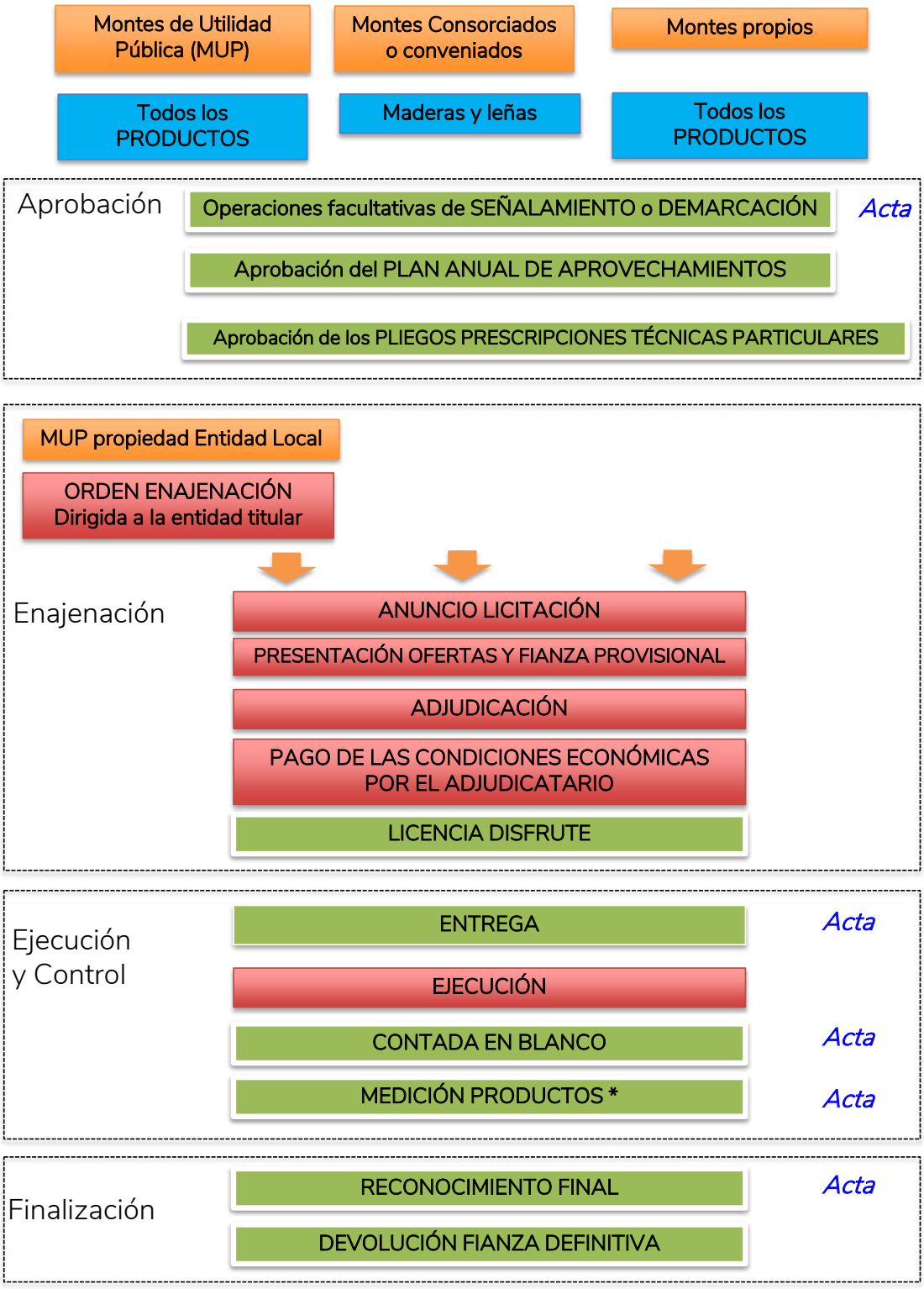


Figura 4.3. Esquema del procedimiento de aprobación, adjudicación, ejecución y control de un aprovechamiento maderero (*: En el caso de que el aprovechamiento sea con liquidación final).

6.1. Preparación y aprobación del aprovechamiento maderero

En esta fase merecen destacarse los siguientes aspectos: 1) Delimitación de la cosa cierta, 2) Documento de planificación del aprovechamiento, 3) Redacción del Pliego de Prescripciones Técnico-Facultativas Particulares.

6.1.1. Delimitación de la cosa cierta. El señalamiento o la demarcación

La cosa cierta objeto del aprovechamiento maderero son los árboles. Estos se podrán delimitar mediante la operación de señalamiento, mediante el marcado de los mismos, o mediante la operación de demarcación, que delimitará la superficie donde estos se ubiquen. La demarcación se utiliza para cortas a hecho en monte alto o cortas a matarasa en monte bajo. Cuando se vende la madera en pie, esta operación debe ser previa a la licitación del aprovechamiento, al ser imprescindible para la correcta valoración del mismo (figura 4.4). No se realiza en el caso de los aprovechamientos que se enajenan en el cargadero o en la industria. En el caso de los aprovechamientos madereros en montes de particulares, la administración se reserva la posibilidad de realizarlo, o no, según cada caso particular.

Figura 4.4. Árbol señalado con espray en el raigal y a media altura de su tronco (izquierda), marco real utilizado para el señalamiento de los árboles en los aprovechamientos forestales con las iniciales del Distrito Forestal de Barcelona (derecha superior), martillo numerador para numerar los árboles señalados (derecha inferior) (Fotos: J. Pemán).

La materialización física del señalamiento, en el caso de los aprovechamientos de árboles en pie, se puede realizar de numerosas formas. Para realizar el señalamiento de los árboles a apear, tradicionalmente se ha empleado la herramienta conocida como marco real (figura 4.4), que está compuesta por un hacha, que permite hacer un chaspe sobre la corteza del árbol, y por una cabeza de martillo que solía llevar grabado el escudo de la unidad administrativa. Normalmente se realizaban dos chaspes, uno a la altura del pecho y otro en el raigal, por debajo de la altura del apeo, para poder controlar que los árboles cortados eran los señalados. Debajo del sello de la institución que llevaba la cabeza del martillo del marco real se numeraba el árbol con el martillo numerador. Hoy en día, este señalamiento se suele hacer con espray.

En el caso de que no exista señalamiento previo, al maderista se le deberán especificar los criterios de cortabilidad a seguir. En el caso de que se realice mediante demarcación de la superficie se aprovecharán todos los árboles comprendidos en la misma, a excepción de los exceptuados de corta que estarán marcados o, en su defecto, se indicarán los criterios que le exceptúan de la misma. Hoy en día, se está tomando como una práctica frecuente la no realización de señalamientos en los aprovechamientos de reducido valor comercial.

Los señalamientos forestales: una herramienta imprescindible para mejorar nuestros bosques

Pascual A, Sabín P, Fernández A, et *al*. (2013) Los señalamientos forestales: una herramienta imprescindible para mejorar nuestros bosques. Foresta **57: 54-57.**

En el transcurso de toma de decisiones de la gestión selvícola de masas forestales, el último proceso consiste en el señalamiento, en el que se determina la cantidad y el tipo de árboles que van a permanecer en pie (y por oposición, los que se van a cortar), de manera que se introduzca una mejora del estado selvícola, se incorporen los criterios de conservación de la biodiversidad y se asegure un aprovechamiento sostenible de los bosques. Por tanto, el señalamiento consiste en **seleccionar, marcar y, en su caso, medir**, **los árboles a cortar o a preservar de acuerdo a una prescripción selvícola**...

En demasiadas ocasiones, en los señalamientos no surge la pregunta de qué es lo que estamos cortando, qué futuro tiene la masa remanente y a qué objetivo de gestión estamos respondiendo, primando en demasía la cantidad, es decir, responder a un porcentaje de volumen o de número de pies, en el mejor de los casos definido en un proyecto de ordenación o un plan dasocrático. En este sentido, tan importante es obtener un volumen de madera que permita un aprovechamiento rentable y con unos productos que sean objeto de demanda como la calidad y la cantidad de la masa remanente, que es el capital productor hasta la siguiente corta. Por tanto, el señalamiento debe tener en cuenta las características del árbol individual, entre las que destacan: (i) capacidad de producción del árbol y su vitalidad, (ii) calidad tecnológica actual y futura, (iii) valor actual y futuro, (iv) mercado de los productos que tiene, (v) valores ecológicos que alberga, (vi) capacidad de producción de semilla y (vii) situación sanitaria actual y potencial, completadas con otras cuestiones relativas a su representatividad en la masa como (a) ¿es una especie poco representada?, (b) ¿tiene unas dimensiones poco habituales?, y (c) ¿presenta alguna singularidad?. A su vez deberá responder a su interacción con los árboles vecinos, formulándonos preguntas como: (1) ¿ayuda a

una mejor conformación de árboles vecinos?, (2) ¿compite con árboles de mejor calidad tecnológica?, (3) ¿protege a otros árboles o a la masa? o (4) ¿impide el desarrollo de la regeneración? En definitiva, **el señalamiento es el proceso de mayor transcendencia en la evolución de las masas, ya que va a ser determinante en el capital productor, la biodiversidad del rodal y la rentabilidad de la gestión**...

En los últimos tiempos, y de forma generalizada, los señalamientos se han marcado objetivos cuantitativos, es decir, especifican un número determinado de árboles por hectárea, un número determinado de metros cúbicos, un área basimétrica o un índice de espaciamiento final. Normalmente, los árboles señalados se han medido con forcípula manual y se ha procedido a una cubicación mediante valores modulares. No se suele realizar la clasificación de la madera en calidades, simplemente se hacen una diferenciación por clases diamétricas. La consecuencia de ello es un elevado trabajo de posproceso para transcribir los estadillos, una cubicación de escasa calidad y una difícil valoración del aprovechamiento...

Hoy en día cada vez se tiende más a que La realización de estos señalamientos debe ejecutarse mediante el uso de una forcípula registradora, en la que además de almacenar el diámetro del árbol se debe almacenar también su altura (o al menos en una muestra de los pies señalados para ser estimada en gabinete mediante una curva altura-diámetro) y asignada la calidad tecnológica de al menos la primera troza de madera, ya que esta es trascendental para determinar la tasación de la corta y para una adecuada comunicación entre vendedores y compradores. La cubicación es recomendable realizarla mediante una ecuación de perfil (en el caso de Castilla y León se emplea cubiFOR, y en Galicia, TCCP), la cual nos permitirá determinar el volumen de los distintos productos de madera y estimar su calidad tecnológica con la precisión necesaria...

Algunas administraciones forestales han establecido unos criterios para la realización de las operaciones de señalamiento como es el caso de la aragonesa que, en su Pliego Especial, ha establecido los siguientes:

- “Con carácter general en masas naturales no se señalarán pies vivos de diámetro normal superior a 70 cm o en los que se sospeche una longevidad mayor de 200 años, por ser susceptibles de incluirse en el Catálogo de Árboles Singulares o por su propio valor para la conservación de la biodiversidad. En el caso de que se realice demarcación previa en lugar del señalamiento si el adjudicatario encontrara este tipo de pies deberá comunicarlo al Servicio Provincial correspondiente. Dichos pies podrán señalarse o cortarse si una vez evaluados se dedujera que no procede su inclusión en dicho catálogo o su conservación.

- Es importante el mantenimiento de legados biológicos de anteriores generaciones. Por ello en cortas a hecho y cortas finales del aclareo sucesivo no se señalarán o cortarán, en el caso de demarcación previa, entre 5 y 15 pies vivos por hectárea, siempre que sea posible pertenecientes a diferentes especies y de tamaños variados, no inferiores a los 20 cm de diámetro normal y pudiendo estar aislados o en grupos en función de la especie y de las condiciones ecológicas.

- No se señalarán o cortarán, en el caso de demarcación previa, pies vivos o muertos en los que se localicen nidos de aves catalogadas, incluso en el caso de que los nidos se encuentren abandonados. Igualmente se deberán dejar en pie árboles muertos que alberguen o sean susceptibles de hacerlo, pícidos, micromamíferos u otra fauna asociada a la madera muerta.

- En el borde de cauces de agua permanentes se dejará una franja de 10 m en la que únicamente se señalarán pies por motivos sanitarios. En los bordes de cauces no permanentes se dejará en pie el arbolado suficiente para la defensa de los cauces contra la erosión".

Tradicionalmente esta operación concluye con la redacción del Acta de señalamiento. En ella se hace referencia a los datos del monte y del aprovechamiento. En el caso de que la delimitación de la cosa cierta sea mediante demarcación, se indicarán los límites de esta, adjuntando un croquis de la misma. En el caso de que la delimitación de la cosa cierta sea mediante señalamiento se hará una referencia a los pies señalados, indicando la especie, la clase diamétrica y el número de pies correspondientes a cada clase. Al acta se unirán, si procede, los estados de medición y el resumen de la cubicación, por especies, así como cuantos datos se precisen para valorar y enajenar los productos. El acta será firmada por un representante de la Administración forestal y otro de la propiedad, si el monte no fuera de la misma. Una copia del acta se reservará para su entrega a quien resulte adjudicatario de la enajenación.

6.1.2. Documento de planificación de los aprovechamientos madereros

Los aprovechamientos que se realizan en los montes que gestiona la Administración forestal se deben recoger en un documento de planificación denominado Plan Anual de Aprovechamientos (PAA). Este Plan es un documento de carácter técnico-facultativo que relaciona todos los aprovechamientos forestales aprobados que van a efectuarse durante el año, bajo el criterio técnico de persistencia o sostenibilidad de los recursos forestales. El ámbito territorial de este documento es provincial.

Los aprovechamientos que figuran en el Plan tienen el carácter de ordinarios. Con carácter excepcional, las administraciones podrán aprobar aprovechamientos que no figuren en el mismo, a petición de las Entidades Locales y con una finalidad estrictamente económica; son los aprovechamientos extraordinarios. A los aprovechamientos que tampoco figuran en el PAA y se deban realizar como consecuencia de perturbaciones como, por ejemplo, incendios, plagas, vendavales, aludes, etc., se les denomina forzosos. Por último, se habla de aprovechamientos complementarios cuando se refiere a los afectados por la realización de determinadas infraestructuras públicas o a los de montes de las CC.AA. que son incluidos durante la ejecución del PAA.

En el PAA figuran los aprovechamientos establecidos en los planes especiales de los documentos de gestión elaborados para esos montes o los acordados con las entidades titulares, en el

caso de que no existan estos documentos. La administración forestal será la responsable de establecer las condiciones técnico-facultativas que han de regir para la adjudicación y ejecución de los aprovechamientos.

Algunas comunidades autónomas, como es el caso de Aragón, indican que en el Plan anual deben incluirse otras actividades realizadas en los montes catalogados que impliquen un valor de mercado o exijan el pago de una contraprestación económica, como pueden ser las concesiones de uso privativo. En el PAA de la provincia de Zaragoza para el año 2018, se consigna un ingreso de 1,8 M€ por ocupaciones y concesiones, que representa el 51% de los ingresos previstos para todos los aprovechamientos forestales.

En el PAA se consigna la información necesaria para la localización del aprovechamiento y su cuantificación en unidades comerciales y económicas. Así, la información que puede recoger hará referencia:

- Monte. Se indicará su número, pertenencia, término municipal y el lote o lotes que se van a aprovechar.

- Aprovechamiento. Se indicará el tipo de producto (maderas, leñas, caza, etc.), la cosa cierta, la unidad comercial, el número de unidades, el importe de tasación, el plazo de ejecución y la época de disfrute o la forma de liquidación. En los aprovechamientos de maderas y leñas se suele consignar la especie y en los aprovechamientos plurianuales el número de años por los que se adjudica.

La competencia de la redacción del PAA recae en la administración forestal. Para su elaboración, en los aprovechamientos que no figuren en documentos de gestión previamente aprobados, se debe tener en cuenta las necesidades económicas expresadas por las entidades propietarias y los aprovechamientos derivados de los tratamientos selvícolas en los montes por ella gestionados. La determinación del precio unitario de tasación o base de licitación se hará de común acuerdo con la entidad propietaria, partiendo de la realidad actual del mercado. Los PAA son aprobados por las CC.AA. y se da publicidad del mismo en los Boletines Oficiales respectivos.

Una de las informaciones recogidas en el PAA es la forma de liquidación del aprovechamiento. Estas son las generales aplicables en la contratación administrativa, es decir: 1) A riesgo y ventura y 2) Liquidación final.

1. A riesgo y ventura o suerte. El principio del riesgo y ventura es clásico en la contratación administrativa española e implica que el adjudicatario soporta todos los imponderables o riesgos que surjan en la ejecución del contrato a excepción de los riesgos considerados de fuerza mayor. Entre los riesgos que asume el contratista en esta modalidad se puede citar la variación de los precios unitarios de los materiales o mano de obra durante la ejecución del contrato o la variación en el número de unidades finales del mismo. La magnitud de estos riesgos, es obvio, que influirá en el beneficio económico que se estimará obtener en

la ejecución del contrato. La justificación de este principio se encuentra en la protección del interés general, al evitar a la administración los posibles perjuicios o daños económicos que pudieran surgir de la ejecución del contrato.

Su aplicación al ámbito del aprovechamiento maderero implica que entre los riesgos figura la correcta estimación del número de las unidades comerciales enajenadas. Esto supone que en los aprovechamientos que se ejecutan a riesgo y ventura el valor del aprovechamiento es fijo o cerrado desde el momento de su adjudicación, con independencia del número de unidades comerciales que finalmente resulten del mismo. Estas unidades podrían ser inferiores o superiores a las estimadas en el momento de la licitación. Se utiliza esta forma de liquidación cuando el valor económico del aprovechamiento no es elevado y, por tanto, la equivocación en la estimación de las unidades comerciales no tiene una gran trascendencia económica. No obstante, en algunos casos esta desviación puede ser considerable (10-20%). Presenta como ventaja, para la administración enajenadora, el no tener que realizar la medición de los productos que se extraen.

2. Liquidación final o a resultas. En esta modalidad, el valor del aprovechamiento se corresponde al del número final de unidades comerciales aprovechadas según el valor unitario pagado por estas en la adjudicación del aprovechamiento. Por tanto, la determinación final del importe del aprovechamiento está en función del número resultante de unidades comerciales aprovechadas. La determinación de estas unidades se realiza mediante la operación de medición de los productos. Como consecuencia de ello, en el momento de la adjudicación, tanto el precio total como las unidades comerciales tienen el carácter de provisionales. Solo tiene carácter de definitivo el precio unitario por el que se ha adjudicado el aprovechamiento. Esta modalidad debe elegirse cuando el valor de los productos es elevado y compensa el coste de las operaciones de medición de los mismos.

6.1.3. Elaboración de los Pliegos de Prescripciones Técnico-Facultativas Particulares

Aprobado el PAA, la administración forestal procederá a la elaboración de los Pliegos de Prescripciones Técnico–Facultativas Particulares (PPTFP) que regularán cada aprovechamiento que figure en el mismo. El Pliego es la ley del contrato, es decir, recoge las cláusulas o condiciones de obligado cumplimiento para todas las partes que intervienen en el mismo: el propietario o gestora del aprovechamiento y la empresa que realiza el mismo. Se puede estructurar como las normas, es decir en: libros, títulos, capítulos y artículos o cláusulas. Recoge las condiciones o prescripciones de carácter técnico-facultativo que se deben tener presentes en la ejecución del aprovechamiento y las cláusulas que regulan las relaciones entre la dirección de obra o facultativa y el adjudicatario (facultativas). Lo redacta el personal técnico (ver capítulo 13). En la redacción del Pliego de Prescripciones Técnico Facultativas Particulares habrá que tener en cuenta, en caso de que exista, lo dispuesto en los Pliegos Generales y Especiales de Prescripciones Técnico-Facultativas.

Además de los pliegos de prescripciones técnico-facultativas, las entidades públicas responsables de la adjudicación elaborarán los pliegos de cláusulas económico-administrativas que recogerán todas las prescripciones de carácter económico y administrativo que regulan el contrato.

6.2. Enajenación del aprovechamiento maderero

En esta fase merecen destacarse los siguientes aspectos: 1) Orden de enajenación, 2) Anuncio de licitación, 3) Formas y procedimientos de adjudicación, 4) Presentación de las ofertas o plicas, 5) Adjudicación, 6) Licencia de disfrute.

6.2.1. Orden de enajenación

En el caso de los Montes de Utilidad Pública, propiedad de las entidades locales municipales, la enajenación de los aprovechamientos les corresponde a las mismas. Por tanto, la Administración Forestal, una vez aprobado el PAA y los PPTFP del aprovechamiento, comunica a la entidad propietaria del monte que puede iniciar el procedimiento de enajenación de cada uno de los aprovechamientos que figuren en el PAA. A esta comunicación se le denomina orden de enajenación. Para el resto de los montes que figuran en el PAA, la enajenación del aprovechamiento le corresponde a la Administración Forestal.

6.2.2. Anuncio de licitación

Atendiendo al principio general de publicidad, que conjuntamente con el de concurrencia rige la contratación de las Administraciones públicas, se debe proceder al anuncio de cada uno de los aprovechamientos que figuran en el PAA. Este anuncio se realiza en el perfil de contratante de la administración propietaria que puede consultarse en su página web.

El anuncio de la licitación deberá recoger una información básica que haga referencia a: la entidad adjudicadora, el objeto del contrato, el plazo de ejecución, la forma de adjudicación, los precios de tasación e índice, las garantías exigidas, la clasificación del empresario si procede, el lugar y forma de obtener la documentación e información, el plazo y lugar donde presentar las ofertas, el día, hora y lugar donde se dará publicidad a las ofertas económicas presentadas y quien debe sufragar los gastos de publicidad (figura 4.5).

Entre la documentación que se debe facilitar expresamente al licitador, bien por estar disponible en un aplicativo informático o previa solicitud, son el Pliego de Cláusulas Económico-Administrativas y el Pliego de Prescripciones Técnico-Facultativas Particulares a los que deberá ajustarse el aprovechamiento.

Aprobado por acuerdo del Pleno de la Junta Vecinal de Villalafuente, el Pliego de Cláusulas para la enajenación de lote de arbolado, por procedimiento abierto y subasta, se convoca la licitación en los siguientes términos:

1. Entidad adjudicadora
a) Organismo: Junta Vecinal de Villalafuente.
b) Dependencia que tramita el expediente: Vicesecretaría Ayuntamiento Saldaña.

2. Objeto del contrato
a) Descripción del objeto: Aprovechamiento madera de chopo.
b) Plazo de ejecución: Nueve meses desde la fecha del acuerdo de adjudicación.
c) Superficie aproximada: 8,2 ha.
d) Cosa cierta: 2 161 pies de chopo (*Populus sp*) con corteza, cubicados (880 m^3)
e) Localización: Monte 'Matorro y Vargas', número 272, Monte Certificado, PEFC/14-21-00008, según plano que consta en el Pliego.
f) Modalidad de enajenación: En pie, a riesgo y ventura y a hecho.

3. Tramitación, procedimiento y forma de adjudicación
a) Tramitación: Ordinaria.
b) Procedimiento: Abierto.
e) Forma: Único criterio, mejor precio (oferta económica más ventajosa).

4. Presupuesto base de licitación
Precio base: 22 880,00 euros más IVA, al alza, impuestos excluidos.
Precio índice: 28 600,00 euros más IVA, al alza, impuestos excluidos.

5. Garantías
Provisional: 2% precio base y definitiva: 25% del importe del contrato.

6. Obtención de documentación e información
a) Entidad: Vicesecretaría del Ayuntamiento de Saldaña.
b) Domicilio: Plaza España, 1.
c) Localidad y código postal: Saldaña 34100.
d) Teléfono: 979 890 262.
e) Telefax: 979 890 879.
f) Fecha límite de obtención de documentos e información: hasta fecha límite de presentación de ofertas.

7. Presentación de las ofertas
a) Fecha límite de presentación: A las catorce horas del mes natural, contado a partir del siguiente al de la publicación de este anuncio en el BOLETIN OFICIAL DE LA PROVINCIA.
b) Documentos a presentar: Los que señalan en el Pliego de Cláusulas.
e) Lugar de presentación:
* Entidad: Ayuntamiento de Saldaña (Vicesecretaría).
* Domicilio: Plaza España, 1.
* Localidad y Código Postal: 34100-Saldaña. Palencia

8. Apertura de ofertas
a) Entidad: Junta Vecinal de Villalafuente.
b) Localidad: Saldaña.
c) Fecha: Al día siguiente del mes para presentación de ofertas, salvo que sea sábado o festivo, que se trasladará al día hábil siguiente.
d) Hora: Diecisiete horas.

9. Gastos de anuncios
A cargo del adjudicatario.
Saldaña, 12 de diciembre de 2014.- El Presidente.

Figura 4.5. Anuncio de licitación de un aprovechamiento forestal.

6.2.3. Procedimientos y formas de adjudicación

Los procedimientos de adjudicación son el conjunto de trámites legales establecidos para la selección de la empresa que debe ejecutar el contrato, en este caso, el aprovechamiento. La contratación pública se rige por los principios de igualdad, transparencia y libre competencia, con el objetivo de garantizar que la proposición seleccionada es la que presenta una mejor relación calidad-precio. Atendiendo al cumplimiento de estos objetivos, los procedimientos de adjudicación que contempla la norma de contratación pública son los siguientes (LCSP, artículos 156-187):

1. Procedimiento abierto. Cualquier empresa interesada, que cumpla con los requisitos para contratar con la administración pública, puede presentar una oferta. Es el corriente en los aprovechamientos forestales.

2. Procedimiento restringido. Cualquier empresa interesada podrá presentar una solicitud de participación en respuesta a una convocatoria de licitación realizada por la administración. No obstante, solo podrán presentar ofertas aquellas empresas que acrediten el cumplimiento de las condiciones fijadas. Recibidas por la Administración las propuestas, se analizan, preseleccionando entre 5 y 20 empresarios. A aquellos se les cursará la invitación para participar en el proceso de adjudicación, momento en el que comenzará el plazo para la presentación de sus verdaderas ofertas.

3. Procedimiento con negociación. La administración negocia con las empresas unos aspectos técnicos y económicos del contrato, debidamente recogidos en el pliego de cláusulas administrativas, para finalmente elegir de forma justificada una de ellas. Puede ser con o sin publicidad. Las circunstancias que justifican este procedimiento son cuando: "a) Resulte imprescindible que la prestación, tal y como se encuentra disponible en el mercado, sea objeto de un trabajo previo de diseño o de adaptación por parte de los licitadores, b) Cuando la prestación objeto del contrato incluya un proyecto o soluciones innovadoras, c) Cuando el contrato no pueda adjudicarse sin negociaciones previas debido a circunstancias específicas vinculadas a la naturaleza, la complejidad o la configuración jurídica o financiera de la prestación que constituya su objeto, o por los riesgos inherentes a la misma, d) Cuando el órgano de contratación no pueda establecer con la suficiente precisión las especificaciones técnicas por referencia a una norma, evaluación técnica europea, especificación técnica común o referencia técnica, en los términos establecidos en esta Ley, e) Cuando en los procedimientos abiertos o restringidos seguidos previamente solo se hubieren presentado ofertas irregulares o inaceptables". Estas circunstancias, que difícilmente concurren en la enajenación de un aprovechamiento forestal, hacen que este procedimiento no sea utilizado.

En cuanto a las formas de adjudicación, vuelve a existir cierta confusión como consecuencia de lo dispuesto en las tres normas que la regulan. Estas normas son la forestal (según lo dispuesto en la LM, en el RM y en las normas forestales de las CC.AA.), la patrimonial de las administraciones públicas (LPAP) y la de contratación (LCSP) (tabla 4.3).

Tabla 4.3. Formas de adjudicación contempladas en la legislación.

Carácter de la norma	Norma	Disposición
Forestal	Reglamento Montes de 1962	Subasta (art.267-271) Adjudicación directa (art. 272-274)
	Álava Norma Foral 11/2007, de 26 de marzo, de Montes	Subasta Concurso Adjudicación directa (art.40)
	Galicia L 7/2012, de 28 de junio, de Montes	Subasta, procedimiento negociado o enajenación directa (art.90)
Patrimonial	L 33/2003, de 3 de noviembre, del Patrimonio de las Administraciones Públicas (LPAP)	Concurso Adjudicación directa (art.107)
Contratos	Ley 9/2017, de 8 de noviembre, de Contratos del Sector Público (LCSP)	Varios criterios (concurso) Un solo criterio (subasta) (art. 131 y siguientes)

Queda claro, según la LPAP y la LCSP, que la forma de adjudicación prioritaria debería ser el concurso o la adjudicación con varios criterios, no obstante, este hecho colisiona con el RM y la tradición forestal que prioriza la subasta, la cual regula de forma detallada. El criterio a seguir, en cuanto a priorizar una u otra legislación es objeto también de debate. Para algunos autores prevalece la normativa forestal, por su carácter especial, frente a la patrimonial y la de contratos, que son de contenido más general. No obstante, independientemente de cual pueda prevalecer, la tendencia del legislador actual es clara, al priorizar como forma de adjudicación, para garantizar la oferta más ventajosa, el concurso frente a la subasta, o la utilización de varios criterios (técnicos, económicos, sociales, medioambientales, etc.) frente al único criterio de tipo económico. De forma más detallada se describen estas formas de adjudicación:

1. Concurso o adjudicación en base a varios criterios. Es la que establece la LPAP como preferente, cuando indica "los contratos para la explotación de los bienes y derechos patrimoniales se adjudicarán por concurso". En la norma castellano-leonesa se establece que se adjudicarán por concurso los aprovechamientos donde:" i) No sea posible la fijación de un presupuesto definitivo, ii) Las prescripciones técnicas o facultativas no hayan podido ser establecidas previamente por la Administración y deban ser propuestas para su autorización por los licitadores y iii) La Administración facilita materiales o medios auxiliares para su ejecución y cuya buena utilización exige de garantías especiales por parte de los contratistas (O 22.2.1990)".

2. Subasta o adjudicación en base a un único criterio. Esta forma de adjudicación es la que se ha utilizado mayoritariamente en la adjudicación de los aprovechamientos forestales y está ampliamente regulada en el RM de 1962. Esta forma de adjudicación no está contemplada en la LPAP para la explotación de los bienes y derechos patrimoniales. Las subastas pueden ser a la baja o al alza. En el caso de los aprovechamientos forestales las subastas son al alza, es

decir, toda oferta debe superar el precio de tasación o base y se adjudica a la oferta económica más alta. Atendiendo a esta forma de adjudicación, el RM contempla un derecho de adquisición preferente en favor de la entidad titular, en el caso de que esta fuera una entidad local. Es el derecho de tanteo, por el cual la entidad propietaria se puede quedar con el aprovechamiento, siempre y cuando la oferta económica no superase un precio índice. La competencia para la determinación del precio índice, según el RM, recae tanto en la administración forestal como en la local. En este sentido, desde 1963, se tiene constancia de varias resoluciones conjuntas de las Direcciones Generales de Administración Local y de Montes para la determinación del precio índice para los aprovechamientos. La última disposición de la que se tienen constancia es de 1981 (R 19.2.1981) y no altera los valores establecidos en 1963, en la que se indicaba que el precio índice para los aprovechamientos de maderas, leñas, mieras, espartos (*Stipa tenacissima*) y albardines (*Lygeum spartum*) se calculará mediante el incremento en un 25% el precio base de licitación. Para el resto de los aprovechamientos se establecía como precio índice el resultante de elevar en un 100% el precio base de licitación. Hoy en día se mantienen estas referencias en diferentes CC.AA., probablemente por inercia, como así lo demuestra la resolución aprobatoria del Plan Anual de aprovechamientos de Cantabria para 2017, con la única salvedad que el 25% solo es aplicable a los aprovechamientos de maderas y leñas. Para el resto de aprovechamientos será el 10%. Esta forma de adquisición preferente se justificaba cuando la entidad propietaria podía disponer de instalaciones industriales para la transformación de los productos. La adjudicación se hacía por el precio de la oferta más alta. En la actualidad, aunque en las licitaciones se explicita el precio índice no se conoce del ejercicio del derecho de tanteo por parte de la entidad propietaria.

Derecho de sexteo

En Navarra, en la legislación de Administración local de 1990 y posteriormente en el Fuero Nuevo de Navarra de 2014, hay regulado otro derecho de adquisición preferente en el caso de bienes patrimoniales o comunales que se conoce como el derecho de sexteo. Según indica el articulo 229 de la LF 6/1990 de Administración local, cuando las subastas relativas al aprovechamiento de bienes patrimoniales o comunales, o a la enajenación de aquellos, se hayan realizado por procedimiento abierto, la postura en cuyo favor haya recaído la propuesta de adjudicación podrá ser mejorada con el aumento de la sexta parte de su importe, como mínimo. El sexteo se sujetará a las siguientes normas:

a) Deberá formularse dentro de los seis días siguientes a contar desde la hora anunciada para la subasta, y terminará a la misma hora del sexto día siguiente incluyendo los festivos.

b) Podrá ser formulado por cualquier persona legalmente capacitada, aunque no haya sido licitadora en la subasta, siempre que haya constituido previamente la garantía provisional.

c) Puede formularse por escrito o verbalmente mediante comparecencia ante el Secretario, que en todo caso extenderá diligencia firmada por el interesado, consignando día y hora de la presentación.

d) Formalizado el sexteo, se celebrará nueva subasta dentro de los cuatro días hábiles siguientes al de terminación del plazo señalado para su ejercicio. La entidad local estará obligada a poner en conocimiento del licitador en cuyo favor hubiera recaído la propuesta de adjudicación que su postura ha sido mejorada en la sexta parte con indicación expresa de la fecha de la subasta definitiva.

e) Para la subasta definitiva servirá de tipo de tasación el que resulte de la mejora formulada, publicándose a este fin el anuncio correspondiente en el tablón de anuncios, señalando con dos días naturales de antelación, cuando menos, la fecha y hora en que haya de tener lugar la nueva subasta, que se celebrará en igual forma que la originaria. Si no concurren licitadores, se propondrá la adjudicación a favor del sexteante

Ayuntamiento de Ultzama subasta de aprovechamiento forestal

El Ayuntamiento de Ultzama, debidamente autorizado, saca a la venta mediante subasta pública, por el procedimiento de a pliego cerrado y con derecho a sexteo, el siguiente aprovechamiento forestal:

Lote UNICO: En el monte comunal Mortua, parajes de UXILLAGA, KOPAGAIN Y GILTZURRIÑARRI, (Rodales 22d, 38a, 39a, c, e, 40a, 42d y 43a), compuesto por 4.646 árboles de HAYA, con un volumen de 3.210,00 m3 de tronquillo/copas. Precio de licitación 48.150,00 euros más el correspondiente IVA (12%).

Las proposiciones económicas, junto con el justificante de entrega del 2% del precio de licitación en concepto de Fianza Provisional en la depositaría municipal, deberán presentarse en las dependencias del Ayuntamiento de Ultzama o bien por alguno de los cauces legales oportunos antes de las 12:00 horas del viernes día 5 de octubre de 2018.

La apertura de las ofertas económicas tendrá lugar en el Salón de Plenos del Ayuntamiento de Ultzama el mismo viernes día 5 de octubre de 2018, a las 13:00 horas. El plazo para ejercer el sexteo durará hasta las 13:30 horas del jueves día 11 de octubre de 2018.

En caso de sexteo la segunda subasta se celebrará el mismo jueves día 11 de octubre de 2018, a las 14:00 horas, en el Salón de Plenos del Ayuntamiento de Ultzama. Los Pliegos de Cláusulas Económico-Administrativas Particulares y de Condiciones Técnicas se hallan a disposición de los interesados en la Secretaría Municipal.

En el caso de que ninguna oferta haya superado el precio de tasación o no haya habido ninguna oferta la subasta se declara desierta.

3. Adjudicación directa. Esta forma de adjudicación se recoge en la LPAP, recuperando una figura que ya había desaparecido en la ley de contratación pública desde el año 1975, en el RM para el caso que la entidad local dispusiera de una instalación industrial y en el TRRL para el caso de contratos de obras, servicios y suministros. Los supuestos recogidos en

estas normas no son, por tanto, aplicables hoy día a la enajenación de los aprovechamientos forestales. La adjudicación directa implica que el aprovechamiento es adjudicado a un empresario elegido libre y justificadamente por la administración. Hay que tener en cuenta la excepcionalidad en la aplicación de esta figura, que claramente conculca el principio de concurrencia en el que se basa la contratación administrativa. Atendiendo a las circunstancias que ampara esta forma de adjudicación, según lo dispuesto en la LPAP, se puede recurrir a la adjudicación directa "por las peculiaridades del bien, la limitación de la demanda, la urgencia resultante de acontecimientos imprevisibles o la singularidad de la operación".

En la norma castellano-leonesa se establece que se adjudicarán directamente los aprovechamientos donde: "1) No sea posible promover concurrencia en la oferta o en aquellos que por circunstancias excepcionales no convenga promoverla, 2) Haya una reconocida urgencia, surgida como consecuencia de necesidades apremiantes que demanden una pronta ejecución convenientemente justificada, 3) El presupuesto sea inferior a 6 000 € y 4) No se hayan presentado licitadores o por que las proposiciones presentadas no se hayan declarado admisibles (O 22.2.1990)".

Los contratos menores (< 40 000 € contratos de obras y < 15 000 € en contratos de servicios o suministro según la LCSP) se podrán adjudicar directamente a una empresa.

6.2.4. Presentación de las ofertas o plicas

Cada empresario o licitador presentará una sola oferta por cada uno de los lotes que se enajenen. La forma de presentación de estas propuestas y la documentación a presentar normalmente se recoge en el Pliego de Cláusulas Económico-Administrativas (PCEA) redactados por las entidades públicas que realizan la enajenación.

Para los aprovechamientos donde la forma de adjudicación es la subasta normalmente los PCEA indican que deben presentarse dos sobres:

- Sobre 1 o A: documentación. En este sobre se deberá presentar, según así se establezca en el PCEA, la documentación acreditativa de que la empresa tiene capacidad de obrar, dispone de solvencia financiera y económica, que está al corriente de sus obligaciones tributarias y con la Seguridad Social, etc.

- Sobre 2 o B: proposición económica. Generalmente consiste en completar el modelo establecido en el Pliego indicando la propuesta económica que se realiza.

En estos casos, la presentación de las ofertas se realiza en sobre cerrado durante el plazo de tiempo establecido para ello y ante la entidad responsable de la adjudicación. En los aprovechamientos donde la forma de enajenación es el concurso, además de los dos sobres anteriores,

el licitador deberá presentar un tercer sobre con la proposición técnica o mejoras técnicas que propone realizar.

En Cataluña, la presentación de las ofertas en los montes que gestiona la Generalitat de Catalunya se realiza en un acto público y la oferta de cada empresario se materializa en un talonario (figura 4.6).

Figura 4.6. Talonarios para las subastas promovidas por la Generalitat de Catalunya en montes de Utilidad Pública o en montes propios.

Es potestad de las entidades públicas, que van a enajenar el aprovechamiento, establecer el ingreso de una fianza o garantía provisional a los licitadores que van a concurrir. Su finalidad es servir de garantía de la oferta que presentan las empresas hasta que se resuelve la adjudicación. El importe de esta fianza, según la LCSP de 2017, no puede exceder del 3% del precio de tasación o licitación. Esta fianza se devuelve a todos los licitadores cuando se realiza la adjudicación del mismo a excepción del licitador que haya resultado adjudicatario del aprovechamiento.

Prácticas habituales de los maderistas en las subastas

En los aprovechamientos de maderas en España, en ocasiones puede ocurrir, que los maderistas que se presentan a las subastas negocien entre ellos antes de la finalización del plazo de presentación de las ofertas. El objeto de esta negociación es no competir entre ellos elevando el precio de la subasta. Si en la negociación se llega a un acuerdo uno de los maderistas será el que se quede con el lote pujando con un precio ligeramente superior al de tasación. Los otros maderistas o no presentarán oferta o serán más bajas de la del anterior. Esta negociación se suele realizar el último día del plazo de presentación de ofertas en la proximidades de la entidad licitadora. En ocasiones, si entienden que el precio de tasación es demasiado elevado, acuerdan dejar desierta la subasta para forzar a la entidad titular a bajar el precio.

6.2.5 Adjudicación

Presentadas las ofertas por los diferentes empresarios o licitadores la mesa de contratación de la entidad adjudicadora procederá a estudiarlas y realizará la propuesta de resolución al órgano

de contratación. En el caso de las entidades locales, el órgano de contratación corresponde al Alcalde-Presidente de la Corporación o al pleno del Ayuntamiento, según la cuantía del mismo. En el caso de las CC.AA. a la Consejería competente de la materia, que será quien resuelva la adjudicación.

En la resolución de la adjudicación se deberá indicar de forma motivada las razones que justifican la adjudicación del aprovechamiento al empresario en cuestión, así como las valoraciones que han obtenido el resto de los licitadores. En caso de que alguno de ellos hubiera quedado excluido de la misma, se deberán indicar las razones que lo justifican. En el caso de que no haya habido ninguna oferta o no se haya superado el precio de tasación, la resolución del procedimiento de adjudicación se declara desierta. Resuelta la adjudicación se procede su notificación al interesado, se devuelve la fianza provisional al resto de licitadores y se procede a su publicación en el Boletín Oficial de la Entidad adjudicadora (figura 4.7).

Entidad Adjudicadora: Ayuntamiento de Buniel
a) Órgano de contratación: Alcaldía.
b) Dependencia que tramita el expediente: Secretaría-Intervención c) Obtención de documentación e información:
Dependencia: Secretaría- Intervención Domicilio: Plaza Santa María, 1 Localidad y código postal: Buniel 09230 Teléfono: 947 41 20 08 Fax: 947 41 22 82
Correo electrónico: ayto.buniel@telefonica.net
Dirección Internet del Perfil de Contratante: www.buniel.es
d) Número de expediente: PATRIM01/13.
Objeto: Aprovechamientos forestales siguientes:
Lote único
Localización: Parcela 5370 del Polígono 501 Número de pies: 507
Especie: chopo canadiense
Clon: I-214
Marco aproximado: 5*5 m
Tipo de licitación: 24.388,75 euros.
Adjudicación:
Fecha: 31 de mayo de 2013
Adjudicatario: MADERAS ANADÓN, S.A.
Importe de adjudicación: veinticinco mil cuatrocientos ochenta y ocho con setenta y cinco euros mas IVA (25.488,75 euros + IVA).
En Buniel, a 31 de mayo de 2013.- El Alcalde,

Figura 4.7. Anuncio de adjudicación de un aprovechamiento de maderas.

6.2.6. La licencia de disfrute

La licencia de disfrute es el documento que acredita, al titular de la misma, el derecho para la ejecución del aprovechamiento, siempre con sujeción a lo establecido en los pliegos de cláu-

sulas o prescripciones económico-administrativas y técnico-facultativas. Son expedidas por la administración forestal. El término licencia de disfrute y no de corta, es porque hace referencia a todos los tipos de productos forestales, no solo los madereros. Por tanto, solo se otorga en aquellos montes donde la administración forestal tiene la gestión de todos esos productos.

La licencia de disfrute, en los montes gestionados por la administración pública, constituye el título habilitante que exige la LPAP para el ejercicio del aprovechamiento de bienes de carácter demanial o patrimonial. Una vez recibida la notificación de la adjudicación del aprovechamiento, el adjudicatario tiene un plazo establecido en la normativa para expedir su licencia, para lo cual deberá acreditar, por regla general:

1. Ingreso de las obligaciones económicas a la entidad propietaria, según lo establecido en el PPEA. El pago de estas obligaciones, a excepción del ingreso en el fondo de mejoras, se puede cubrir por el rematante mediante la presentación de un aval bancario.

2. Pago de tasas administrativas que corresponda según lo estipulen las diferentes normas específicas de las diferentes entidades (figura 4.8). En algunas CC.AA. los aprovechamientos forestales están exentos del pago de este tipo de tasas.

3. Abono de los anuncios de licitación y adjudicación.

Aprovechamientos en montes de utilidad pública, montes de la Diputación General de Aragón y montes consorciados.
Tarifa 09. Aprovechamientos madereros.
1. Cuando la forma de liquidación es a riesgo y ventura
Cuota = 2 por 100 del importe de tasación + 0,276 euros × número de unidades en m^3.
2. Cuando la forma de liquidación es con liquidación final
Cuota = 2 por 100 del importe de tasación + 0,884 euros × número de unidades en m^3.
3. Para maderas de pequeñas dimensiones
Cuota = 1 por 100 del importe de tasación + 0,176 euros × número unidades en toneladas + 42,66 euros
(BOA 256, 31.12.2014)

Figura 4.8. Tasas administrativas de los aprovechamientos de maderas en la Comunidad Autónoma de Aragón.

4. Ingreso de la fianza o garantía definitiva. La LCSP establece como importe de la misma el 5% del importe de adjudicación, excluido el IVA. La garantía definitiva se establece para responder de la obligación de formalizar el contrato, de las penalidades a que hubiera lugar durante su realización, de la correcta ejecución del aprovechamiento, de la existencia de defectos observables durante el plazo de garantía, etc. La LCSP contempla tres formas para la constitución de la garantía:

4.a. En efectivo o en valores, que en todo caso serán de Deuda Pública.

4.b. Mediante un aval de una entidad bancaria, cajas de ahorro, cooperativas de crédito, establecimientos financieros de crédito o sociedades de garantía recíproca que estén autorizadas para operar en España.

4.c. Mediante un contrato de seguro de caución establecido con una entidad aseguradora que esté autorizada para operar en España. Los costes de estos seguros hacen exclusivamente referencia a los de la prima.

Si el monte es de Utilidad Pública, antes de la expedición de la licencia se deberá acreditar el ingreso en el Fondo de Mejoras del monte del porcentaje estipulado en la normativa. Este ingreso le corresponde hacerlo a la entidad propietaria pero es práctica habitual, para ganar tiempo para la obtención de la licencia, que este ingreso lo realice el propio rematante. Utilizando la definición recogida en la ley de montes aragonesa, el Fondo de Mejoras "constituye una cuenta que se forma por las aportaciones e ingresos que realicen las entidades locales titulares de montes catalogados procedentes de la ejecución del correspondiente plan de aprovechamientos, así como de cualquier otro rendimiento, indemnización, contraprestación económica o tasa que pudiera percibir el titular por otras actividades desarrolladas en el monte, incluidas las que resulten de las concesiones de uso privativo, ..., siendo su finalidad y destino la conservación de los montes catalogados en la forma que la ley establece". A este fondo de mejoras se destina, según lo que determinen al respecto las normativas autonómicas, al menos un 15% de todos los aprovechamientos que en el mismo se realicen, así como los rendimientos obtenidos por ocupaciones u otras actividades desarrolladas en el monte. En Guipúzcoa o en La Rioja este porcentaje asciende al 20 y 25%, respectivamente. En Galicia, este importe es muy superior según quien sea el titular del monte de utilidad pública:

- La propiedad es de una entidad local: deberá ingresar el 40% del importe de adjudicación de los aprovechamientos o de los rendimientos obtenidos por autorizaciones o concesiones, servidumbres, etc.

- La propiedad es de la Comunidad Autónoma: el ingreso es del 100% de los aprovechamientos. La comunidad autónoma de Aragón también ingresa el 100% de los aprovechamientos de los montes propios.

Este fondo es administrado por la administración forestal salvo cuando la delegue en la entidad titular del monte. Las inversiones que con cargo a este fondo se realicen deben figurar en un Plan de Mejoras establecido y aprobado para dicho monte. Siguiendo la norma aragonesa, se consideran como mejoras "los trabajos de defensa de la gestión forestal, tales como deslindes, amojonamientos, elaboración de instrumentos de gestión, reforestaciones, trabajos selvícolas o fitosanitarios, obras de ejecución y conservación de infraestructuras, creación de pastos...o aquellas obras que contribuyan a la mejora de conservación de los montes".

La licencia de disfrute debe contener una información mínima relativa al adjudicatario, al monte y al aprovechamiento, es decir:

- Datos relativos al titular de la licencia.
- Datos relativos al monte: Código del monte, propiedad, denominación y término municipal.
- Datos relativos al aprovechamiento: tipo de aprovechamiento (ordinario, extraordinario), clase de aprovechamiento, forma de liquidación (riesgo y ventura o liquidación final), cosa cierta, unidad comercial, número de unidades, duración del plazo de ejecución, fecha inicio y final de dicho plazo, fecha inicio y final del periodo de exclusión del disfrute si la hubiera, etc.

Una vez expedida la licencia de disfrute se procede a su envío al titular de misma, a la entidad propietaria del monte y a los agentes de la autoridad. Las licencias suelen tener una vigencia anual, aunque en algunas CC.AA., como en la Rioja, su vigencia es de 2 años. En el caso de aprovechamientos plurianuales como los relativos a pastos, cultivos, caza o apícolas, cada año se expide una nueva licencia, indicando en la misma el año en el que se encuentra del plazo de ejecución, 1 de 3, 2 de 3, etc.

6.3. Ejecución y control del aprovechamiento

En esta fase merecen destacarse los siguientes aspectos: 1) Entrega del aprovechamiento, 2) Ejecución del aprovechamiento y 3) Control del aprovechamiento.

6.3.1 Entrega del aprovechamiento

Una vez que el adjudicatario esté en posesión de la licencia de disfrute puede comenzar el aprovechamiento. Su ejecución se inicia con el acto formal de entrega de la zona objeto del aprovechamiento, por la que el adjudicatario se hace cargo de la superficie donde se va a realizar el mismo. Las normas suelen establecer un plazo para la realización de esta operación, que oscila alrededor de 30 días después de haber obtenido la licencia. De esta actuación se levanta un acta, el Acta de entrega. En este acta se reflejará el estado de la zona a aprovechar, de las vías de saca que habrán de utilizarse y de cualquier otra característica reseñable que pudiera sufrir daños o modificaciones durante la ejecución del aprovechamiento (edificaciones, infraestructuras eléctricas, telefónicas, viarias, etc.). Igualmente, reflejará las limitaciones ambientales impuestas por el PPTFP. El acta lo firma un representante de la empresa adjudicataria y de la administración forestal. En algunas CC.AA., como la aragonesa, la firma del acta de entrega es el momento en que se hace efectiva la licencia de disfrute.

6.3.2 Ejecución del aprovechamiento

Formalizada la entrega del aprovechamiento se procederá a la ejecución del mismo siguiendo las cláusulas establecidas en el PPTFP. Hay que tener en cuenta que las cláusulas de los pliegos de PTTFP no pueden ser modificadas con posterioridad a su aprobación, excepto en los casos de error material, de hecho o aritmético (art. 124 LCSP). En el Pliego General de 1975 se indica que las cláusulas técnicas podían modificarse por el ICONA cuando las circunstancias que concurran así lo aconsejen (índole social, fuerza mayor, circunstancias catastróficas o cuando exista un riesgo real para la conservación del propio monte). En caso de modificación el adjudicatario tendrá derecho al resarcimiento de los daños e indemnización de los perjuicios si los hubiere.

La ejecución del aprovechamiento por parte de la empresa adjudicataria se realizará en el plazo de ejecución establecido y durante la época de disfrute determinada. Los plazos de ejecución son variables según el tipo de aprovechamiento y la normativa general. El plazo de ejecución en muchas CC.AA. es de 12 meses desde el momento de la adjudicación, coincidiendo obviamente con la vigencia de la licencia de disfrute. Finalizado el plazo de ejecución el adjudicatario pierde todo derecho sobre los productos no extraídos del monte. Durante ese plazo, en algunos aprovechamientos como los madereros, se establece una época para la realización del disfrute. La fijación de esta época está justificada por las restricciones de carácter ecológico o selvícola que pudiera haber para la realización del mismo: 1) Alteración del hábitat de la fauna silvestre durante su época de cría, 2) Riesgo de incendios, 3) Riesgos fitosanitarios, como es el caso de *Pinus sylvestris* con *Ips accuminatus*, etc. (tabla 4.4).

Tabla 4.4. Época de disfrute de los aprovechamientos madereros según las CC.AA.

Riesgo	Corta	Época de disfrute	Comunidad Autónoma
Fitosanitario, incendios, Protección fauna	Coníferas	Octubre a Junio	Castilla La Mancha
Fitosanitario	*Pinus sylvestris*	Exclusión: Junio a Agosto	Aragón
		Exclusión: Abril a Agosto	Extremadura

6.3.3 Control del aprovechamiento

Entregado el aprovechamiento, los técnicos de la administración forestal podrán presentarse en el monte, tantas veces como consideren oportunas, para realizar el seguimiento de los trabajos y corregir los errores o subsanar las dudas que se estén produciendo durante la ejecución de los mismos. Según lo indicado en el PPTFP, el control se puede realizar mediante dos operaciones: 1) Contada en blanco, 2) Medición de los productos.

1. Contada en blanco. Mediante esta operación se comprobará si los árboles cortados corresponden a los entregados, el número de tocones coincide con los árboles extraídos, y si se han cumplido las condiciones técnicas de la corta (figura 4.9). Esta operación puede reali-

zarse a pie de tocón, menos frecuente en la actualidad, o en cargadero. También se pueden comprobar los daños evitables e inevitables producidos, los árboles no cortados y las vías de saca utilizadas para el desembosque. Los pies cortados que no conserven la marca o número de señalamiento se considerarán pies cortados fraudulentamente y deberán ser valorados para su correspondiente indemnización y sanción, si hubiese lugar. Esta operación puede realizarse de forma parcial, cuando se han acordado la realización de liquidaciones parciales, o al final del aprovechamiento. De esta operación se levantará un acta, el Acta de contada en blanco. En muchos aprovechamientos la realización de esta operación de control es opcional. Esta operación es muy laboriosa cuando se realiza sobre la superficie de corta por la dificultad, en ocasiones, de visualizar los tocones por la presencia de los restos de corta o el sotobosque. Así, es frecuente que no se correspondan el número de tocones cortados detectados en esta operación con los señalados.

Figura 4.9. Tocón con la marca realizada en el señalamiento (Foto: J. Pemán).

2. Medición de los productos. La realización de esta operación dependerá de la forma de liquidación establecida, es decir, dependerá si es a riesgo y ventura o con liquidación final. Si el aprovechamiento es con liquidación final, deberá procederse a la realización de la misma. Para la medición se tendrá en cuenta lo dispuesto en el PPTFP aplicándose las fórmulas y coeficientes establecidos en él. A la hora de realizar la medición hay que tener en cuenta lo dispuesto en el Pliego sobre si se consideran o no situaciones que pueden dar lugar a descuentos en su estimación. Algunos Pliegos, para que no haya duda al respecto, indican que, "a efectos de medición, no se tendrá en cuenta ni se descontará volumen o peso alguno por ninguna anomalía que pueda presentar el pie apeado, cambios de color en la madera, afecciones de plagas, enfermedades u otras causas, así como desgajamientos al realizar el apeo del árbol o debidos al secado de la madera o a tensiones de crecimiento".

La forma de realización de la medición de los productos puede ser: 1) Cubicación en estéreos de las pilas o cambras realizadas en el monte. Suele realizarse para la madera que se destina a trituración en las fábricas de papel. 2) Por peso. Normalmente se realiza mediante

la pesada del camión. En estos casos se suele indicar que el transportista deje los justificantes en un buzón que se tiene que establecer en el monte al efecto o los envíe de forma electrónica. 3) Cubicación de las trozas. Es menos frecuente y se realizaría en cargadero.

En el caso de las cubicaciones esta operación debe realizarse previamente al transporte de la madera, por tanto, se irán realizando medidas parciales a lo largo del plazo de ejecución del aprovechamiento (figura 4.10). Al finalizar el aprovechamiento se realiza la medición final y se levanta una acta. A partir de ella se realiza la liquidación del aprovechamiento.

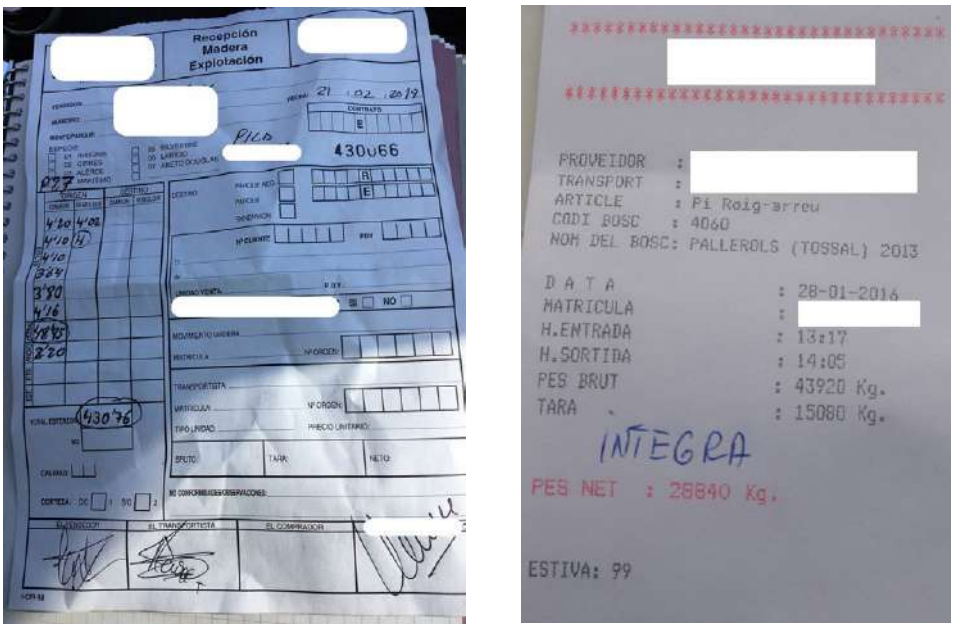


Figura 4.10. Hoja de cubicación de una pila en monte (izquierda) y de pesada de un camión (derecha) (Fotos: J. Pemán).

6.4. *Finalización del aprovechamiento*

Comunicado por el adjudicatario la finalización del aprovechamiento, se procederá a la operación de reconocimiento final. En ella se valorará el estado de las superficies de corta, los daños evitables e inevitables, el estado de las vías y en su caso las reparaciones que procediesen (figura 4.11). Se entiende por daños evitables los ocasionados por una mala ejecución de los trabajos y por inevitables los producidos en su ejecución normal. De esta operación se levantará un acta, el Acta de reconocimiento final.

Una vez realizada este acta, y reparados los daños o disconformidades si las hubiera, se procede al comienzo del plazo de garantía, si es que se especifica su existencia. Transcurrido el mismo, que normalmente se establece entre 3 y 12 meses, sin que se perciba ninguna alteración en el estado del monte, se procederá a la devolución de la fianza o garantía definitiva. El aprovechamiento se considera finalizado y la relación contractual concluida, con la devolución de la fianza.

Figura 4.11. Daños inevitables en el regenerado (izquierda) y daños evitables (derecha) (Fotos: J. Pemán).

7. Los aprovechamientos en montes de titularidad privada

En el caso de aprovechamientos en montes no gestionados por la administración forestal la realización de aprovechamientos madereros y leñosos, así como algunos no madereros, están sujetos a tutela administrativa. Con carácter general, salvo excepciones en algunas CC.AA., la existencia de un plan de gestión aprobado para el monte precisará solo de una comunicación o notificación, exigiéndose una autorización cuando este no existiera (tabla 4.5).

Tabla 4.5. Requisitos para la realización de aprovechamientos forestales en montes de titularidad privada.

Comunidad Autónoma	Requisito legal	Tipo de aprovechamiento
Andalucía	Comunicación	Montes con documento de gestión aprobado en aprovechamientos de maderas y leñas, corcho, piñas de *Pinus pinea*.
	Autorización	i)Montes sin documento de gestión en aprovechamientos de maderas, leñas, corcho, piñas de *Pinus pinea*. ii) Usos y todo tipo de aprovechamientos en áreas quemadas.
Aragón	Comunicación	i)Montes con documento de gestión aprobado en aprovechamientos de maderas y leñas ii) Plantaciones de chopos
	Autorización	Montes sin documento de gestión en aprovechamientos de maderas y leñas Se reserva la potestad de exigir señalamiento previo a la corta del arbolado
Asturias	Comunicación	Montes con documento de gestión aprobado en aprovechamientos de maderas y leñas y en aprovechamientos de carácter doméstico (< 10 m^3)
	Autorización	Montes sin documento de gestión aprobado en aprovechamientos de maderas y leñas
Castilla La Mancha	Comunicación	Montes con documento de gestión aprobado en aprovechamientos de maderas y leñas y en aprovechamiento de maderas y leñas de carácter doméstico (< 10 m^3)
	Autorización	Montes sin documento de gestión aprobado para aprovechamientos madereros y de corcho

Comunidad Autónoma	Requisito legal	Tipo de aprovechamiento
Castilla y León	Comunicación	Montes con documento de gestión aprobado en aprovechamientos de maderas y leñas
	Autorización	Montes sin documento de gestión aprobado para aprovechamientos madereros y leñosos. La administración se reserva la facultad de señalar el arbolado o demarcar la zona de corta, efectuar el reconocimiento previo y final del monte.
Cataluña	Comunicación	Montes con documento de gestión aprobado en aprovechamientos de maderas, leñas y cortezas
	Autorización	Montes sin documento de gestión aprobado para aprovechamientos madereros y de cortezas
C Valenciana	Notificación	Montes con documento de gestión aprobado
	Autorización	Montes sin documento de gestión aprobado a excepción de las leñas de coníferas que precisarán de una comunicación
Extremadura	Comunicación	Montes con documento de gestión aprobado en aprovechamientos de maderas y leñas y las podas de formación, podas de producción de fruto, de ramoneo, trasmochos, selección de brotes, resalveos, clareos, descorches, clareos, descorches, limpieza y retirada de restos de árboles derribados por efecto de fenómenos naturales, eliminación de pies secos, cortas de riesgo, podas por riesgo, podas por estorbo.
	Autorización	Montes sin documento de gestión aprobado en aprovechamientos de maderas y leñas. Por su tipología deberán someterse las siguientes actividades: Cortas de mejora, cortas de regeneración, podas, apostados o resalveos donde más del 20% de las ramas tienen un diámetro de más de 18 cm, nuevos descorches, eliminación de cepas.
Galicia	Notificación	Montes con documento de gestión aprobado en aprovechamientos de maderas, leñas El aprovechamiento de biomasa forestal procedente de superficies declaradas como cultivo energético forestal requerirá la notificación con quince días de antelación. será presentada, como mínimo, con una semana de antelación al inicio de los trabajos
	Autorización	Montes sin documento de gestión aprobado para aprovechamientos de maderas y leñas
	Comunicación	Los aprovechamientos madereros y leñosos que se produzcan en montes o terrenos forestales cuyo objeto sea para uso doméstico (< 10 m^3 al año) y no tengan aprovechamiento comercial, aquellos en zonas afectadas por expropiación, aquellos para el control y la lucha contra la plaga o enfermedad forestal. Antelación mínima de un día a su realización
Islas Baleares		Se rige por lo dispuesto en la legislación del Estado. Quedan exceptuados de cualquier autorización administrativa el aprovechamiento forestal de productos madereros y leñosos para uso doméstico es el que se realiza dentro de la explotación agraria siempre que la cantidad sea inferior a 10 m^3 de madera o de 20 estéreos de leña anuales.
Madrid	Notificación	Montes con documento de gestión aprobado. La recogida consuetudinaria de leñas, frutos, plantas, setas o residuos forestales en los montes públicos, podrá realizarse sin más requisitos que el consentimiento tácito del propietario del monte.
	Autorización	Montes sin documento de gestión aprobado para aprovechamientos de maderas y leñas
Murcia	Autorización	Aprovechamiento de las especies que figuran en el Anexo II (*Quercus coccifera, Pinus* spp., etc.)

Comunidad Autónoma	Requisito legal	Tipo de aprovechamiento
Navarra	Comunicación	Montes con documento de gestión aprobado. Para pequeños aprovechamientos, se establecerá un procedimiento simplificado de autorización, con comunicación previa y silencio positivo.
	Autorización	Montes sin documento de gestión aprobado
País Vasco		
Álava	Autorización	Todos los casos
Guipúzcoa	Autorización	Todos los casos
Vizcaya	Autorización	Todos los casos
Rioja	Notificación	Montes con documento de gestión aprobado en aprovechamientos de maderas y leñas
	Autorización	Montes sin documento de gestión aprobado en aprovechamientos de maderas y leñas

Con objeto de aclarar estos términos, conviene tener claro las diferencias entre uno y otro:

1. Autorización. Acto expreso de la administración que, en virtud de su potestad, permite a un particular el ejercicio de una actividad que está sometida a un control administrativo, regulado en las leyes sectoriales, por entenderse que su ejercicio afecta al interés general o público. Esta autorización expresa, referida a los productos madereros, es lo que se conoce normalmente como licencia de corta.

2. Comunicación o notificación. En palabras de García-Asensio (2017) es el acto por el cual "el interesado pone en conocimiento de la administración sus datos y demás requisitos exigibles para el ejercicio de un derecho o el inicio de una actividad, momento a partir del cual, con carácter general, se permite su ejercicio, sin perjuicio de las facultades de control, comprobación e inspección de la Administración". En esta figura, la Administración solo se puede pronunciar para denegarla en el plazo establecido en la norma. En la legislación autonómica se utilizan indistintamente los términos notificación o comunicación con el mismo significado a excepción de la norma gallega en donde se utilizan ambos términos, con la distinción recogida en la tabla 4.2.

La información que se suele requerir de la corta hace referencia a los datos de la superficie objeto del aprovechamiento, rodales, superficie, datos del propietario, objeto del aprovechamiento y el plan de saca, entre otros.

En algunas CC.AA. (Illes Balears, Comunitat Valenciana y Madrid) se mantiene vigente el requisito de declaración jurada que establece el RM. La declaración jurada es un documento realizado por el propietario del monte en donde refiere los datos catastrales del monte y su titularidad, estando firmada por el propietario y con la diligencia correspondiente del alcalde del municipio donde esté ubicada la misma. En cuanto a la ejecución de los aprovechamientos, la adminis-

tración forestal, según determinen las normativas de cada Comunidad Autónoma, se puede atribuir la facultad de señalamiento, demarcación, inspección y reconocimiento.

El silencio administrativo

Artículo 24. Silencio administrativo en procedimientos iniciados a solicitud del interesado (ley de Procedimiento administrativo Común L.39/2015, de 1 de octubre).

1. En los procedimientos iniciados a solicitud del interesado, sin perjuicio de la resolución que la Administración debe dictar en la forma prevista en el apartado 3 de este artículo, el vencimiento del plazo máximo sin haberse notificado resolución expresa, legitima al interesado o interesados para entenderla estimada por silencio administrativo, excepto en los supuestos en los que una norma con rango de ley o una norma de Derecho de la Unión Europea o de Derecho internacional aplicable en España establezcan lo contrario. Cuando el procedimiento tenga por objeto el acceso a actividades o su ejercicio, la ley que disponga el carácter desestimatorio del silencio deberá fundarse en la concurrencia de razones imperiosas de interés general.

El silencio tendrá efecto desestimatorio en los procedimientos relativos al ejercicio del derecho de petición, a que se refiere el artículo 29 de la Constitución, aquellos cuya estimación tuviera como consecuencia que se transfirieran al solicitante o a terceros facultades relativas al dominio público o al servicio público, impliquen el ejercicio de actividades que puedan dañar el medio ambiente y en los procedimientos de responsabilidad patrimonial de las Administraciones Públicas.

El sentido del silencio también será desestimatorio en los procedimientos de impugnación de actos y disposiciones y en los de revisión de oficio iniciados a solicitud de los interesados. No obstante, cuando el recurso de alzada se haya interpuesto contra la desestimación por silencio administrativo de una solicitud por el transcurso del plazo, se entenderá estimado el mismo si, llegado el plazo de resolución, el órgano administrativo competente no dictase y notificase resolución expresa, siempre que no se refiera a las materias enumeradas en el párrafo anterior de este apartado.

2. **La estimación por silencio administrativo tiene a todos los efectos la consideración de acto administrativo finalizador del procedimiento**. La desestimación por silencio administrativo tiene los solos efectos de permitir a los interesados la interposición del recurso administrativo o contencioso-administrativo que resulte procedente.

3. La obligación de dictar resolución expresa a que se refiere el apartado primero del artículo 21 se sujetará al siguiente régimen:

a) En los casos de estimación por silencio administrativo, la resolución expresa posterior a la producción del acto sólo podrá dictarse de ser confirmatoria del mismo.

b) En los casos de desestimación por silencio administrativo, la resolución expresa posterior al vencimiento del plazo se adoptará por la Administración sin vinculación alguna al sentido del silencio.

4. **Los actos administrativos producidos por silencio administrativo se podrán hacer valer tanto ante la Administración como ante cualquier persona física o jurídica, pública o privada**. Los mismos producen efectos desde el vencimiento del plazo máximo en el que debe dictarse y notificarse la resolución expresa sin que la misma se haya expedido, y su existencia puede ser acreditada por cualquier medio de prueba admitido en Derecho, incluido el certificado acreditativo del silencio producido. Este certificado se expedirá de oficio por el órgano competente para resolver en el plazo de quince días desde que expire el plazo máximo para resolver el procedimiento. Sin perjuicio de lo anterior, el interesado podrá pedirlo en cualquier momento, computándose el plazo indicado anteriormente desde el día siguiente a aquél en que la petición tuviese entrada.

La normativa forestal de las diferentes CC.AA. establece diferentes plazos y tipos de silencio para los casos de autorización y notificación (tabla).

Tabla. Plazo de resolución recogido en la norma forestal para la solicitud de corta de particulares y tipo de silencio administrativo ([1]Tipo de silencio: Positivo (+): cuando estima la solicitud; Negativo (-) cuando desestima la solicitud).

Comunidad Autónoma	Plazo para resolver solicitud del interesado	Tipo de silencio[1]
Andalucía	20 días	Notificación (+) Autorización (-)
Asturias	15 días	Positivo
	2 días	Aprovechamientos domésticos
Aragón	3 meses	Negativo
Castilla la Mancha	2 meses	Notificación (+) Autorización (-)
Castilla y León	2 a 3 meses	Positivo
Cataluña	1 a 3 meses	Positivo
C. Valenciana	2 a 5 meses	Notificación (+) Autorización (-)
Extremadura	15 días	Positivo
Galicia	15 a 30 días	Positivo
Madrid	1,5 meses	Notificación (+) Autorización (-)
Navarra	1 a 2 meses	Notificación (+) Autorización (-)
Guipúzcoa	2 meses	
Vizcaya	- 20 días (para las especies *Pinus radiata*, *Pinus pinaster*, *Pinus nigra*, *Robinia pseudoacacia*, *Pseudotsuga menziesii*, *Quercus rubra*, *Liriondendron tulipifera*, *Eucaliptus* spp., *Populus* spp., *Chamaceyparis* spp., *Picea* spp., *Larix spp.*) - 60 días para el resto	Positivo
La Rioja	15 días (si lleva informe Guarda Forestal) 30 días (si no lleva informe)	Chopos, cerezos y nogales (+)
	15 días	Notificación (+)

8. Los aprovechamientos en las zonas de servidumbre y policía de dominio público y en Espacios Naturales Protegidos

Un caso singular en la realización de los aprovechamientos forestales es cuando estos afectan a zonas de servidumbre y policía de dominio público, como por ejemplo los cauces de los ríos y los Espacios Naturales Protegidos (ENP). Con carácter general, los aprovechamientos en estos espacios estarán regulados, además de por la legislación forestal, por las normas reguladoras de los usos y aprovechamientos de esos espacios.

En ocasiones, en algunas normas dictadas por las CC.AA., se recoge la no necesaria aprobación de las administraciones gestoras de dichos espacios cuando el aprovechamiento está sujeto a un plan de gestión informado favorablemente o autorizado por ellas mismas.

9. Activación de la gestión forestal por objetivos y valorización de los productos con criterios medioambientales y dentro de la estrategia de bioeconomía circular de la Generalitat de Catalunya

Los objetivos principales son los siguientes:

- Promover la gestión activa de los terrenos forestales y la mejora de la accesibilidad a los mismos como una necesidad para potenciar sus funciones socioeconómicas y ambientales y fomentar la conservación de la biodiversidad (prevención de riesgos naturales, por ejemplo, los incendios forestales).

- Apoyar a la propiedad y la industria forestales como principales agentes del sector económico, buscando fórmulas de organización de la oferta y la demanda (asociacionismo, cooperativismo) como una fórmula de sostenibilidad económica.

Estos objetivos conllevan que se plantee, como uno de los ejes estratégicos, la dinamización del sector forestal y la creación de ocupación. Este eje se justifica porque la valorización de los recursos forestales obtenidos de los bosques catalanes como resultado de una correcta gestión permite el mantenimiento de un sector económico estratégico para el territorio y, garantizar la persistencia de los bosques respecto a determinados riesgos naturales, como los incendios forestales. La mejora tecnológica de los aprovechamientos madereros y del mercado, y el valor añadido de los productos forestales, debe garantizar una correcta gestión de las masas, la generación de puestos de trabajo en zonas rurales y la estabilidad del sector. Algunos de los retos estratégicos son la gestión asociada de los aprovechamientos madereros, la tecnificación de los trabajos forestales, la selección del producto y el uso industrial y la innovación tecnológica del producto final, la mejora de la accesibilidad a las zonas forestales. En esta línea, desde el año 2014, la Generalitat de Catalunya viene cambiando su modelo de gestión de los montes de su titularidad pasando de tener criterios estrictamente económicos a modelos más ambientales y sociales. Los productos obtenidos se venden directamente a la industria en lotes, sustituyendo

el modelo de la venta de la madera en pie. Este nuevo modelo asume la realización de la gestión del aprovechamiento íntegramente. Su aplicación está inspirado en el que se venía aplicando en la Mancomunitat de Municipis Berguedans per a la Biomassa. Tal y como se ha indicado anteriormente, es un sistema de gestión forestal en el que la gestión del recurso maderero se realiza de forma directa por la administración como medida para alcanzar los objetivos de gestión forestal. Se basa en el principio que un árbol en pie son existencias biológicas que tienen una función ambiental, ecológica y social, y cuando es cortado por una decisión selvícola, pasa a ser un producto que se debe valorizar al máximo para obtener el mayor beneficio económico y ambiental por retención de carbono posible. Este modelo tiene como elementos característicos los siguientes:

1. Objetivos. Se pueden destacar los siguientes:

- Aplicar el modelo selvícola que precisa cada unidad de gestión predeterminada en función del objetivo asignado en la ordenación.

- Controlar y gestionar la realización de los trabajos forestales desde la planificación y la ejecución hasta la puesta de la madera en la industria. Para su ejecución se contratan empresarios locales lo que conlleva el mantenimiento de un tejido empresarial arraigado en el territorio.

- Vender por productos, con el objetivo de aumentar su valor añadido en términos monetarios y ambientales. En las subastas se venden, por tanto, lotes de productos clasificados y homogéneos y no lotes de madera que pueden ser desde madera en rollo hasta madera aserrada de mayor valor añadido.

- Mantener el tejido industrial de primera transformación, mediante el suministro de los productos que precisan.

2. El modelo de gestión. Presenta como características relevantes las siguientes:

- Previo a la determinación de los productos, se planifica la actuación según el objetivo establecido en la ordenación, y en función del balance de CO_2 de la actuación.

- Para cada rodal se determina el CO_2 de referencia, y el balance de CO_2 de la actuación, que estará determinado por la estimación del destino de los lotes y por la emisión de carbono de la ejecución de los trabajos. Desde este momento, el balance de CO_2, determina la actuación en intensidad, temporalidad y calidad y no criterios económicos.

- Con el resultado previsto se estima la capacidad de fijación de carbono del bosque resultante. El balance debe ser positivo, con excepción de aquellas actuaciones que requieran una intervención fuerte por su objetivo (prevención de incendios y conversión a sistemas de pastos), pero que en todo caso se tendrá que equilibrar con el conjunto de otras actuaciones. Se pasa de hablar de existencias maderables a existencias biológicas.

- Todos los aprovechamientos están precedidos de un señalamiento, aunque no es preciso que este se realice antes de la enajenación, al no venderse la madera en pie si no por productos.

- Los lotes de productos responden a una tipología concreta de producto (tabla 4.6).

Tabla 4.6. Lotes de productos procedentes de montes propios de la Generalitat de Catalunya licitados en la subasta de 2016.

Lote	Unidades (t)	Precio licitación (€ t^{-1})	Características del lote
1	1 500	56	Madera de sierra. Madera cortada a medida, con una longitud mínima de la anchura del camión, según necesidades de la industria con un diámetro con corteza en punta gruesa superior a 30 cm y un diámetro con corteza en punta delgada de superior a 30 cm, en patio dentro de la comarca, en función de las especies.
2	1 000	56	Madera de sierra. Madera larga, mínimo de 4 metros de longitud con punta delgada con corteza mínima de 20 cm, en patio dentro de la comarca, en función de las especies.
3	8 850	54	Madera de sierra. Madera cortada a medida, con una longitud mínima de la anchura del camión, según necesidades de la industria con un diámetro con corteza en punta gruesa inferior a 30 cm y un diámetro con corteza en punta delgada de superior a 14 cm, en patio dentro de la comarca, en función de las especies.
5B	18 600	52	Madera de sierra. Madera larga, mínimo de 6 metros de longitud con punta delgada con corteza mínima de 8 cm y punta gorda con corteza entre 25 cm y 35 cm inclusive, en patio dentro de la comarca, en función de las especies.
6A	2 000	52	Puntales (cualquier especie), con una longitud mínima de 6 metros, el diámetro en punta delgada de 6 cm. El diámetro en punta gruesa de 16 cm. Con índice de conicidad 1, en patio dentro de la comarca.
6B	2 000	52	Puntales (*Pinus sylvestris* o *P. nigra*), con una longitud mínima de 4 metros, el diámetro en punta delgada de 8 cm. El diámetro en punta gorda de 16-17 cm. Con índice de conicidad 1, en patio dentro de la comarca.
7	3 000	65	Postes de 8, 9 y 10 metros de longitud, rectos (siempre con un margen de 15 ó 20 cm). Diámetro en punta gruesa sin corteza entre 20 y 24 cm. El diámetro mínimo en punta delgada sin corteza 12 cm. Palos de 12 metros de largo (excepcionalmente también de 11 m), diámetro sin corteza en punta gruesa entre 28 y 34 cm y 16 cm de diámetro en punta delgada sin corteza, no hay diámetro máximo en punta.

- Los lotes de productos se obtiene de los diferentes montes donde se realizan las actuaciones. No hay una correspondencia única, por tanto, entre un tipo de producto y un monte. No se necesita obtener una cantidad determinada de madera de cada monte, ya que el lote de productos proviene de todos los montes de Cataluña, lo que permite no condicionar la actuación selvícola al volumen de madera vendido.

- La administración contrata a unas empresas para la ejecución de los trabajos a través de la licitación dinámica prevista en la LCSP. Es la administración quien distribuye a las em-

presas por los diferentes montes donde actúa, planificando las diferentes actuaciones para que las empresas dispongan de trabajo durante todo el año. En el caso de inversiones donde se obtiene madera los concursos se rigen por la LCSP.

- A las empresas se les paga mediante un sistema de tarifas. Estas tarifas son las elaboradas por la Mancomunitat de Municipis Berguedans per a la Biomassa (tabla 4.7). El sistema de tarifas es función del producto que se obtiene (puntales, biomasa, resto) y del sistema de desembosque (mecanizado o tracción a sangre), con el objetivo de fomentar o dirigir ambos. Las tarifas no expresan, por tanto, el coste real de los trabajos si no el valor del producto final entregado en fábrica (es un sistema transparente). En el caso de las inversiones, o de subvenciones, a la empresa se le paga la parte de la elaboración no contemplada en la inversión o la ayuda.

- El transporte se contrata también a otra empresa, que debe ser independiente de la empresa que realiza los trabajos y de la industria de destino. Entre sus funciones está supervisar la clasificación de productos realizada por la empresa que ha realizado el apeo y desembosque para garantizar que el producto que transporta a la industria reúna las características exigidas.

- Con el objetivo de poder gestionar los montes que se encuentran distantes de las industrias de destino se ha acordado con las mismas un incremento del precio según la distancia del monte a la industria (tabla 4.8).

Tabla 4.7. Tarifas de la Mancomunidad de Municipios del Berguedà para la Biomasa (Mancomunitat de municipis Berguedans per a la biomassa 2015).

Operación	Características	Importe (€ t^{-1})
Apeo y desrame	Cualquier destino excepto para puntales y biomasa	9
	Destino puntales	12
	Destino biomasa	6
Apeo y desramado manual con desembosque mecanizado. Tratamiento de restos.	Selección de árboles rectos con 12 cm en punta delgada y 20-24 cm en coz. Longitud entre 8 y 10 m	25
	Selección de árboles rectos entre 11 y 12 m de longitud y 16, 28 y 34 cm de diámetro en la base	
	Selección de árboles rectos con 8 cm en punta delgada y 25-35 cm en coz. Longitud > 6 m	21
	Selección de árboles rectos con 8 cm en punta delgada y 20-25 cm en coz. Longitud > 6 m	20
	Trozas rectas con 14 cm en punta delgada y hasta 30 cm, de longitudes variables	24
	Selección de árboles rectos con 6 cm en punta delgada y 20 en coz con longitud según demanda. Índice de conicidad 1	28
	Árboles torcidos o con otros defectos, aptos para biomasa	16

Apeo y desramado manual con desembosque con tracción a sangre o cable aéreo y tratamiento de restos.	Selección de árboles rectos con 12 cm en punta delgada y 20-24 cm en coz. Longitud entre 8 y 10 m	27,5
	Selección de árboles rectos entre 11 y 12 m de longitud y 16, 28 y 34 cm de diámetro en coz	
	Selección de árboles rectos con 8 cm en punta delgada y 25-35 cm en punta gruesa. Longitud > 6 m	23,5
	Selección de árboles rectos con 8 cm en punta delgada y 20-25 cm en punta gruesa. Longitud > 6 m	22,5
	Trozas rectas con 14 cm en punta delgada y hasta 30 cm, de longitudes variables	26,5
	Selección de árboles rectos con 6 cm en punta delgada y 20 en coz con longitud según demanda. Índice de conicidad 1	30,5
	Árboles torcidos o con otros defectos, aptos para biomasa	18,5
Desembosque mecanizado de madera de cualquier medida y clasificación	Cualquier destino excepto para puntales y biomasa	12
	Destino puntales	16
	Destino biomasa	10
Desembosque con tracción a sangre o cable aéreo de madera de cualquier medida y clasificación	Cualquier destino excepto para puntales y biomasa	14,5
	Destino puntales	18,5
	Destino biomasa	12,5
Transporte de madera, excepto biomasa	Carga y descarga de madera de cualquier tipo, excepto biomasa	5,35
	Transporte por viales con la consideración de carreteras secundarias (Pistas forestales de tierra o asfaltadas), sin consideración de carreteras (Ida y vuelta) (€ t^{-1} km^{-1})	0,11

Tabla 4.8. Incremento del coste unitario del transporte según la distancia del monte a la industria.

Distancia monte-industria (km)	Incremento coste (€ t^{-1})
0 a 50	0
50 a 100	1
100 a 150	3,5
150 a 200	6
200 a 250	10
300	15
>300	15 + 10 cada 50 km

- El pago de los trabajos a la empresa y al transportista se efectúa una vez que lo realiza la industria, por lo que, si esta rechaza alguno de los lotes, eso repercute en la empresa y en el transportista. Esto lleva implícito que la industria, el transportista y la empresa se controlan mutuamente.

- Con el desarrollo de este modelo la administración se convierte, por tanto, en un proveedor estable de la industria, lo que la supone disponer de una capacidad de negociación con la misma para fijar los precios de compra. También permite un conocimiento mayor del sector al estar operando directamente en él como propietario.

- Existe una dirección técnica y una dirección ambiental de todos los trabajos para asegurar la correcta ejecución y que el resultado responde a los objetivos.

- En todo el proceso participa la empresa pública Forestal Catalana SA (FCSA), que da el soporte necesario para que el sistema tenga un funcionamiento ágil en la contratación y los pagos a empresas, así como soporte técnico y legal.

3. La enajenación de los productos. Se realiza mediante subasta y está caracterizada por:

- Realizarse de una forma agrupada con los aprovechamientos de: i) La Mancomunitat de Municipis Berguedans per a la Biomassa, ii) Los montes de Utilidad Pública propiedad de las entidades locales que han suscrito un convenio de gestión mutua con la Generalitat y iii) Los montes de la Generalitat (figura 4.12).

Figura 4.12. Portada del documento que recoge los aprovechamientos madereros del año 2016 de los montes propiedad de la Generalitat de Catalunya y gestionados por ella que se sometieron a subasta en Solsona el 21 de junio de 2016 (izquierda) y momento de la subasta de uno de los aprovechamientos en el que un licitador, con la mano levantada, hace llegar su oferta a un miembro de la organización (derecha) (Foto: J. Pemán).

Subasta de aprovechamientos madereros

- Se pueden realizar varias subastas al año. Una de ellas se intenta que sea presencial dónde se subasta madera en pie de ayuntamientos y lotes de la Mancomunitat de Municipis Berguedans per a la Biomassa y de la Generalitat. El orden de subasta es en primer lugar las subastas en pie, a continuación, los lotes de la Mancomunitat y por último los lotes de la Generalitat. Los ayuntamientos que así lo desean pueden licitar por lotes, que se añaden a los de la Generalitat. El resto de subastas se desarrollan de forma telemática y se subasta madera que ha quedado desierta anteriormente, o subastas en pie o lotes que por motivos diversos no han sido subastados anteriormente. La madera y trabajos aprobada en el Plan de Aprovechamientos y Mejoras de un año no va a una sola subasta, sino que la administración propietaria tiene potestad para decidir en qué subasta se

licita. Este sistema permite que a una entidad local no se le acumulen varias subastas por licitar, o que la Generalitat adecue las licitaciones de lotes a su capacidad de trabajo y suministro.

- Las subastas son al alza y las empresas tienen 25 segundos para realizar las ofertas de cada lote. Las ofertas se realizan rellenando un talonario. Cada empresa solo puede realizar una oferta por aprovechamiento.

Ejercicios

Del anuncio de aprovechamientos forestales a subastar por la Comunidad de Villa y Tierra de Segovia, en el año 2007, de 8 lotes de aprovechamientos madereros de Pinus sylvestris en los Montes de Cotera de León y Agregados (El Espinar, Segovia) y de Peguerinos (Ávila), determine y conteste las siguientes preguntas:

i) Cuál es la cosa cierta de los aprovechamientos de cada uno de los lotes?, ii) Volumen medio unitario de los pies a enajenar en cada lote, iii) Precio unitario de cada lote, iv) Porcentaje de incremento que supone el valor del precio índice frente al de tasación, v) ¿Que implicaría que las ofertas económicas estuvieran por debajo del precio de tasación?, vi) ¿Qué implicaría que las ofertas económicas estuvieran entre el precio índice y el de tasación?, vii) ¿Que implicaría que las ofertas económicas superaran el precio índice?

Tabla. Características de lotes a enajenar por la Comunidad de Villa y Tierra de Segovia, en el año 2007.

Lote	Número árboles	Volumen con corteza (m^3 c.c)	Rodal	Precio tasación (€)	Precio índice (€)
1	1 213	1 213,52	21	72 909,20	91 136,50
2	4 749	1 022,36	20	41 839,60	52 299,50
3	777	1 129,71	3	56 527,50	70 659,38
4	837	572,59	2	27 752,32	34 690,40
5	763	791,92	15	28 575,26	35 719,08
6	600	480	32	11 040	13 800
7	650	415	38	8 300	10 375
8	295	85		1 530,50	1 912,50

10. Bibliografía

García-Asensio J (2017) Análisis jurídico de los aprovechamientos forestales. Atelier, Barcelona.

Genelitat Catalunya (2014) Pla general de política forestal de catalunya 2014 - 2024. Barcelona

Gete-Alonso y Cabrera C, Del Pozo P, Bosch E, Solé J (2012) División de la Comunidad de Bienes. Atelier, Barcelona.

Junta Consultiva de Contratación Administrativa (2013) Informe 20/2013, de 25 de septiembre,sobre la enajenación por una Entidad local de aprovechamientos forestales en montes catalogados de utilidad publica de su propiedad, régimen jurídico y procedimientos de adjudicación aplicables.

Mancomunitat de municipis Berguedans per a la biomassa (2015) Tarifas 2015. 10.

Pascual A, Sabín P, Fernández A, et al. (2013) Los señalamientos forestales: una herramienta imprescindible para mejorar nuestros bosques. Foresta 57:54-57.

Bases técnicas de las operaciones de extracción y transporte de los productos madereros

Capítulo 5

Condicionantes de los aprovechamientos madereros

Jesús Pemán García, Marcos Barrio Anta

1. Introducción

En todo proyecto las soluciones técnicas a adoptar dependen de unos factores propios del medio, donde va a desarrollarse la actuación, que limitan o condicionan la viabilidad técnica, económica o ambiental de la solución elegida. Entre estos factores, en los trabajos realizados en el ámbito forestal, se deben tener también presentes los sociales.

Aunque la lista de condicionantes puede ser muy elevada, y variar de un monte a otro, conviene que a la hora de diseñar y elegir las soluciones técnicas se reflexione y se caracterice, si se consideran relevantes, los siguientes condicionantes:

- Legales. Se deberá reflexionar y describir los posibles condicionantes legales que puedan imponer las normas sectoriales o los documentos de planificación existentes a la elección de alguna de las alternativas técnicas de las diferentes operaciones. Asimismo, se deberán describir con detalle las características referentes a la titularidad del monte, sus límites y servidumbres.

- Naturales. Se deberá reflexionar y describir, si se consideran relevantes, los factores físicos y bióticos que pueden influir en las decisiones del proyecto, es decir: el clima, la fisiografía, el suelo, la vegetación, la fauna, y los riesgos que se pueden producir en el medio. En este aspecto es especialmente relevante en los montes de invierno la existencia o no de bolsones de *Thaumetopoea pityocampa* por los problemas de alergias que puede ocasionar entre los trabajadores.

- Selvícolas. Se deberá reflexionar y describir, si se consideran relevantes, las características del modelo selvícola a aplicar: tipo de corta, intensidad de la corta, características de la masa forestal, estado sanitario, etc.

- Infraestructuras. Se deberá reflexionar y describir la red de infraestructuras existentes, así como las limitaciones que la misma plantea a la ejecución de las diferentes operaciones del proyecto.

- Económicos. Será necesario reflexionar y describir los tipos de productos que se pueden extraer del monte y la demanda que existe de ellos por la industria.

- Sociales. Será necesario describir el tipo de mano de obra disponible, su formación y la percepción social de lo que significa un aprovechamiento forestal, dado que pueden ser unos condicionantes muy relevantes a la hora de elegir la alternativa técnica más óptima.

2. Condicionantes legales

La titularidad, la estructura de las propiedades y las características de los propietarios forestales pueden influir de manera importante en los aprovechamientos madereros, llegando a condicionar su viabilidad y por tanto su ejecución.

2.1. Titularidad del monte

Atendiendo a su titularidad, los montes españoles se pueden clasificar en:

- **Públicos**: pertenecientes al Estado, Comunidades Autónomas, Diputaciones Provinciales, Ayuntamientos y Organismos o Empresas Públicas.

- **Privados**: propietarios individuales, Comunidad de Propietarios proindiviso, comunidades vecinales.

La titularidad del monte y/o la existencia de convenios o consorcios suscritos con la Administración Forestal condicionan la ejecución de los aprovechamientos forestales, desde de forma de enajenación de la madera, hasta las limitaciones al uso de determinados equipos o procedimientos.

La titularidad de los terrenos forestales arbolados en España está en su mayoría en manos privadas, representando esta un 71% de la superficie forestal del País (tabla 5.1). El 29% de la superficie restante es de titularidad pública, distribuyéndose esta entre las distintas administraciones, con un claro predominio de la Administración Local (excepción de Islas Baleares, Andalucía y Comunidad de Madrid), cuyas potestades de gestión son en la actualidad prácticamente nulas, al ser sus montes gestionados por las Comunidades Autónomas. No obstante, los porcentajes de titularidad de los montes arbolados varía bastante según la región, existiendo dos Comunidades donde la titularidad pública es claramente dominante (La Rioja con un 81%, Navarra con un 73% y Cantabria con un 66%) y en el otro extremo se sitúan otras tres comunidades donde la titularidad privada es la que prácticamente domina todo el territorio (Galicia con un 99% de titularidad privada, Islas Baleares con un 96% y Extremadura con un 92%) (tabla 5.1).

La titularidad del monte objeto de aprovechamiento maderero condiciona los procedimientos que se pueden o deben llevar a cabo para la enajenación de la madera en pie o en cargadero.

Así, en montes públicos o en aquellos privados consorciados o conveniados con la Administración Forestal, la venta de madera se suele llevar a cabo atendiendo a los procedimientos que establece la ley de Contratos del Sector Público (habitualmente las empresas concurren por procedimientos abiertos o restringidos) y la forma habitual de adjudicación es por subasta (ver capítulo 4).

En cambio, en el caso de montes privados, el propietario particular suele suscribir un acuerdo o contrato con aquel maderista o empresa que le ofrezca un mejor precio por la madera o unas condiciones más ventajosas para su monte. No obstante, la Administración Forestal ejerce tutela sobre los mismos ya que suele ser necesaria una autorización expresa de la corta en el caso de montes sin plan de gestión aprobado y una comunicación de esta en el caso de explotaciones en montes con plan de gestión (puede variar según Comunidades Autónomas).

Actualmente, la mayoría de las cortas de madera en España se llevan a cabo en montes de titularidad privada. Según las estadísticas forestales del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MTERD) en el último lustro de datos disponibles (2015-2019), el 84% de las cortas totales de madera en España (17,8 millones de m^3 de media en este período) se han llevado a cabo en montes de titularidad privada. Además, las cortas de madera se encuentran muy focalizadas en varias Comunidades Autónomas y dentro de estas en varias especies muy productivas. Así, el 73% de las cortas totales en ese período se han concentrado en las cuatro comunidades del arco Cántabro-Atlántico (Galicia, Asturias, Cantabria y País Vasco), representando solamente las cortas de Galicia el 52% de las cortas nacionales. Estos datos coinciden con la distribución y las cortas en 3 especies muy productivas (*Eucalyptus globulus*, *Pinus pinaster* y *Pinus radiata*). Las cortas en masas de estas especies supusieron el 79% de las cortas totales del período, representado solamente *Eucalyptus globulus* el 39% del total, que la convierte en la especie que más madera produce del país.

Tabla 5.1. Superficie forestal arbolada (ha) según titularidad de los montes en el año 2018 (Fuente: Avance del Anuario de Estadística 2019, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación). MVMC: Montes Vecinales en Mano Común.

Comunidad Autónoma	Estado/ CC.AA	Entidades Locales	Privados o desconocido	MVMC	Total	%privado
Andalucía	474 439	364 943	2 129 200	496	2 969 078	72%
Aragón	77 211	657 398	843 381	-	1 577 990	53%
Canarias	10 119	57.393	69 101	317	136 930	51%
Cantabria*	157	138.587	71 923	-	210 667	34%
Castilla-La Mancha	169 944	549 712	2 019 941	-	2 739 597	74%
Castilla-León	63 923	1 101 903	1 816 492	-	2 982 318	61%
Cataluña	66 807	235 244	1 282 030	-	1 584 081	81%
Comunidad de Madrid	45 980	52 717	168 102	-	266 799	63%
Comunidad Foral de Navarra	33 662	285 553	117 864	-	437 079	27%
Comunidad Valenciana	63 292	186 599	504 568	-	754 459	67%

Comunidad Autónoma	Estado/ CC.AA	Entidades Locales	Privados o desconocido	MVMC	Total	%privado
Extremadura	37 310	116 836	1 829 988	-	1 984 134	92%
Galicia	6 029	7 858	1 089 951	312 112	1 415 950	99%
Islas Baleares	3 889	2 991	178 832	-	185 712	96%
La Rioja	11 815	130 874	34 137	-	176 826	19%
País Vasco	14 597	158 187	224 291	-	397 075	56%
Principado de Asturias	6 174	123 640	323 589	298	453 701	71%
Región de Murcia	54 338	63 422	190 460	-	308 220	62%
TOTAL	1 139 686	4 233 857	12 893 850	313 223	18 580 616	71%

* Datos corregidos según el Cuarto Inventario Forestal, Cantabria.

Algunos condicionantes que puede imponer la titularidad de la propiedad forestal al desarrollo de los aprovechamientos madereros en montes públicos son (Tolosana 2016):

- Existencia de diversidad de procedimientos de adjudicación de aprovechamientos madereros en montes de Entidades Locales, Juntas, Comunidades Vecinales, etc.). Es un problema bastante generalizado en la mayoría de las Comunidades Autónomas y tiene como origen la ambigüedad entre normativas de diferente ámbito que pueden regir las adjudicaciones de montes de propiedad municipal (Ley de Contratos del Sector Público, Ley de Montes, Ley de Patrimonio de las Administraciones Públicas, Reglamento de Bienes de las Entidades Locales y otra normativa autonómica). De esta forma, numerosas Entidades Locales optan por cambiar las subastas y otros procedimientos públicos tradicionales, considerados más transparentes, por procedimientos negociados o por invitación, rigiéndose también en ocasiones por procedimientos consuetudinarios diversos.

- Falta de recursos materiales y personales para la gestión forestal en general, lo que retrasa las actuaciones necesarias para poner en marcha los aprovechamientos madereros.

- Bajo nivel de planificación de la gestión en montes públicos en algunas Comunidades (p.ej., Aragón).

En el caso de los montes privados, la falta de recursos para la gestión forestal en las Administraciones Forestales también es un problema, por su labor de tutela, al retrasar o condicionar los trámites para llevar a cabo los aprovechamientos madereros, además se citan (Tolosana 2016):

- Ausencia de directrices simplificadas de gestión para su aplicación en montes pequeños, especialmente particulares, que sirvan de base a Planes de Gestión simplificados o que sirvan de referentes selvícolas por adhesión, en que el propietario o gestor pueda acreditar gestionar el monte bajo un instrumento de gestión por el procedimiento de aceptar un itinerario simplificado de buenas prácticas de gestión forestal. Este procedimiento, que ha sido implantado en varias CC.AA. (p.ej., Asturias y Galicia), se encuentra paralizado en otras. Realmente no es un problema intrínseco de la titularidad privada sino de la Administración Forestal que tutela

las cortas de madera. Sin embargo, dada su relevancia, se he incluido como un problema de la "titularidad privada de montes arbolados".

2.2. Estructura de la propiedad y características del propietario

La estructura de la propiedad forestal es un factor importante que condiciona distintos aspectos de los aprovechamientos madereros incluida su propia viabilidad. Esta se refiere a características físicas de la propiedad como su tamaño, el número de parcelas en las que se reparte, la forma de estas, la existencia de servidumbres y/o ocupaciones o su delimitación. Normalmente la estructura de la propiedad y las características de los propietarios deben referirse a cada tipología de propietario.

Dentro de los parámetros estructurales de la propiedad forestal, el tamaño es el factor que juega un papel más importante a la hora de determinar la rentabilidad de los aprovechamientos madereros y el beneficio neto que le puede quedar a un propietario forestal. Obviamente, cuanto mayor tamaño presenta una finca (a igualdad de volumen de corta por hectárea), mayor es el margen de beneficio que puede generar. Una finca de superficie grande permite ahorrar con relación a los costes fijos del aprovechamiento, y el resultado es un porcentaje del coste total inferior al caso de pequeñas extensiones. Los mejores rendimientos que se obtiene en estas fincas permiten obtener más beneficios y amortizar más fácilmente inversiones como la apertura de pistas (Rodríguez et al, 2005). Esto es debido, en ausencia de otras restricciones, a que condiciona las posibilidades de mecanizar la explotación y por tanto condiciona la elección del sistema de aprovechamiento a usar. Así, Romero y Arosa (1995), en un análisis económico de la producción forestal en Galicia, encontraron que la superficie del monte era el tercer factor más importante para determinar el beneficio de una explotación tras la especie que poblaba el monte y el volumen de corta por hectárea.

2.2.1. Montes de titularidad pública

Los montes de titularidad pública en España se caracterizan por ser montes cuyas superficies medias abarcan habitualmente varios cientos de hectáreas. Así, según Abreu (1995) esta superficie media sería de 485 ha (Montes del Estado o CC.AA.), de 293 ha (Montes Consorciados), 606 ha (Montes de U.P. no Consorciados) y 152 ha para montes patrimoniales de Entidades Locales. Se trata de montes de un tamaño considerable para la realidad de la propiedad forestal española, y aunque la madera que llega a corta suele ofrecerse en lotes de bastante menor superficie, la superficie no suele suponer una restricción para la ejecución de un aprovechamiento o para decidir el uso de sistemas mecanizados (figura 5.1).

Sin embargo, este tipo de propiedades suele presentar otros problemas estructurales que condicionan su gestión o el aprovechamiento maderero. Así, un gran número de ellos presentan:

- Un elevado número de ocupaciones.

- Numerosas servidumbres de pastos o leñas a favor de pueblos colindantes.

- Problemas de delimitación de la propiedad (terrenos de doble titularidad, indefinición de linderos…).

Figura 5.1. Ejemplo de montes públicos en el norte de la provincia de Zamora. Se trata de montes de varias decenas de hectáreas, plantados de pino, y propiedad de ayuntamientos o pedanías, que son gestionados bajo consorcios o convenios por la Administración Forestal Castellano-Leonesa (Fuente: SigPac).

2.2.2. Montes de titularidad privada

El 71% de la propiedad forestal arbolada española es privada, pero a pesar de su importancia a nivel superficial, esta se articula en la mayoría de los casos en estructuras minifundistas y muy atomizadas debido a que la propiedad se distribuye en numerosas parcelas no contiguas. Aunque no existen datos actualizados a nivel nacional, Abreu (1995) cifraba en 2,5 ha la superficie media de la propiedad particular a nivel estatal, aunque suele estar repartida en numerosas parcelas dispersas, por lo que la superficie de la parcela forestal es bastante inferior. Se trata de un problema que afecta principalmente a las Comunidades del arco Cántabro-Atlántico, aunque también afecta a otras Comunidades como Castilla-León, Aragón y Cataluña (Tolosana 2016). El ejemplo de Galicia, que corta el 52% de la madera de España, es muy representativo y un buen ejemplo por la magnitud tan grande del problema. Así, en esta Comunidad Autónoma, el 64% de la propiedad forestal es privada individual y el tamaño medio de la propiedad es de 1,7 ha que además se distribuye entre una y diez parcelas no contiguas, lo que arroja una superficie media de la parcela forestal de 0,26 ha (Xunta de Galicia 2018).

Desde el punto de vista del aprovechamiento maderero este minifundismo y atomización de las propiedades causa un grave problema que impide su gestión y explotación racional. Ello es debido a que las explotaciones deben tener unas superficies superiores a determinados “mínimos técnicos o de rentabilidad” por debajo de los cuales resulta inviable la aplicación de las

técnicas selvícolas o de aprovechamiento por no ser rentables económicamente (figura 5.2). Concretamente, esta microparcelación impide el empleo de sistemas mecanizados, por falta de rentabilidad debido a la alta repercusión de los costes fijos, e impone el uso de sistemas de explotación manuales. La influencia de este minifundismo encarece no sólo el aprovechamiento maderero propiamente dicho, sino también el transporte, al aumentar la posibilidad de cargas incompletas en los camiones (Laina et al. 2017).

Figura 5.2. Detalle del minifundismo de las parcelas plantadas con eucalipto en el distrito forestal de la Mariña Lucense (Galicia), donde se aprecia la disposición de las parcelas forestales en fajas muy estrechas en el sentido de la pendiente de la ladera, desde la cima al valle (Fuente: SigPac).

El efecto determinante del tamaño de los lotes de madera en los costes de explotación fue ilustrado, para explotaciones de montes de eucalipto en Galicia, de una forma muy clara por Villapol (1997): "p*artiendo del mismo precio de la madera en parque de fábrica, descontando los costes hacia el monte, resulta que para una tonelada de madera procedente de una corta de 20 t el valor residual que le quedaría al propietario por la venta de la madera en pie sería del 19% del valor de la madera en fábrica. Sin embargo, para una corta de 10 000 t este valor subiría hasta el 54%*".

Además, en numerosas ocasiones los límites y cabidas de estas microparcelas son confusos y no están apoyadas en información cartográfica, por lo que es frecuente la paralización de la explotación de lotes de madera por problemas de titularidad o deslinde entre propietarios (Ambrosio et al. 2001). De hecho, este es otro de los graves problemas derivados del minifundismo y atomización de la propiedad forestal: el desconocimiento de lindes y propietarios. Esto unido al despoblamiento y envejecimiento del mundo rural da lugar al abandono de muchos montes, al menos en las zonas menos productivas.

La combinación de la forma y el tamaño de las parcelas a explotar también puede provocar importantes restricciones. Así, en todo el arco Cántabro-Atlántico, es muy frecuente que las parcelas procedan de divisiones de herencias en fajas en el sentido de la pendiente desde la cima

al valle por lo que cuando se explota una sola de estas parcelas (algunas veces “tiras” de unos pocos metros de anchura), el tractor autocargador ha de trabajar por la línea de máxima para no invadir propiedades colindantes para hacer el desembosque (pendiente menor del 30-40% en la que el tractor puede circular por el monte), generando problemas añadidos (Ambrosio et al. 2001). También este tipo de microparcelas dispuestas en máxima pendiente dificultan enormemente la apertura de las pistas en zonas empinadas (>30-40% en las que los tractores forestales no pueden circular por el monte) para mecanizar el procesado y el apilado de la madera en las plantaciones de eucalipto (figura 5.3) (ver Caso práctico I para más detalles).

Figura 5.3. La combinación de parcelas pequeñas y alargadas en terrenos en pendiente dificulta mucho la apertura de pistas para poder mecanizar el procesado y apilado de la madera con cosechadora forestal desde pista, tras un apeo manual con motosierra (Fuente: SigPac).

Los maderistas, para tratar de paliar esta situación, deben comprar lotes de varias parcelas contiguas o próximas para que le sea rentable y posible la explotación; contando, aun así, con muchos problemas a la hora de definir las rutas o caminos de desembosque, ya que deben pedir autorización a los propietarios de las fincas colindantes y buscar ubicaciones adecuadas para los cargaderos. Todo este panorama exige que estos rematantes o maderistas deban ser unos auténticos tratantes forestales con un amplio conocimiento del entorno en el que se mueven y de sus gentes y su idiosincrasia (sociología rural).

Las Administraciones y las asociaciones forestales y/o de propietarios están impulsando soluciones como la concentración parcelaria o la creación de agrupaciones o cooperativas de propietarios forestales. Las agrupaciones de propietarios se fomentan activamente en Castilla y León y en Cataluña. En esta última Comunidad, ya desde hace más de 20 años, existe un organismo autónomo dentro de la administración, el Centre de la Propietat Forestal, dedicado al apoyo y

asesoramiento a los propietarios forestales particulares. Por otro lado, la Diputació de Barcelona comenzó a finales de la década de los 90 del siglo pasado el fomento al asociacionismo forestal, que hoy en día se ha extendido al resto de las provincias catalanas y ha permitido constituir la Federación Catalana de Asociaciones de Propietarios Forestales (BOSCAT). Algunas asociaciones de propietarios han impulsado puntualmente iniciativas de agrupación y comercialización en común, especialmente en los casos de eucalipto en Galicia y chopo en Castilla y León (Tolosana 2016). También en Asturias y en Galicia en los últimos años se aceleran las concentraciones parcelarias y se fomenta el asociacionismo. En Galicia y Asturias, donde el problema es más acuciante hay numerosos ejemplos de éxito. Así, en Trabada (Lugo) hace más de dos décadas se llevó a cabo una actuación experimental que supuso la puesta en marcha de tres concentraciones parcelarias privadas y una pública que lograron concentrar más de 11 000 propiedades en unas 800 fincas, pasando la superficie media de menos de 0,1 ha a más de 2 ha (20 veces más superficie) para aprovechar sinergias y reducir costes al poder compartir servicios como la corta de la madera de las fincas. A pesar del éxito de la concentración, que supuso la creación de una Sociedad Agraria de Transformación (SAT); sus particularidades, con una implicación muy alta de un conocido empresario forestal gallego y el altísimo esfuerzo y la complejidad que supuso tal logro, han motivado que este modelo de gestión no se haya replicado en otras zonas. También, la administración forestal gallega ha tratado de corregir esta situación con la promoción desde 2012 de las Sociedades de Fomento Forestal (Sofor), instrumentos que permiten la agrupación de propietarios forestales para hacer un aprovechamiento conjunto de sus tierras.

Existen además ciertas características de los propietarios privados de montes que pueden dificultar las operaciones madereras y que son generalizables a la totalidad del país:

- Una proporción importante son personas de avanzada edad.
- No viven del monte y este sólo aporta un ingreso adicional o complementario a la unidad familiar.
- Carecen de formación y/o tradición forestal.
- Una parte importante de los titulares están ausentes debido a la emigración hacia las ciudades.

La situación es bastante distinta en los montes privados colectivos (montes vecinales en mano común) que abundan en Galicia, donde representan el 22% de la superficie forestal arbolada. La superficie media de estos montes es de unas 224 ha y no tienen problemas de estructura de la propiedad que dificulten las explotaciones madereras. Además, el 40% de esta superficie forestal (unas 254 000 ha) es gestionada directamente por la Administración mediante suscripción de consorcios o convenios con las comunidades de monte (Xunta de Galicia 2018), con lo que la enajenación de la madera se hace de acuerdo con la Ley de Contratos del Sector Público.

3. Condicionantes naturales

3.1. El clima

Las condiciones ambientales en donde se realiza el aprovechamiento influyen de forma muy diversa en las distintas operaciones del mismo, reduciendo los rendimientos de los obreros y de las máquinas o dificultando la realización de los diferentes trabajos. Entre estos condicionantes cabe hacer referencia a la temperatura, la lluvia, la nieve o el viento.

Las altas y bajas temperaturas pueden inducir en los trabajadores problemas de estrés térmico que deben controlarse para evitar riesgos para los mismos, valorando la sensación térmica en función de la temperatura, la humedad relativa y el viento (Centro Prevención Riesgos Laborales 2007). Asimismo, estas condiciones influyen en la maquinaria reduciendo sus rendimientos e influyendo sobre las transmisiones hidráulicas y mecánicas. No obstante, no limitarán el desarrollo de una técnica u otra, aunque condicionarán, eso sí, la época de ejecución de las mismas.

Quizás el factor más afectado por las condiciones climáticas puede ser el suelo que, a su vez, tendrá según sus características de humedad, textura o contenido en materia orgánica, una gran influencia sobre las operaciones a realizar al influir en el grado de adherencia y en la capacidad portante. Con relación al suelo, las bajas temperaturas aumentan la capacidad portante y disminuyen el coeficiente de rozamiento. Si el suelo está húmedo, las heladas provocarán la rotura de la superficie. Para buscar más adherencia deberá valorarse la utilización del sistema de rodadura más adecuado. En el caso de la existencia de nieve, su capacidad portante aumentará con la dureza de la capa de nieve. Si el suelo nevado no está compacto, la nieve se convertirá en un gran condicionante por el exceso de humedad de la superficie del mismo. Por otro lado, la lluvia cambia las características de resistencia al esfuerzo cortante según su granulometría. En texturas finas, una cierta humedad aumenta la cohesión del suelo, pero en exceso disminuye la misma.

Estos condicionantes de carácter climático justifican que en las zonas de montaña a los montes se les clasifique como montes de verano o montes de invierno, según la época en la que se pueden realizar los trabajos.

Por otro lado, el viento también influye, sobre todo en la fase del apeo, por el riesgo que supone controlar la dirección real de caída del árbol. Como criterio general debe evitarse cortar los días en los que la velocidad del viento supere los 50 km h^{-1}.

3.2. La fisiografía

La pendiente es un factor clave que influye en las operaciones de apeo y, sobre todo, en el desembosque (figura 5.4). No obstante, hay que tener en cuenta que la influencia de la pendiente está modulada por otros factores como la adherencia del suelo, la presencia de afloramientos

rocosos u otros obstáculos que limitan la adherencia. Para las operaciones de apeo, la pendiente es un factor limitante en el caso de que se haga de forma mecanizada (tabla 5.2).

Tabla 5.2. Criterios de pendiente para el apeo.

Tipo de apeo	Chasis	Pendiente del terreno (%)	
		Máxima	Óptima
Manual		60	< 30
Cosechadora	Ruedas	35	20-25
	Orugas	40	
Cabezal cortador	Retroaraña	100	
	Retroexcavadora	60	

En el desembosque, pendientes inferiores al 15% no limitan ninguna técnica, mientras que pendientes superiores al 60% reducen las técnicas al cable grúa. Entre estos intervalos de pendiente se encuentran los recomendados para las distintas máquinas. Además de la pendiente, un factor a tener en cuenta en la mecanización de los trabajos es la escabrosidad o dificultad del terreno. La escabrosidad, en este contexto, hace referencia a los obstáculos existentes en la superficie que limitan el movimiento de las máquinas. Sundberg y Silversides (1989) consideran dos niveles de escabrosidad:

- Alta. Existencia de rocas u obstáculos de altura superior a 50 cm, separados una distancia inferior a 3 m.

- Baja. Cuando la distancia es mayor de 3 m.

El Servicio Forestal irlandés (IFS) considera tres clases de escabrosidad y el *Nordic Council on Forest Operations Research* (NSR) cinco (tabla 5.3).

Tabla 5.3. Clases de escabrosidad del terreno (Owende et al. 2002).

Clase NSR	Clase IFS	Altura obstáculo (mm)	Casos permitidos	Altura entre obstáculos (cm)			
				20	40	60	80
				Distancia media entre obstáculos (m)			
1	Regular	200	A	1,6-5			
			B	5-16		>16	
2	Regular	200-400	A	< 1,6		>16	
			B	1,6-5	5-16	>16	>16
3	Irregular	400-600	A	< 1,6	1,6-5	5-16	>16
			B	<1,6	1,6-5	5-16	>16

Clase NSR	Clase IFS	Altura obstáculo (mm)	Casos permitidos	Altura entre obstáculos (cm)			
				20	40	60	80
				Distancia media entre obstáculos (m)			
4	Irregular	400-800	A	< 1,6	< 1,6	5-16	>16
			B		1,6-5		5-16
5	Escabroso	400-800	A		<1,6	1,6-5	5-16
			...I		<1,6		

Figura 5.4. Procesadora John Deere 1270E trabajando en pendientes superiores al 30% y superando taludes de pista (superior) y autocargador John Deere 1910E en pendientes superiores al 30% (inferior) (Fotos: J. Pemán).

3.3. El suelo

El suelo uno de los elementos del medio que se pueden ver más afectados por las diferentes operaciones del aprovechamiento maderero, sobre todo en lo que hace referencia a las operaciones de desembosque, al condicionar el movimiento de las máquinas y el arrastre de la madera. El movimiento de las máquinas se verá condicionado por algunas de las características mecánicas del suelo como son el grado de adherencia y la capacidad portante o de carga (Maza de la 1970) que determinarán, en mayor o menor grado, el nivel de desgarramiento o rotura del suelo, su compac-

tación y la formación de rodadas o surcos de arrastre. Estas características pueden condicionar la elección del tipo de tractor, de su tren de rodadura, del tipo de neumático, de la presión de inflado de las ruedas, del modo de desembosque o de la densidad de pistas de desembosque (ver anejo 1). A la hora de planificar el aprovechamiento, por tanto, habrá que valorar el riesgo de: 1) Compactación, 2) Formación de rodadas o roderas. Para ello se debe conocer algunas características del suelo en relación con el tránsito de las máquinas por el mismo, como es la capacidad portante o la adherencia y algunas características de las máquinas, como es la presión que ejercen sobre el suelo.

1. **Capacidad portante**. La capacidad portante del suelo se entiende como su resistencia a la cuando está sometido a cargas. En este contexto las cargas a las que estará sometido son debidas al peso y al trabajo de las máquinas que intervienen en las operaciones de corta y desembosque. Las características del suelo que más influyen en esta capacidad son la textura, la pedregosidad y su contenido en humedad (tabla 5.4).

Tabla 5.4. Capacidad portante de diferentes tipos de terreno (Maza de la 1970; Bartoli et al. 2009).

	Capacidad portante (kPa)
Terrenos pantanosos	10 a 40
Arcilla húmeda	50 a 150
Arcilla seca	400 a 1 200
Arena seca	200
Arena húmeda	400
Grava gruesa	200 a 600
Limos húmedos	20 a 60
Roca fragmentada	500
Roca compacta	12 500
Nieve compacta	400 a 800

Owende et al (2002) consideran que un terreno tiene una baja capacidad portante cuando es inferior a 40 kPa, media, cuando oscila entre 40 y 80 kPa y alta cuando supera los 80 kPa.

Aunque la capacidad portante del suelo es un indicador muy aceptado, sin embargo, no hay un consenso sobre como valorarla, utilizándose el índice de cono, el esfuerzo cortante o los módulos de deformación (tabla5.5).

Tabla. 5.5. Categorías de la Capacidad portante del suelo en función de dos parámetros del suelo (Owende et al. 2002)([1]: Valor máximo en los 30 cm superficiales del perfil del suelo).

Capacidad portante suelo (GBC)	Índice de cono (kPa)[1]	Módulo de deformación	Esfuerzo cortante (kPa)
Baja	<300	< 20	<20
Media	300-500	20-60	20-60
Alta	>500	>60	>60

La presión que ejercen las máquinas de apeo y desembosque sobre el suelo es muy variable, dependiendo de las condiciones del terreno, la anchura del neumático, el tipo de banda de rodadura, la presión de inflado, si los ejes de las ruedas llevan **tracks** o no, etc. (ver anejo 1). No obstante, se pueden dar unos valores orientativos (tabla 5.6.). Sirva de referencia que una persona con botas apoyándose con los dos pies en el suelo ejerce una presión de 17 kPa y, de 35 kPa, si se apoya con un pie.

Tabla 5.6. Valores orientativos de la presión sobre el suelo de diferentes tipos de máquinas (Owende et al. 2002).

Máquina	Número de ejes de ruedas	Ancho neumático (mm)	Tracks	Presión nominal (kPa)
Procesadora	2	500 a 800	No	>80
	3	500 a 800	No	50 a 70
	4	600	No	45 a 60
	Orugas			< 30
Autocargadores	2		No	80 a 100
	3		No	70 a 80
			Ejes traseros	50 a 60
	4		No	50 a 60
			Ejes traseros y delanteros	40 a 50
Skidder				70

El cociente entre la capacidad portante del suelo, estimado a partir del índice de cono, y la presión nominal que ejerce la máquina sobre el mismo, puede ser un buen indicador para determinar los límites de la mecanización forestal. Si el umbral de deformación admitido es la formación de unas rodadas de 100 mm de profundidad y una longitud de 0,5 m, el valor de este cociente no debe ser inferior a 5 (Owende et al. 2002).

2. **Adherencia**. Tradicionalmente se entiende por tal, la resistencia al deslizamiento o patinamiento que presentan dos superficies entre sí. En el caso de la interacción suelo-máquina la adherencia hace referencia a la capacidad de la máquina de autopropulsarse y ejercer el esfuerzo de tracción necesario para su movimiento y el transporte de la carga. En este sentido, si F_t es la fuerza de tracción y F_a la fuerza de adherencia, para que se produzca el desplazamiento de la máquina se debe cumplir la desigualdad: $\mathbf{F_t \leq F_a}$.

   El patinamiento de las ruedas motrices sobre el suelo se justifica cuando la fuerza de tracción ejercida por ellas supera la fuerza de rotura por cizallamiento del suelo (Boto **et al.** 2000). Esta rotura implica vencer las fuerzas de cohesión entre las partículas del suelo y las fuerzas derivadas del rozamiento entre las partículas cuando estas han quedado sueltas,

que dependerá del coeficiente de rozamiento interno entre ellas y de la carga que soportan (Boto **et al**. 2000; Márquez 2004).

La fuerza de adherencia representa, por tanto, la resistencia al deslizamiento que presentan la máquina sobre el suelo, representado por la carga vertical que soporta el suelo (peso adherente, es decir, peso más carga) multiplicado por un coeficiente de adherencia (C_a) (tabla 5.7). Es decir, $F_a = Peso_{adherente}\ C_a$.

Tabla 5.7. Coeficiente de adherencia (kg t^{-1}) en función del tipo de suelo, su humedad y el tren de rodaje (Mégille 1956).

Tipo de suelo	Estado	Neumáticos	Cadenas u orugas
Arcilloso	Seco	550	580
	Húmedo	450	460
Arcilloso-arenoso	Seco	350	560
	Húmedo	200	420
Humus	Seco	350	560
	Húmedo	150	290
Arena	Seco	350	320
Grava		360	
Hielo		120	120
Nieve compacta		200	
Roca	Seco	500	200
	Húmedo	200	150

Aumentar la adherencia se puede conseguir:

- Aumentando el coeficiente de adherencia, como puede ser mediante el aporte de los residuos de corta a las calles de desembosque, el uso de cadenas o el uso de ***tracks***, el uso de neumáticos extraanchos o disminuyendo la presión de inflado.

- Aumentando el peso adherente, sobre todo en el caso de los suelos más arenosos, para aumentar la fuerza debido al rozamiento entre las partículas. Utilización de máquinas más pesadas o mediante el lastrado de los tractores.

Existe cierto consenso sobre los factores del relieve y del suelo que influyen en la mecanización de los trabajos. En este sentido, las condiciones del suelo, expresadas a través de la capacidad portante, la pendiente y la escabrosidad del terreno son factores que se han revelado decisivos y, por tanto, verdaderos condicionantes para las operaciones de apeo y desembosque. Entre las clasificaciones existentes se pueden referir las de Sundberg y Silversides (1988) (tabla 5.8), Collins **et al**. (2000) u Owende **et al**. (2002) .

Tabla 5.8. Criterios de pendiente para el desembosque con maquinaria según la escabrosidad, adherencia del suelo y sentido del desembosque ([1]: existencia de rocas u obstáculos en general de altura superior a 50 cm. Si la distancia entre estos obstáculos es inferior a 3 m se considera que la escabrosidad es alta al limitar la maniobrabilidad de la máquina; [2]: sería viable si el chasis fuera una retroaraña). El fondo rojo indica que esa técnica no es apropiada, el verde que son condiciones óptimas y cuando no hay fondo que representan condiciones de utilización con dificultades). El valor en algunas de las celdas representa la pendiente (%). Modificado de Sundberg y Silversides (1988).

Condicionantes				Procedimientos de desembosque					
Pendiente (%)	Escabrosidad[1]	Adherencia suelo	Sentido de la saca	Tracción animal	Tractor agrícola	Tractor cadenas	Autocargador	Skidder	Cabezal cortador
< 10	Baja	Buena	Indiferente						
		Mala							
	Alta	Buena							
		Mala							
10 - 50	Baja	Buena	Ascendente	< 15	< 15	< 35	< 25	< 25	< 25
			Descendente	< 30	< 25		< 45		< 35
		Mala	Ascendente			< 25		< 20	< 20
			Descendente	< 30			< 45		< 35
	Alta	Buena	Ascendente		< 25	< 35	< 25	< 25	< 25
			Descendente	< 30			< 45		< 35
		Mala	Ascendente		< 25	< 25		< 20	< 20
			Descendente				< 45		< 35
> 50	Baja	Buena	Ascendente						[2]
			Descendente			<60	<60	<60	[2]
		Mala	Ascendente						[2]
			Descendente			< 60	< 60		[2]
	Alta	Buena	Ascendente						[2]
			Descendente			< 60	< 60	< 60	[2]
		Mala	Ascendente						[2]
			Descendente		-	< 60	< 60		[2]

Owende et al. (2002) han adaptado la clasificación de Collins et al. (2002) y han propuesto otra clasificación del terreno para las operaciones de desembosque. El terreno se clasifica con tres dígitos que corresponden a las diferentes categorías de condiciones de suelo, escabrosidad y pendiente (tabla 5.9).

Tabla 5.9. Clasificación del terreno, según las características del suelo, la escabrosidad y la pendiente ([1]: según los valores de la tabla 5.5.; [2]: según los valores de la tabla 5.3.) (Owende et al. 2002).

Condiciones de suelo[1]	Escabrosidad[2]	Pendiente
(1): Buena	(1): Regular	(1): Suave, < 14%
(2): Media	(2): Irregular	(2): Intermedia, 14-25%
(3): Mala	(3): Escabroso	(3): Elevada, > 25%
(4): Muy mala		

A partir de esta clasificación estos autores recomiendan el tipo de procedimiento de desembosque a realizar (tabla 5.10).

Tabla 5.10. Recomendaciones de uso de los diferentes métodos de desembosque en función del estado del suelo, escabrosidad y pendiente (el primer código hace referencia a las condiciones del suelo, el segundo a la escabrosidad y el tercero a la pendiente) (Owende et *al*. 2002).

1.1.1	2.1.1	3.1.1	4.1.1
Tracción sangre, *skidder*, autocargador			Autocargador con tracks, cable
1.1.2	2.1.2	3.1.2	4.1.2
Tracción sangre, *skidder*, autocargador		Autocargador, autocargador con tracks y cable	
1.1.3	2.1.3	3.1.3	4.1.3
Tracción sangre, *skidder*, autocargador		Cable	
1.2.1	2.2.1	3.2.1.	4.2.1
Tracción sangre, *skidder*, autocargador			Autocargador con tracks, cable
1.2.2	2.2.2	3.2.2	4.2.2
Tracción sangre, autocargador	Autocargador, autocargador con tracks	Autocargador con tracks y cable	
1.2.3	2.2.3	3.2.3.	4.2.3
Autocargador con cadenas y cable		Cable	
1.3.1.	2.3.1.	3.3.1.	4.3.1.
Autocargador y cable		Autocargador con tracks y cable	
1.3.2.	2.3.2	3.3.2	4.3.2
Autocargador y cable	Autocargador, autocargador con tracks y cable	Cable	
1.3.3	2.3.3	3.3.3	4.3.3
Cable			

3.4. La vegetación

La vegetación forestal, referido al estrato arbustivo, puede condicionar las operaciones de apeo y desembosque. En el caso del apeo, si este se hace manual, habrá que valorar si es necesario desbrozar previamente para facilitar el acceso de los motosierristas, al igual que alrededor de los pies señalados, aunque esta última operación la suelen realizar ellos mismos. En las operaciones de desembosque, según el sistema de aprovechamiento elegido y la forma del desembosque, será necesario valorar la realización de un desbroce. Adquiere particular importancia en el caso de que el desembosque se haga con tracción animal.

3.5. La fauna

La presencia de una fauna singular, en el monte que va a ser objeto de aprovechamiento, puede ser un factor que condicione la época de disfrute y limite la superficie de actuación. La apertura de las vías de desembosque y la realización de las operaciones pueden ser factores claramente perturbadores para estas especies, adquiriendo especial importancia en las épocas de nidificación y cría.

Los pliegos de condiciones técnicas particulares determinan las épocas del disfrute, claramente condicionadas por la presencia de estas especies. A modo de ejemplo, se presentan las épocas más críticas para una serie de especies singulares (tabla 5.11). Estos períodos generales deben ajustarse según la fenología de la especie en cada caso particular.

Tabla 5.11. Épocas críticas para la realización de los aprovechamientos para determinadas especies singulares para los distintos meses del año (Fuente: [1]: (Rodríguez et *al.* 2005); [2]: (Unidad Territorial Noroeste-Río Mula 2012).

Especie	E	F	M	A	M	J	JL	A	S	O	N	D
Oso pardo (*Usus arctos arctos*)[1]			■	■	■	■					■	■
Urogallo (*Tetrao urogallus*)[1]	■	■	■	■	■	■	■	■				■
Lechuza de Tengmalm (*Aegolius funereus*)[1]	■	■	■	■	■	■	■					
Pito negro (*Dryocopus martius*)[1]	■	■	■	■	■	■	■					
Buitre leonado (*Gyps fulvus*)[2]	■	■	■	■	■	■						
Aguila culebrera (*Circaetus gallicus*)[2]			■	■	■	■	■	■				
Milano negro (*Milvus migrans*)[2]			■	■	■	■	■					
Azor común (*Accipiter gentilis*)[2]		■	■	■	■	■						
Gavilán común (*Accipiter nisus*)[2]				■	■	■	■					
Ratonero (*Buteo buteo*) [2]		■	■	■	■	■	■					
Águila real (*Aquila chrysaetos*)[2]		■	■	■	■	■	■	■				
Aguililla calzada (*Hieraaetus pennatus*)[2]			■	■	■	■	■	■				
Águila perdicera (*Aquila fasciata*)[2]	■	■	■	■	■	■						
Cernícalo vulgar (*Falco tinnunculus*) [2]			■	■	■	■						
Alcotán (*Falco subbuteo*)[2]					■	■	■					
Halcón peregrino (*Falco peregrinus*) [2]			■	■	■	■						
Lechuza común (*Tyto alba*)[2]		■	■	■	■							
Autillo (*Otus scops*)[2]				■	■	■						
Búho real (*Bubo bubo*) [2]	■	■	■	■	■							■
Mochuelo europeo (*Athene noctua*)[2]		■	■	■	■	■						
Cárabo común (*Strix aluco*)[2]	■	■	■	■	■							■
Búho chico (*Asio otus*)[2]		■	■	■	■	■						

En Castilla La Mancha, con carácter general, se establece una época crítica entre el 1 de marzo al 31 de agosto, recomendando respetar una distancia de 700 m alrededor de los nidos de las especies que tienen un carácter singular y, en especial, las sometidas a un Plan de Recuperación (Gabaldón 2013).

En el caso de las aves de carácter singular, como el águila imperial (*Aquila adalberti*), en Castilla y León se han establecido unos perímetros de seguridad donde se limitan las actuaciones a realizar. Estos perímetros definen un área de gestión restringida, de radio de 100 m alrededor del nido ocupado, y un área de gestión condicionada, de radio de 400 m a partir del perímetro del área restringida, donde se condicionan las posibles actividades (tabla 5.12).

Tabla 5.12. Limitaciones a la gestión en zonas de nidificación del águila imperial (*Aquila adalberti*) en Castilla y León (Q: quincena)(Fuente: adaptado de (Jiménez-Fernández et al. 2006).

<table>
<tr><th></th><th colspan="2">Febrero</th><th colspan="2">Marzo</th><th colspan="2">Abril</th><th colspan="2">Mayo</th><th colspan="2">Junio</th><th colspan="2">Julio</th><th colspan="2">Agosto</th><th colspan="2">Septiembre</th><th colspan="2">Octubre</th><th colspan="2">Noviembre</th><th colspan="2">Diciembre</th><th colspan="2">Enero</th></tr>
<tr><th></th><th>1Q</th><th>2Q</th><th>1Q</th><th>2Q</th><th>1Q</th><th>2Q</th><th>1Q</th><th>2Q</th><th>1 Q</th><th>2Q</th><th>1Q</th><th>2Q</th><th>1Q</th><th>2Q</th><th>1Q</th><th>2Q</th><th>1Q</th><th>2Q</th><th>1Q</th><th>2Q</th><th>1Q</th><th>2Q</th><th>1Q</th><th>2Q</th></tr>
<tr><td>Área gestión restringida (radio 100 m nido habitado)</td><td colspan="12">Suspendida cualquier actuación (NA)</td><td colspan="4">Inventarios, señalamientos, reparaciones manuales</td><td colspan="10">Cortas de tipo sanitario o forzoso</td></tr>
<tr><td>Área gestión condicionada (radio 400 m desde perimetro área restingida)</td><td colspan="8">Suspendida cualquier actuación (NA)</td><td colspan="4">Inventarios, señalamientos, reparaciones manuales</td><td colspan="2">NA</td><td colspan="4">Trabajos mecanizados que duren una jornada</td><td colspan="10">Sin limitación</td></tr>
</table>

3.6. Riesgos

3.6.1. Riesgos de degradación del suelo

Los riesgos de degradación del suelo por las operaciones ligadas a la extracción de los productos forestales del monte son: 1) Compactación y 2) Formación de roderas.

1. **Compactación**. Se produce en el suelo debido a la presión ejercida por las máquinas o por el arrastre de la madera. Se considera que el suelo se ha compactado, como consecuencia de los trabajos realizados, cuando el aumento de la densidad aparente supera el 15% de la densidad existente anteriormente a la realización de los mismos (Welke y Fyles 2006). Su intensidad depende del peso de la máquina, del sistema de rodadura de la misma, del área de contacto del vehículo con el suelo, de la presión de los neumáticos, de las fuerzas dinámicas de corte, de las características del suelo (textura, estructura y densidad aparente inicial), del contenido de materia orgánica del suelo, del contenido de humedad, de la pendiente del terreno, del tipo de corta, del número de ciclos de desembosque o de la experiencia de los maquinistas.

   Atendiendo a los factores del suelo que influyen en la misma, la densidad aparente inicial es uno de los más relevantes. Suelos con densidades superiores a 1,4 Mg m^{-3} son bastantes resistentes a la compactación, siendo más favorables los de baja densidad. Una vez que se ha compactado es ya bastante resistente a la misma. En algunos estudios se ha puesto en evidencia que con el primer ciclo de desembosque el grado de compactación producido es del 62% del total en los primeros 10 cm del suelo (Cambi *et al.* 2015). Se ha observado que el grado de compactación disminuye con la profundidad del suelo, con patrones de reducción como los que registrados por McNabb (2001), que después de tres ciclos con autocargador observó incrementos de la densidad aparente en un 10% a 5 cm de profundidad, un 7% a 10 cm y un 5% a 20 cm. Las consecuencias de la compactación sobre las propiedades físicas, químicas y bióticas del suelo son múltiples (tabla 5.13).

Tabla 5.13. Efectos sobre las propiedades del suelo del movimiento de los tractores en las operaciones de desembosque (Cambi *et al.* 2015).

Efecto sobre el suelo	Características
Disminución de la porosidad	La compactación puede conllevar disminuciones de hasta el 50-60% de la porosidad, consecuencia, sobre todo, de la disminución del volumen de macroporos, no apreciándose efecto alguno sobre el contenido de microporos, que en algunos casos pueden llegar a aumentar. No hay un efecto claro en cuanto a los cambios en la distribución del tamaño de los poros.
Disminución del contenido de macroporos	
Ligero aumento del contenido de microporos	
Ligero aumento de la capacidad de retención de agua	La compactación puede producir un ligero aumento, aunque ello no implica que el agua esté disponible para las plantas
Disminución de la permeabilidad y de la capacidad de infiltración	La compactación y la formación de rodadas suele conllevar el encharcamiento del fondo de las mismas como consecuencia de la destrucción de la estructura del suelo. Cuando la infiltración disminuye y la pendiente es elevada se suelen producir fenómenos de escorrentía.
Aumento de la escorrentía	

Efecto sobre el suelo	Características
Disminución de la aireación y del contenido en oxígeno	
Aumento de la concentración de CO_2	Consecuencia de la disminución de la difusividad gaseosa en el suelo. La compactación produce una disminución de la concentración de O_2 y un aumento de la concentración de CO_2
Disminución del crecimiento radical	La compactación conlleva un aumento de la resistencia a la penetración y cuando esta excede de 2,5 MPa, frecuente en las operaciones de aprovechamiento, se produce una reducción en el crecimiento radical.
Disminución del crecimiento del árbol	
Influencia desigual en la regeneración	
Efecto negativo sobre la biota del suelo	

Compactation on boreal forest soils

Welke S, Fyles J (2006) Compactation of boreal forest soils. SFM Network Research Note Series 17**.**

...soil compaction is generally defined in physical terms. An increase of more than 15% in the pre-harvest bulk density of the soil indicates compaction. It can be caused by as little as one skidder pass or only by after repeated passes. Compaction is most commonly associated with skid trails and landings, which together can represent a considerable portion of a cut block. This could translate into reduced overall site productivity. While compaction is readily definable, its effects are less so. Studies of the physical impacts of compaction on soil are numerous yet only a handful has investigated the effects of compaction on chemical and biological soil processes. A look at the current research shows that, while effects of compaction are somewhat varied and ecosystem specific, some generalizations are possible...The susceptibility of soil to compaction is clearly related to soil moisture. There is little doubt that saturated soils, regardless of texture, are more likely to be negatively affected by compaction compared to dry soils. There is also agreement that damage to soils and thus site productivity, is reduced or even negligible when harvesting occurs on soils below field capacity...Not only do soil texture and moisture affect the susceptibility of a soil to compaction but so do the type and intensity of use of machinery. For example, there were no negative effects on aspen growth on an unfrozen clay soil winter logged by chain saw and then cable winched. When an adjacent site on the same soil was logged with a feller buncher and grapple skidder, however, the disturbance was significant and reduced regenerating aspen growth. Yet the same equipment will be much less destructive in drier conditions. Wide-tired grapple skidders and forwarders did not seriously compact a fi ne-textured boreal soil when harvesting occurred under dry conditions. In another study, it was found that a Timberjack Harvester 1270 caused negligible impact on mites and collembolans although harvesting with a feller buncher significantly reduced their numbers, which could have consequences for the nutrient cycle and thus, site productivity.

Las medidas que tradicionalmente se han indicado para reducir este impacto son (Cambi *et al.* 2015) (figura 5.5):

- Dejar los residuos de corta sobre el suelo. En el caso del uso de procesadoras estos residuos se suelen dejar en las calles de desembosque. Como valores de referencia, algunos autores han recomendado una cantidad de restos de corta de 15-20 kg m^{-2}. Esta medida es especialmente interesante en los suelos con baja capacidad portante.

- Reducir, en la medida de lo posible, la presión sobre el suelo. Entre las diferentes alternativas existentes para conseguirlo están: i) Reducir la presión de inflado de los neumáticos, ii) Utilizar máquinas ligeras, iii) Utilizar neumáticos anchos. Existen referencias que indican que aumentar la anchura del neumático de 600 mm a 800 mm en un autocargador de 22 t, redujo a la mitad la profundidad de las rodadas, iv) Utilizar accesorios para aumentar la flotación como los **tracks** o semiorugas.

- Evitar la realización de los trabajos en las épocas que el suelo tenga un mayor contenido de humedad, planificándolos para la época en que la capacidad portante del suelo sea mayor (montes de verano ***versus*** montes de invierno).

- Planificar adecuadamente los trabajos, concentrando, en la medida de lo posible, la circulación de las máquinas por las calles de desembosque.

Figura 5.5. Residuos de corta colocados sobre la calle de desembosque (izquierda) y características de los tracks (derecha) (Fotos: J. Pemán).

2. **Rodadas o roderas**. Son el resultado de los desplazamientos verticales y horizontales del suelo hacia el medio o a los lados de las calles de desembosque producto de los esfuerzos cortantes y la compresión que soportan cuando tienen un elevado contenido de humedad (Horn **et al**. 1989) (figura 5.6).

   La profundidad de las rodadas es variable según la estructura, la humedad y textura del suelo, la pendiente, el sentido de desplazamiento del tractor, el número de ciclos y la técnica de desembosque (Agherkakli **et al**. 2010; Removal y Formation 2015). Según el ***Finnish Forestry Development Center*** las rodadas que tienen consecuencias económicas y ecológicas son aquellas que exceden de 100 mm de profundidad y tienen una longitud mayor de

0,5 m. En suelos de textura muy fina con fuertes pendientes y con el suelo muy húmedo, el riesgo de formación de rodadas profundas es muy elevado.

Figura 5.6. Formación de roderas sobre suelos aluviales y húmedos en un aprovechamiento de *Populus* x *euramericana* (izquierda) y en un aprovechamiento en la época estival de una repoblación de *Pinus sylvestris* sobre suelos desarrollados sobre esquistos metamórficos (derecha) (Fotos: J. Pemán).

3.6.2. Riesgos fitosanitarios

Otro de los factores que condicionan la determinación de la época del disfrute son los riesgos fitosanitarios, especialmente en el caso de *Pinus sylvestris*. Esta especie es muy sensible a los ataques de *Ips acuminatus* que constituye una de las principales plagas de insectos perforadores junto con *Tomicus* spp. Para evitar los ataques de esta especie se recomienda no realizar cortas de *Pinus sylvestris* en el periodo de abril a agosto, ya que se corresponde con el periodo de colonización y reproducción de esta especie, o sacar la madera rápidamente. También se recomienda la retirada o descortezado de toda rama superior a 4 cm de diámetro antes del mes de junio. Para determinar con precisión la época de exclusión del disfrute hay que conocer el ciclo biológico de la especie (figura 5.7).

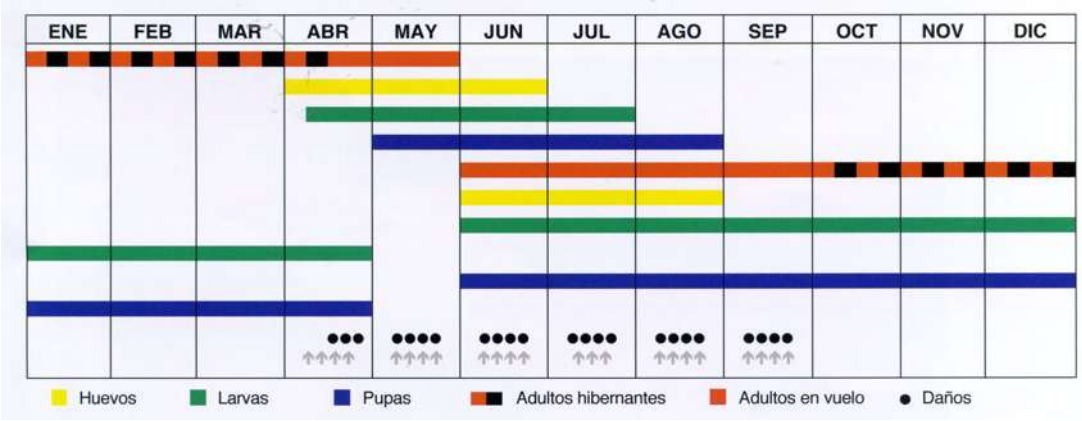


Figura 5.7. Ciclo biológico de *Ips acuminatus* en Aragón (Unidad Salud Bosques 2011).

En el caso de *Tomicus* spp., para Aragón, se recomienda evitar la acumulación de madera recién cortada durante el periodo de colonización de adultos, que correspondería al periodo entre octubre y mayo para *T. destruens* y de abril a octubre para *T. piniperda* (Unidad Salud de los Bosques 2010).

3.6.3. Riesgos de incendios

El riesgo de incendio forestal puede ser un condicionante de primera magnitud para la realización de las operaciones de extracción de los productos madereros por la limitación que se suele imponer a la utilización de maquinaria en el monte.

Las limitaciones impuestas a la actividad forestal pueden establecerse según los conceptos de peligro o de riesgo. El concepto de peligro de incendios suele ser fijo y se determina espacial y temporalmente. En las zonas de peligro alto o extremo se pueden limitar la realización de determinadas actividades en el monte que impliquen el uso de maquinaria que pueda generar chispas, descargas eléctricas, etc.

El análisis del riesgo, por el contrario, se realiza de forma diaria y, según el nivel que se alcanza en el mismo, también puede limitar ciertas actividades en el monte, sobre todo al uso de la maquinaria como en el caso anterior.

Por tanto, a la hora de planificar temporalmente la realización de las operaciones hay que tener en cuenta, según cada CC.AA., estas posibles limitaciones (figura 5.8).

4. Condicionantes de las infraestructuras

Las características de las pistas de desembosque en cuanto a su anchura, separación, longitud y densidad dependerán de la técnica de apeo y desembosque (Rodríguez **et al**. 2005) (tabla 5.14).

Tabla 5.14. Separación y anchura de las pistas de desembosque según el tipo de corta el método de aprovechamiento y el tipo de desembosque mecanizado (Rodríguez et *al*. 2005).

	Corta mecanizada			Corta manual	
		Skidder o tractor		Autocargador	
		Reunión cable	Reunión animal	Reunión manual	Reunión manual	Sin reunión
		Fuste entero	Fuste entero	Madera corta	Madera corta	Fuste entero
Separación (m)	15 a 24 (dos veces longitud pluma cosechadora)	40 a 50	40 a 50	15 a 30	15 a 30	15 a 24
Anchura (m)	3,5				4	

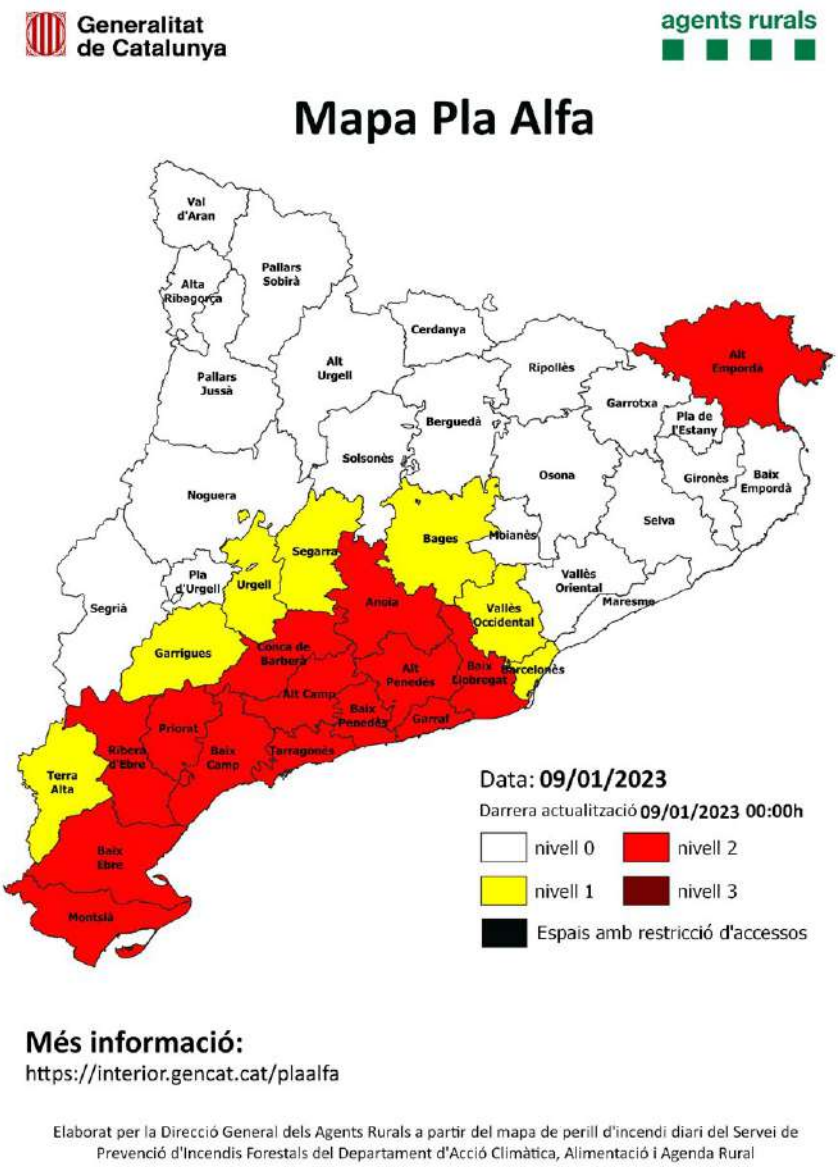


Figura 5.8. Mapa diario de Riesgo de incendios elaborado por la Direcció General dels Agents Rurals en el contexto del Plan Alfa.

La longitud de las calles o pistas de desembosque determinará la distancia entre las pistas forestales y la densidad recomendable de las mismas (tabla 5.15).

En el caso de que el desembosque no precise la entrada de maquinaria en el interior del área de corta (ya que se realiza mediante arrastre por cable desde pie de pista, por animales o mediante cable aéreo), las características de las calles o pistas de desembosque son más reducidas, dependiendo del sistema de aprovechamiento. La anchura puede oscilar de 2,5 a 3,5 m y la longitud de las calles de 20 a 40 m para tractor agrícola y de 50 a 70 m para *skidder*. La densidad de calles será de 110 a 225 m ha^{-1} para tractor agrícola y de 65 a 90 m ha^{-1} para *skidder* (Rodríguez *et al*. 2005).

En el caso de realizar el desembosque mediante animales, la longitud óptima de las calles será de 100 a 150 m y la densidad óptima de pistas de desembosque de 100 m ha-1 (Rodríguez et al. 2005)

Tabla 5.15. Longitud y densidad de las pistas de desembosque según el tipo de desembosque mecanizado (Rodríguez et *al*. 2005).

		Tractor agrícola	*Skidder*	Autocargador
Longitud (distancia máxima desembosque) (m)	Óptima	50 a 75	100 a 125	150 a 300
	Máxima	150 a 175	200 a 250	1 300 a 1 500
Densidad pistas, desembosque bidireccional (m ha^{-1})	Óptima	75	40	25
	Mínima	25 a 30	20	5 (hasta 15-25)
Densidad pistas, desembosque unidireccional (m ha^{-1})	Óptima	165	110	60
	Mínima	60 a 65	50 a 60	10 (hasta 45-60)

5. Condicionantes selvícolas

El modelo de gestión forestal que se esté desarrollando en el monte es un condicionante de primera magnitud de las operaciones a realizar en el aprovechamiento. El señalamiento realizado, el tipo de corta, la superficie de corta, la intensidad de la corta, las características de la masa después del aprovechamiento y el método de aprovechamiento elegido determinarán cual es la operación de corta y desembosque más apropiada para el monte (Rodríguez et *al*. 2005).

- **Tipo de corta.** Según se trate de primeras, segundas claras o cortas de regeneración, las técnicas a emplear podrán variar. En el caso de primeras claras la reducida distancia entre los pies y el pequeño tamaño de los productos a extraer precisa la apertura de calles para poder realizar la extracción de los productos de forma mecanizada (figura 5.9). En este caso el método de aprovechamiento podría ser el de madera corta, utilizando para el apeo y procesado una cosechadora forestal y para el desembosque un autocargador. En el caso de cortas correspondientes a segundas claras o cortas de regeneración la mayor distancia entre los pies permite la mecanización del desembosque. Generalmente el método de aprovechamiento es de fuste entero. El apeo y procesado se realizaría manualmente, con motosierra, y el desembosque con skidder.

Figura 5.9. Primeras claras en una masa de *Pinus sylvestris*. Masa previa a la actuación (izquierda) y masa tras la actuación con apertura de calles para el trabajo con cosechadora (Fotos: J. Pemán).

- **Intensidad de la corta**. La intensidad de la corta condiciona, igualmente, las operaciones a realizar, en este caso, desde un punto de vista económico (figura 5.10). Las cortas inferiores a 20 t ha^{-1} hacen recomendable las cortas manuales y el desembosque por tracción animal, mientras que las cortas entre 20 y 40 t ha^{-1} permitirían una mecanización en las operaciones de apeo y desembosque. Para intensidades de corta superiores a 40 t ha^{-1} el *skidder* y el autocargador podrían ser los más adecuados según las condiciones del terreno.

Figura 5.10. Primeras claras en una repoblación realizada por terrazas de *Pinus sylvestris*, en donde se realiza una corta sistemática de una terraza de cada tres (fotos: J. Pemán).

- **Características de la masa**. Las características con que quedará la masa después del aprovechamiento, sobre todo en lo que hace referencia a la densidad y la separación de los pies, condicionarán las diferentes operaciones (Rodriguez et al. 2005) (tabla 5.16).

Tabla 5.16. Técnicas de desembosque según la densidad, separación de pies y métodos de aprovechamiento.

Densidad (pies ha^{-1})	Separación pies (m)	Restricciones	Método aprovechamiento		Medios
			Fuste entero	Madera corta	
850 a 1 350	2,5 a 3,5	Acceso mecanizado difícil	Solo árboles de poca altura	Desembosque longitudinal, rollos de 4 m	Arrastre animal
		Acceso maquinaria, calles de 3,5 m	Permite desembosque de forma semisuspendida y suspendida	Permite madera suspendida	Medios mecanizados Autocargador, carga transversal
400 a 850	3,5 a 5	Dificultad maniobrar	Longitud pieza depende pendiente	Carga longitudinal por paquetes o madera corta	Autocargador carga longitudinal *Skidder*, tractor agrícola
400 a 500	5 a 15	No hay límites maquinaria	Cualquier longitud	Todo tipo de carga	Todas posibilidades de mecanización según terreno

Como regla general, cuanto mayor es la densidad más conveniente es utilizar el sistema de aprovechamiento de madera corta, para evitar daños en la masa.

El diámetro y volumen medio de los árboles condicionan el material y los equipos que se pueden emplear en la explotación. Por ejemplo, si se está ante una primera clara de una plantación de pino, los árboles tendrán unos diámetros normales de 10-30 cm y unos volúmenes unitarios de 0,04-0,4 m^3, se pueden utilizar cosechadoras más ligeras que son más económicas. A medida que aumenta el diámetro y volumen medio de los árboles, aumenta el rendimiento, tanto de operaciones manuales como de las máquinas. Actualmente los cabezales cosechadores en uso de mayor dimensión presentan un diámetro máximo de utilización de unos 60 cm por lo que no se pueden emplear para árboles de mayor grosor. Sin embargo, la tendencia actual en el centro-norte de Europa y Norteamérica es ir hacia cabezales que permiten trabajar con diámetros de hasta 70-80 cm.

La forma de ramificación de los árboles y la rectitud de sus troncos condicionan mucho la posibilidad de realizar su procesado de forma mecanizada. Para que esto sea posible, los árboles deben poseer troncos rectos y ramas que no sean gruesas. En este sentido, el procesado en montes de coníferas se mecaniza mucho más fácilmente que los montes de frondosas (a excepción del eucalipto y el chopo) ya que las coníferas presentan, en general, ramificación monopódica con troncos rectos y únicos (sin bifurcaciones) y con ramas finas, que favorecen la operación de desramado con cabezales cosechadores. Sin embargo, en algunas masas de coníferas se encuentran a menudo árboles tortuosos o bifurcados que disminuyen el rendimiento de los cabezales y en algunos casos deben ser procesados de forma manual.

6. Bibliografía

Abreu JM (1995) Propiedad, titularidad y funcionalidad de los terrenos forestales. ICONA, Madrid.

Ambrosio Y, Picos J, Valero E (2001) Condicionantes para los aprovechamientos forestales en Galicia. Tercer Congreso Forestal Español, Granada 25 al 28 de septiembre de 2001, 7 pp.

Agherkakli B, Najafi A, Sadeghi SH (2010) Ground based operation effects on soil disturbance by steel tracked skidder in a steep slope of forest. J For Sci 56:278-284.

Bartoli M, Brêthes A, Cacot E, Chagnon JL, Gauquelin X, Nicolas M, Richter C (2009). Guide pratique : Pour une exploitation forestière respectueuse des sols et de la forêt « PROSOL ». Guide practique, ONF.

Boto J, López-Díez J, Marcelo V, Pastrana P (2000) Trabajos de tracción: influencia de la rodadura y el patinamiento. Vida Rural 68-70.

Cambi M, Certini G, Neri F, Marchi E (2015) The impact of heavy traffic on forest soils : A review. For Ecol Manage 338:124-138.

Centro Prevención Riesgos Laborales (2007) Trabajos en ambientes calurosos. Junta de Andalucía.

Collins K, Gallagher G, Gardiner J, et al. (2000) Code of best forest practice - Ireland. Forest Service.Department of the Marine and Natural Resources, Dublin.

Gabaldón M (2013) Manual de buenas prácticas en aprovechamientos forestales en Castilla-La Mancha. Junta de Castilla-La Mancha.

Horn R, Blackwell P, White R (1989) The effect of speed of wheeling on soil stresses, rut depth and soil physical properties in an ameliorated transitional Red - Brown earth. Soil Tillage Res 13:353-364.

Jiménez-Fernández F, Gordo F, González-Romero A (2006) Manual sobre criterios de gestión forestal compatibles con la conservación de las especies de aves y quirópteros asociados a hábitats forestales. Junta de Castilla y León, Valladolid.

Laina R, Acuña M, Picos J (2017) Estado del arte en el transporte de madera en rollo y biomasa desde el monte a fábrica, una comparativa España-Australia. 7º Congreso Forestal Español. Plasencia, Extremadura 26-30 de junio de 2017. 7CFE01-573.

Márquez L (2004) Maquinaría agrícola. Blake y Hesley España, Madrid.

Maza de la J (1970) Criterios y factores que condicionan los aprovechamientos forestales (I). Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias, Madrid.

McNabb H, Startsev A, Nguyen H (2001) Soil wetness and traffic level effects on bulk density and air-filled porosity of compacted boreal forest soils. Soil Sci Soc Am J 65:1238-1247.

Mégille X (1956) Tractors for logging. FAO.

Owende P, Lyons J, Ward S (2002) Operations protocol for Eco - Efficient wood harvesting on sensitive sites.

Removal FF, Formation R (2015) Effects of skidder on soil compactation . Madera y Bosques 21:147-155.

Rodríguez J, Juanati C, Piqué M, Tolosana E (2005) Tècniques de desembosc en l'aprofitament forestal. Centre Propietat Forestal, Barcelona.

Tolosana E (2016) Para una gestión forestal sostenible, más madera. Iniciativas, oportunidades y barreras a la movilización de madera de coníferas en el centro y norte de España. Fundación Conde del Valle de Salazar, Madrid, 103 pp.

Sundberg U, Silversides C (1988) Operational efficiency in forestry. Volume I: Analysis. Kluwer Academy Publishers.

Unidad Salud Bosques (2011) Barrenador del pino silvestre (*Ips acuminatus*). Zaragoza

Unidad Salud de los Bosques (2010) Perforadores de pinos. *Tomicus piniperda* y *Tomicus destruens*. Gobierno Aragón, Zaragoza.

Unidad Territorial Noroeste-Río Mula (2012) Criterios de gestión forestal para la conservación de especies de aves rapaces.

Villapol D (1997) A Madeira en Galicia e os aproveitamentos forestais. En: Inventario e Aproveitamentos Forestais. Proxecto Adapt, E.P.S., Universidade de Santiago de Compostela, pp. 209-217.

Xunta de Galicia (2018) 1ª revisión del Plan Forestal de Galicia. Documento de diagnóstico del monte y del sector forestal gallego. Consellería do Medio Rural, Xunta de Galicia,195 pp.

Capítulo 6
El apeo y procesado manual

Jesús Pemán García

1. Introducción

El apeo o derribo es la primera de las operaciones del aprovechamiento de los productos madereros. Su objetivo es la corta del árbol en pie. Esta operación se puede realizar de una manera manual o mecanizada. En la operación manual la herramienta utilizada es la motosierra aunque, para clareos de árboles de pequeño diámetro, se puede utilizar la motodesbrozadora. En las técnicas mecanizadas se pueden utilizar cabezales cortadores, que solo realizan el apeo, o cabezales cosechadores o procesadores que realizan el apeo y procesado del fuste. Ambos cabezales se pueden implementar en diferentes chasis, ajustándose así a las diferentes características del terreno.

Por el riesgo que tiene esta operación, sobre todo cuando afecta a árboles de grandes dimensiones, decrépitos o muertos, es conveniente conocer las cargas que el árbol soporta y valorar unas operaciones previas antes de su ejecución.

2. El comportamiento mecánico del árbol

Todo árbol está sometido a un conjunto de cargas estáticas y dinámicas que han configurado su estructura y hacen que las fibras que componen la madera del mismo puedan estar sometidas a esfuerzos de tracción, compresión y cortantes (Mattheck 1991). Durante su crecimiento los árboles adaptarán su estructura a estas cargas (figura 6.1).

Figura 6.1. Perfil de los arboles que crecen bajo fuertes vientos (izquierda), pendientes elevadas (centro) o en terrenos llanos sin cargas adicionales a su propio peso (derecha) (Fotos: J. Lloveras (izquierda) y J. Pemán).

Esta adaptación se ha descrito que se realiza cumpliendo los principios de: i) Mínima palanca, ii) Carga uniforme y iii) Distribución de fibras y anillos de crecimiento siguiendo el flujo de fuerzas axiales y tangenciales (Calaza e Igesias 2016). Por ejemplo, por el principio de la mínima palanca el árbol minimiza la acción de los momentos flectores por la acción del viento reduciendo su longitud a través de una autoflexión activa de las partes rígidas o, a través, de inclinaciones pasivas de las partes flexibles (figura 6.1. izquierda). Por el principio de la carga uniforme, el árbol tienden a distribuir uniformemente las cargas que soporta sobre la superficie del mismo. Este principio se manifiesta claramente en el desarrollo del sistema radical, la creación de contrafuertes o en las adaptaciones a contactos mecánicos. El principio de distribución de fibras y anillos de crecimiento siguiendo el flujo de fuerzas axiles y tangenciales se pone en evidencia con la formación de la madera de reacción. Esta madera se forma como respuesta a una orientación no vertical del tronco o para compensar las cargas en direcciones especificas (viento, fuertes pendientes, etc.) y se asocia con el crecimiento radial excéntrico del tronco que tiende a corregirlo (Vargas 2017). Así, en las gimnospermas la madera de reacción se denomina madera de compresión ya que aparece en zonas del árbol sometidas a tensiones de compresión, como por ejemplo la parte inferior de los tallos inclinados o torcidos o en la parte baja de las ramas (figura 6.2). Mediante la formación de esta madera el árbol tiende a recuperar su verticalidad. La madera de compresión tiene mayor contenido en lignina, menos en celulosa y una mayor densidad que la madera normal.

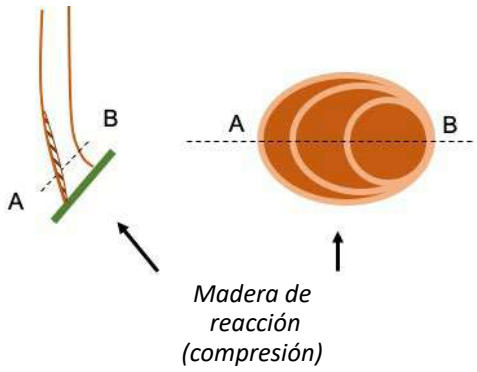


Figura 6.2. Formación de la madera de reacción (madera de compresión) en coníferas con tallos inclinados.

Por el contrario, en las angiospermas la madera de reacción, que se denomina madera de tracción porque aparece en las zonas del árbol sometidas a tracción, se forma en la parte superior de los tallos inclinados (figura 6.3). Su contenido en lignina es menor y mayor el de celulosa.

Atendiendo a estos principios, para adaptar su estructura a las cargas que soporta, el árbol desarrolla un crecimiento diferenciado en las partes del tronco (Mattheck 1991; Calaza e Igesias 2016; Vargas 2017) (figura 6.4). Partiendo de la consideración que el árbol se considera a efectos mecánicos como una viga elástica empotrada, si el árbol está sometido exclusivamente a su peso, la sección soporta un esfuerzo uniforme de compresión. Hay que tener presente que la madera tiene una baja aptitud a la compresión, casi la mitad de la tracción, debido a la naturaleza de sus fibras que, al estar formadas por células alargadas de pared delgada, tienden a pandearse cuando se someten a cargas de compresión. Las tensiones propias del crecimiento

originan que las capas más externas de la sección del tronco queden sometidas a tensiones de tracción, mientras que las del interior lo hacen a compresión. Cuando el árbol está sometido a una carga dinámica como el viento, la distribución de tensiones es lineal, ubicándose las tensiones máximas de compresión y tracción en la periferia de la sección, en el punto más alejado del centro. Cuando a las tensiones originadas por el crecimiento se superpone la acción de una carga dinámica como el viento, la resultante muestra una distribución de tensiones donde las fibras de la parte exterior a barlovento están sometidas a esfuerzos axiales de tracción, mientras que las de sotavento lo están a compresión. Pretensionándose de esta manera el árbol consigue reducir la tensión máxima de compresión, aumentando notablemente su resistencia a la flexión. Este pretensionado, al que puede estar sometido el tronco del árbol, hay que tenerlo muy presente en el momento del apeo. Del mismo modo habrá que tener presente todas aquellas circunstancias que pueden disminuir su resistencia mecánica, como pudriciones, abultamientos, deformaciones, grietas, chancros, etc. Como criterio general siempre se deberán empezar las operaciones de derribo por la zona del árbol sometida a compresión.

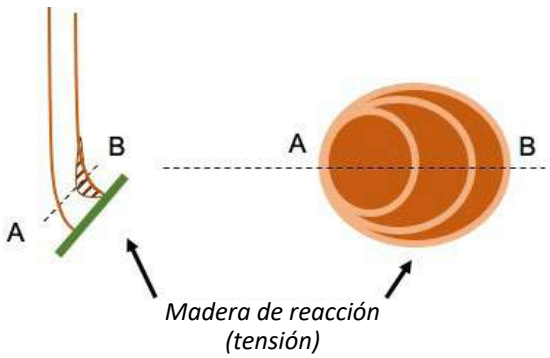
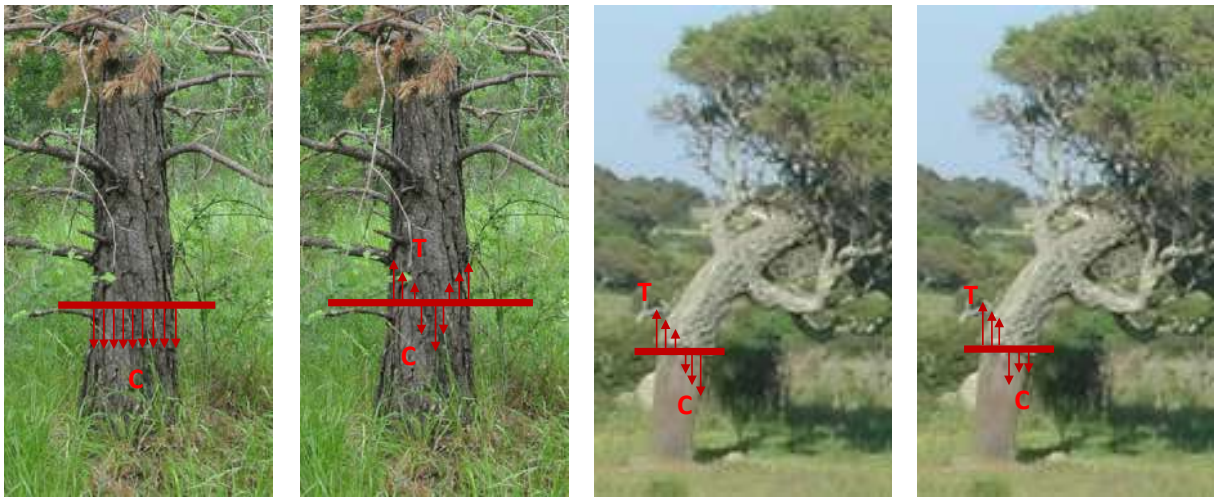


Figura 6.3. Formación de la madera de reacción (madera de tensión) en frondosas con tallos inclinados (Fotos: J. Pemán).



Peso Crecimiento Viento Crecimiento + Viento

Figura 6.4. Pretensión axial de los troncos de los árboles según las cargas que soportan (C: Esfuerzos de compresión, T: esfuerzos de tracción).

3. Operaciones previas al apeo

Las operaciones previas al apeo de los árboles son diferentes según la técnica empleada para el derribo, aunque comparten algunos aspectos comunes como son:

- Reconocimiento del rodal a cortar, identificando perfectamente sus límites.
- Reconocimiento de los factores limitantes o condicionantes para su ejecución, sobre todo lo que hace referencia al desplazamiento de obreros o máquinas por el monte (fuertes desniveles, fuertes pendientes, áreas muy pedregosas, cursos de agua, etc.) o los que pueden condicionar las operaciones de derribo (líneas eléctricas, infraestructuras, áreas a preservar, etc.).
- Definición o reconocimiento de las pistas de desembosque.
- Reconocimiento de los árboles a cortar, si previamente se ha hecho la operación de señalamiento.
- Observación del árbol a cortar, para valorar su configuración y los riesgos que puede tener su apeo.
- Definición de la dirección de caída.

4. El apeo manual con motosierra

En las técnicas manuales se utilizan hoy en día herramientas a motor, como la motosierra o la motodesbrozadora, no utilizándose ya las herramientas a brazo como el hacha o las sierras. Sobre estas técnicas manuales en desuso se puede consultar la obra de Silversides y Segerström (1983).

El apeo con motosierra consiste en el derribo de un árbol en pie mediante la utilización de una herramienta a motor, la motosierra. En nuestro país, se estima que el 85% de las cortas se realizan de forma manual con motosierra.

Las limitaciones principales al apeo manual vienen impuestas por las condiciones meteorológicas en el momento del apeo (tabla 6.1).

Tabla 6.1. Limitaciones para el apeo manual.

Factor	Limitaciones	Factor	Limitaciones
Ambiente	Viento > 50 km h^{-1} Nieve > 30 cm Niebla espesa, visibilidad < 50 a 100 m	Diámetro (cm)	
Pendiente (%)	> 60	Pedregosidad	Ninguna
Vegetación		Accesibilidad	Ninguna
Porte	Ninguna		

4.1.Equipo

El equipo necesario para el desarrollo de esta técnica es: i) la motosierra, ii) las cuñas y la maza, iii) la palanca de derribo y iv) El equipo de protección individual (EPI) (ver capítulo 16).

4.1.1. La motosierra

La motosierra es una herramienta portátil a motor de corte por diente que se emplea para el apeo, desrame y tronzado de árboles. Los modelos comerciales más frecuentes son *Stihl* (Alemania), *Husqvarna* (Suecia), *Jonsered* (Suecia), *Ayerbe* (España), Echo (Japón), Anova (España), Einhell, McCulloch, Makita, etc. Consta de un conjunto motor que suministra la energía necesaria a un conjunto de corte cuyo principal elemento es la sierra de cadena (tabla 6.2). En función de la potencia y el peso, las motosierras se pueden clasificar en tres grupos:

- Motosierras ligeras. Peso inferior a 5 kg, con motor de menos de 40 cm^3 y potencia inferior a 2 kw. No son muy usadas en el ámbito forestal.

- Motosierras medianas. Peso entre 5 y 8,5 kg, con motores entre 45 y 65 cm^3 y potencias entre 2 y 5 kw. Son las más utilizadas. La espada suele ser de 45 cm.

- Motosierras pesadas. Peso superior a 8,5 kg, con motores de más de 65 cm^3 y potencias superiores a 5 kw.

Tabla 6.2. Características técnicas de algunos modelos comerciales de motosierras.

Marca	Modelo	Cilindrada (cm3)	Potencia (kW)	Peso (kg)	Longitud espada (cm)
STIHL	MS 241 C-M	42,6	2,3	4,53	35 a 45
	MS 261 C-M	50,2	3	4,93	40 a 45
	MS 261 C-MQ	50,2	3	5,3	40
	MS 261 C-BM	50,2	3	5,13	40
	MS 362 C-M	59	3,5	5,83	40 a 45
	MS 441 C-M	70,7	4,2	6,63	40 a 50
	MS 461	76,5	4,4	6,73	40 a 50
	MS 661 C-M	91,1	5,4	7,43	45 a 50
	MS 880	121,6	6,4	9,83	63 a 105
HUSQVARNA	543XP	43,1	2,2	4,5	45
	550XP	50,1	2,8	4,9	50
	560XP	59,8	3,5	5,7	51
	372XP	70,7	4,1	6,5	71
	390XP	87,9	4,8	7,1	70
	576XP	73,5	4,2	6,6	80
	395XP	93,6	4,9	7,9	90
	3120XP	118,8	6,2	10,4	105

Marca	Modelo	Cilindrada (cm3)	Potencia (kW)	Peso (kg)	Longitud espada (cm)
JONSERED	CS2152	51,7	2,4	5	33 a 50
	CS2156	56,5	3,2	5,6	33 a 50
	CS2159	59	3	5,6	33 a 50
	CS2165	65,1	3,4	6	38 a 70
AYERBE	MTS550	50	2	7,5	50

De los componentes principales de la motosierra (figura 6.5), merece hacerse un especial comentario del elemento de corte compuesto por la espada y la cadena.

Figura 6.5. Componentes principales de una motosierra. 1: Empuñadura delantera, 2: Protector mano derecha, 3: Protector mano izquierda y freno de cadena, 4: Empuñadura posterior, 5: Cadena, 6: Espada, 7: Captor de cadena, 8: Garras de corteza, 9: Escape delantero. Silenciador, 10: Protector piñón tambor, 11: Acelerador, 12: Dispositivo de arranque del motor, 13: Depósito de gasolina y de aceite para la cadena.

- Espada o barra guía. Es la pieza que soporta la cadena y permite su movimiento gracias a la acanaladura o riel del que dispone. Debe ser resistente, para soportar el trabajo sin doblarse, y debe minimizar la fricción del movimiento de la cadena. Dos de los atributos más característicos de la espada son su longitud y el tipo de punta. La elección de la longitud de la espada es una decisión clave y depende del diámetro de los árboles a cortar. Como norma general se recomienda que la longitud de la espada sea superior a la mitad del diámetro del tronco a cortar (tabla 6.3). Además de por su longitud, las espadas se pueden clasificar según su punta, en: i) Espadas con punta fija (*duromatic*), ii) Espadas con punta de piñón o estrella de reenvío (*rollomatic*). Un piñón en la punta hace que esta se eleve ligeramente y no entre en contacto con la espada reduciendo la fricción y iii) Espadas de punta intercambiable (figura 6.6).

Tabla 6.3. Longitudes de espada en función del diámetro del árbol (Ambrosio et al. 2012).

Diámetro (Ø) del árbol en su base (cm)	Longitud espada (cm)
< 40	30
40 < Ø < 80	40
50< Ø < 90	50
60 a 100	60

- Cadena. Es el elemento de corte de la motosierra gracias a los dientes gubia o de corte que están dispuestos a lo largo de toda su longitud. La cadena de una motosierra está compuesta por tres tipos de piezas: el eslabón motriz, los dientes gubia y los eslabones de unión. Una descripción más detallada de estos componentes se puede encontrar en el anejo 3.

Figura 6.6. Espada de punta fija (superior), intercambiable (medio) y con piñón de reenvío (inferior) (Fuente:Husqvarna)

La cadena de la motosierra corre hacia delante por la parte superior de la espada girando por la punta hacia la parte inferior. En su extremo superior derecho está la zona de más riesgo para el motoserrista por la posibilidad de que se produzca un efecto de rebote en la motosierra, girando esta hacia el operario. Este efecto se puede producir cuando la cadena entra en contacto involuntariamente con madera u otro objeto sólido por el sector del cuarto superior de la punta de la espada (figura 6.7).

Figura 6.7. Extremo superior de la espada de la motosierra que puede inducir un efecto de rebote si contacta con un objeto sólido (Foto: J. Pemán).

Con la motosierra se pueden dar, generalmente, tres tipos de corte, según el mismo se haga con la parte de la cadena que corre hacia delante, con la parte de la cadena que corre hacia atrás o pinchando con la punta de la espada (Ambrosio et al. 2012)(figura 6.8):

1. Corte normal. Corte con la cadena tirando, corte con la parte inferior de la cadena o corte con la cadena que corre hacia atrás. La motosierra avanza hacia el tronco, por lo que el motoserrista no tiene que hacer nada de fuerza, y controla la velocidad de corte por si sola, con lo que se reduce el esfuerzo requerido para que penetre. En este corte, la motosierra dispone de más potencia útil y se desgastan menos los piñones, la espada y la cadena, reduciéndose también las vibraciones.

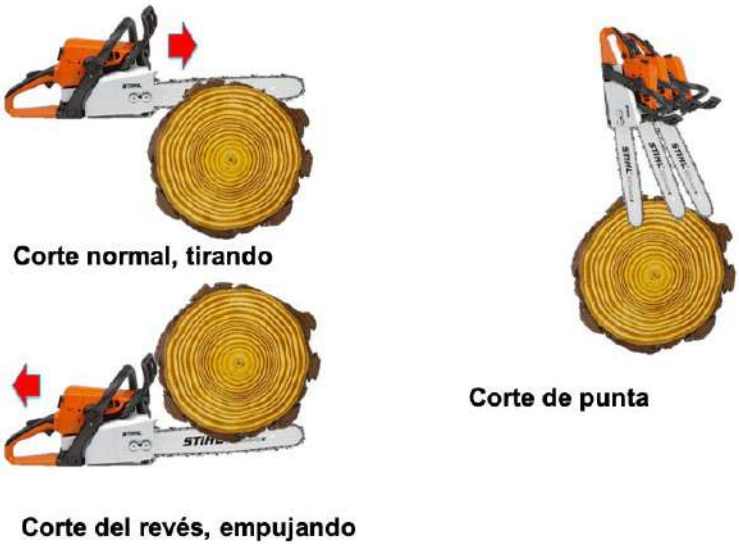


Figura 6.8. Corte normal con la motosierra empujando (izquierda superior), corte del revés (izquierda inferior) y corte con la punta (derecha).

2. Corte del revés. Corte con la cadena empujando, corte con la parte superior de la cadena o con la cadena que corre hacia delante. La motosierra tenderá a ir hacia el operario, por lo que deberá empujar para realizar el corte. En este corte, prácticamente todo el perímetro de la espada roza con la cadena tensionada por lo que el desgaste es mayor y si la cadena se aprisiona o choca con un objeto sólido, la motosierra puede retroceder de golpe hacia el operario.

3. Corte de punta o pinchado. La punta de la espada se va introduciendo a partir de la parte inferior de la misma y se va girando hasta introducirla en su totalidad. Es el corte que exige más experiencia al motoserrista ya que existe un riesgo elevado de efecto de rebote si se ejecuta mal. Este corte se suele ejecutar de forma lateral para la formación de la charnela, pinchado lateral, aunque también se puede realizar introduciéndolo en la parte central de la entalladura, denominándose corte de buzón o mortaja.

4.1.2. Las cuñas

Son un elemento imprescindible en el apeo manual, sobre todo para árboles aplomados y para árboles inclinados, cuando la dirección de caída no coincide con la de la inclinación.

Pueden ser metálicas, acero o aluminio, o de plástico, normalmente de poliamidas (figura 6.9). Las metálicas son más resistentes pero tienen como inconvenientes el riesgo de dañar la cadena de la motosierra, si contacta con ellas, y su peso, que es mayor en las de acero. Las de plástico son, en principio, menos resistentes, aunque cada vez hay más modelos de alto impacto o con cabeza reforzada que mejoran su resistencia. Las cuñas pueden ser lisas aunque lo más normal es que lleven algún tipo de estrías para mejorar su agarre en el tronco y evitar que se caigan cuando se va terminando el corte de caída. Existen nuevos modelos basados en el concepto de cuñas tipo huso, que una vez colocadas manualmente y sin maza en el corte de caída, van profundizando en el corte mediante el empleo de una llave de carraca, taladro o por control de remoto (figura 6.9).

Figura 6.9. Cuñas de plástico y maza (superior izquierda) (Foto: A. Aunós), cuña de huso accionada con taladro (superior derecha), cuñas metálicas de aluminio y maza (inferior) (Foto: J. Pemán).

Sus dimensiones son variables, entre 14 y 30 cm de longitud, formando ángulos entre 7 y 10°. Las cuñas de ángulo mayor se utilizan para las zonas de tensión y las de menor ángulo para la comprensión. Se recomienda que el motoserrista lleve un juego con varias cuñas, en función de las dimensiones de los árboles a cortar.

4.1.3. La palanca de derribo

Herramienta manual de ayuda en el apeo por permitir el levantamiento del tronco, en árboles pequeños o medianos, como por permitir el giro del mismo gracias al gancho del que dispone

en el extremo de su eje (figura 6.10). La casa *Stihl* comercializa diferentes modelos con una longitud de 80 y 130 cm y un peso de 1,8 y 3,4 kg.

Figura 6.10. Palanca de derribo (izquierda) (Fuente: www.stihl.es) y utilización de la palanca para girar un tronco que ha quedado enganchado en su caída (derecha) (Foto: J. Pemán).

4.2. Descripción del proceso

En esta fase cabría distinguir dos etapas: i) Operaciones previas, y ii) Derribo.

4.2.1. Operaciones previas

Antes de realizar el apeo del árbol el motoserrista debe (Brenta et al. 2007; Ambrosio et al. 2012; González-González de Linares et al. 2014):

1. Analizar el árbol y su configuración. Se debe analizar la especie a cortar, en la que se debe valorar las características de las fibras y el riesgo de rotura de las mismas, la base del árbol (diámetro, existencia de contrafuertes, daños, bifurcaciones, la existencia de madera de reacción o reviramiento de las fibras), el fuste (chancros, oquedades, enjambres de avispa en las oquedades, bifurcaciones, curvatura, inclinación), la altura y la copa (distribución respecto del fuste, presencia de nieve, ramas secas, etc.) (figura 6.11).

2. Analizar el área circundante. Se deberá tener en cuenta los obstáculos existentes (rocas, troncos muertos, otros árboles), la existencia de infraestructuras (carreteras, líneas eléctricas, construcciones), la existencia de piedras alrededor del árbol y en las proximidades del tocón, la fisiografía, el daño a la masa remanente y las condiciones meteorológicas existentes (visibilidad y viento).

3. Determinar la dirección de caída. A partir de los análisis anteriores (características del árbol, de la masa y de la zona de corta) y de la dirección de la saca, se definirá la dirección de caída del árbol (figura 6.12).

4. Realizar las operaciones de limpieza alrededor del árbol a derribar y de la posible ruta de escape (figura 6.13).

Figura 6.11. Estructura de la copa del árbol (superior izquierda), tronco con pudriciones (superior centro), tronco con fibras reviradas (superior derecha) (Fotos: J. Pemán), oquedades en la base del tronco (inferior izquierda) y daños por el fuego (inferior derecha) (Fotos: A. Aunós).

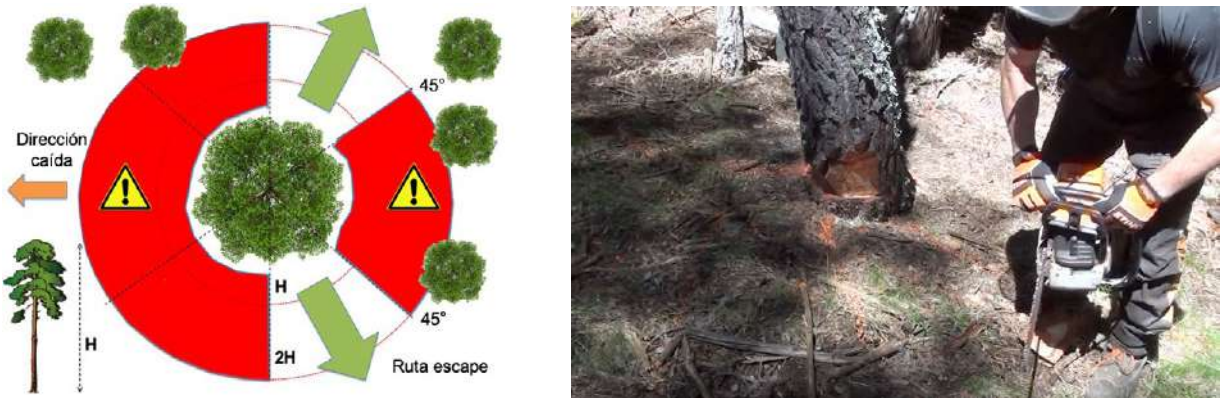


Figura 6.12. Determinación de la dirección de caída (superior), esquema que representa la dirección de caída del árbol y las rutas de escape seguras (inferior izquierda) y marcado de la ruta de escape (inferior derecha) (Foto: J. Pemán).

Figura 6.13. Limpieza alrededor del árbol a cortar (Foto: J. Pemán).

5. Eliminar las ramas bajas, siempre que estén por debajo de la altura del hombro, que puedan molestar la operación del apeo o interferir en la caída del árbol.

6. Eliminar los contrafuertes de carácter radical que puedan existir en la base del tronco o mejorar el cilindrado del fuste, cuando este tiene una forma acampanada muy pronunciada, mediante cortes verticales y horizontales de poca profundidad a ambos lados de la entalladura (figura 6.14).

Figura 6.14. Eliminación de los contrafuertes (Foto: V. Dorronsoro).

Antes de iniciar propiamente los cortes para el apeo del árbol hay que determinar la altura a la que estos se realizarán de la superficie del suelo que, a su vez, determinará la altura del tocón resultante. Normalmente los criterios que la determinan son los de aprovechar el mayor volumen de madera posible y reducir la existencia de obstáculos sobre la superficie del monte. La altura normalmente recomendada es de 10 cm, aunque puede haber diferentes situaciones que aconsejen una altura de corte superior:

- Evitar daños en la masa remanente como consecuencia de las operaciones de arrastre.

- En zonas de montaña con deslizamiento de nieve, el tocón más alto puede reducir el arrastre, contribuyendo a favorecer un mayor regenerado aguas abajo del mismo.

- En el caso de sospechar la existencia de madera podrida en la base del tronco, una altura de corte más elevada puede contribuir a que la operación del apeo sea más segura.

- En el caso de árboles tumbados por el viento, una altura del tocón más alta puede contribuir, por el efecto de las tensiones a que está sometido, a que el tocón recupere la posición vertical.

- En el contexto de espacios naturales protegidos se puede dejar el tocón más alto o descopar los fustes, como una contribución a la biodiversidad, al dejar un mayor porcentaje de madera muerta gruesa que favorece la colonización de ciertos insectos (*Ergates faber*) o la presencia de pícidos.

- En los terrenos afectados por incendios, en donde la madera no tiene aprovechamiento comercial, el tocón más alto puede contribuir al anclaje de las empalizadas o de las fajinas para la retención de los sedimentos arrastrados por el flujo de escorrentía superficial (figura 6.15).

Figura 6.15. Altura de tocón normal en donde se puede visualizar los dos planos de corte (superior izquierda), tocón alto que se deja para anclar las empalizadas y fajinas en las superficies quemadas con riesgo de erosión (superior derecha), tocones altos para favorecer la presencia de madera muerta (centro izquierda) (foto: A. Aunós), tocón alto en árboles derribados por el viento (centro derecha)(foto: A. Aunós) y árboles descopados para mejora de la biodiversidad al aumentar la madera muerta gruesa (Fotos: J. Pemán).

4.2.2. Derribo o apeo

El derribo o apeo del árbol con motosierra comprende, básicamente, los siguientes cortes (figura 6.16): 1) Corte de dirección. Se compone de dos cortes, normalmente uno oblicuo y otro horizontal, que dan lugar a la entalladura, que determina la dirección de caída del árbol y permite la rotura de la bisagra cuando el árbol en su caída ha superado un cierto ángulo; 2) Corte de caída. Se da en la parte del tronco opuesta a la entalladura y es perpendicular al eje del tronco. En el caso más sencillo consiste en un solo corte, aunque en árboles grandes o inclinados se realizan más. Con las características de este corte se conforma la bisagra, elemento clave en el proceso de caída del árbol.

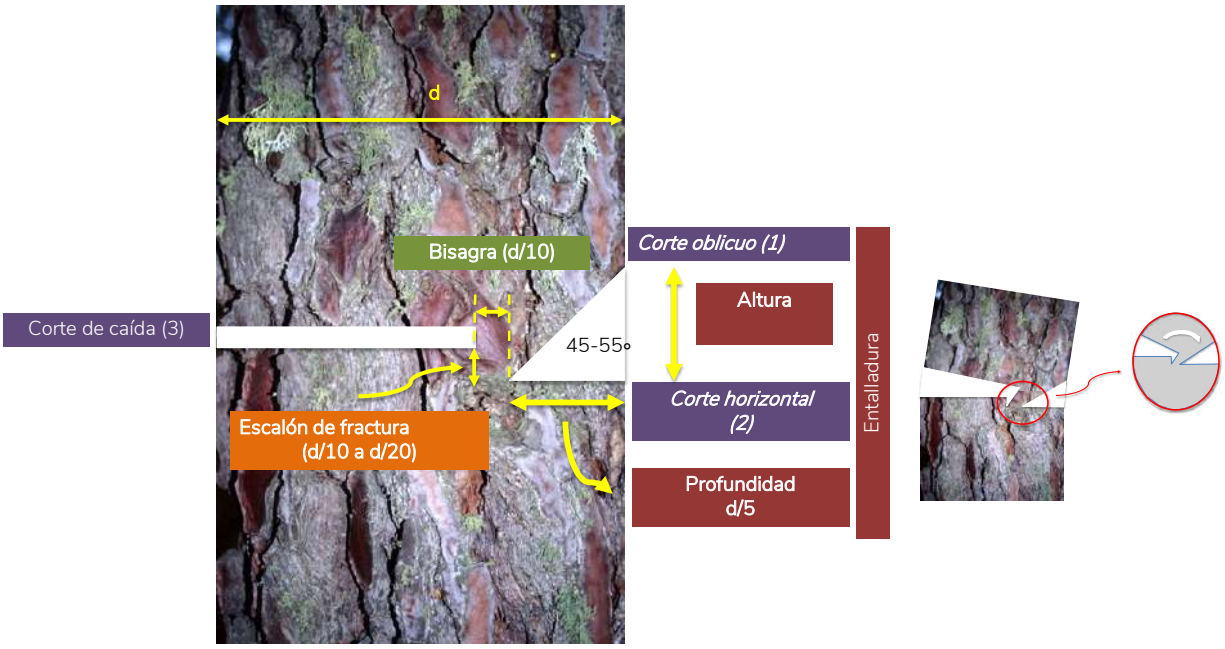


Figura 6.16. Esquema de los tres cortes convencionales de derribo de un árbol, con las dimensiones recomendadas para los parámetros que los definen (izquierda) y efecto de la bisagra formada por ellos en el inicio del movimiento de caída del árbol (derecha)(adaptado de Servizio Foreste Ufficio Economia Forestale (1997)).

Además de estos cortes se pueden realizar otros complementarios, como son los llamados cortes de albura, que se dan a ambos lados de la entalladura para evitar el desfibrado o deshilado de los haces de fibras exteriores, con el consiguiente daño a la troza basal, y el giro incontrolado del tronco cuando no ha completado su caída.

4.2.2.1. Corte de dirección

Comprende los dos primeros cortes que determinarán la dirección de caída del árbol y que se realizan secuencialmente. Si la entalladura que se realiza es la convencional los cortes que se realizan son (figuras 6.17 y 6.18):

- Corte oblicuo. Este corte queda definido por el ángulo de inclinación del corte y por su profundidad en relación al diámetro del árbol. Ambas variables definirán la dimensión de la entalladura. Debe ser siempre el PRIMER corte, para evitar que la motosierra quede aprisionada por el árbol, sobre todo en el caso de árboles aplomados.

  Para proceder a realizarlo, y una vez determinada la dirección de caída, se apunta en esa dirección, con el punto de mira de la motosierra, desde el costado derecho del árbol. El corte se realiza con una inclinación, normalmente, entre 45˚ y 55˚ aunque puede llegar a oscilar, según motoserristas, entre 15 y 70˚ (figuras 6.16 y 6.17). La profundidad del mismo será la predeterminada, como posteriormente se comentará. Para analizar algunas de las ventajas e inconvenientes de los diferentes ángulos de inclinación hay que tener presente el riesgo de cierre de la entalladura antes de que se produzca la rotura de la bisagra. Partiendo de que la rotura de la bisagra se puede producir cuando la inclinación del árbol en la caída está entre 25 y 45˚, el aspecto clave es que la entalladura no se cierre antes de la rotura de la misma.

  Una vez hecha esta puntualización, hay que tener presente que el corte oblicuo define la altura de la entalladura. Si la altura es muy pequeña, es decir el ángulo de inclinación muy agudo, se corre el riesgo de que el árbol no pueda bascular lo suficiente antes de que se cierre la entalladura, teniendo un elevado riesgo de que la bisagra no se rompa y de que si se rompe se produzca un efecto de rebote con lo que eso supone de riesgo para la seguridad del operario (figura 6.18). En los árboles pequeños, de poco peso, es difícil que la bisagra se rompa al inclinarse el pequeño ángulo que le permite la entalladura. Los ángulos muy cerrados tienen como ventaja que se aprovecha al máximo la troza basal. En el caso de que el ángulo sea grande no hay riesgo de cierre de la entalladura antes de romperse la bisagra y, por tanto, no hay riesgo de efecto de retroceso o rebote. También presenta como ventaja la facilidad de realizar el corte de buzón o mortaja, cuando lo requieran las condiciones del apeo. Tiene como desventaja que es el que más desaprovecha la troza basal.

Figura 6.17. Formación de la entalladura. Corte oblicuo (Fotos: J. Pemán).

La profundidad del corte oblicuo está previamente determinada en función del tamaño que se requiera de la bisagra, ya que la profundidad define la longitud de la misma, como se puede

comprobar a partir de las ecuaciones del segmento circular (figura 6.19, tabla 6.4). Las ecuaciones de la cuerda y del ángulo del segmento circular son las siguientes:

C= $R\sqrt{2\,x\,(1-\cos\theta)}$, siendo θ = 2 x arccos ($\frac{d}{R}$). El área de un segmento circular es el área del sector circular menos el área del triángulo que forma el mismo. Su expresión en radianes es: A = $\frac{1}{2}R^2$ (θ - sen θ).

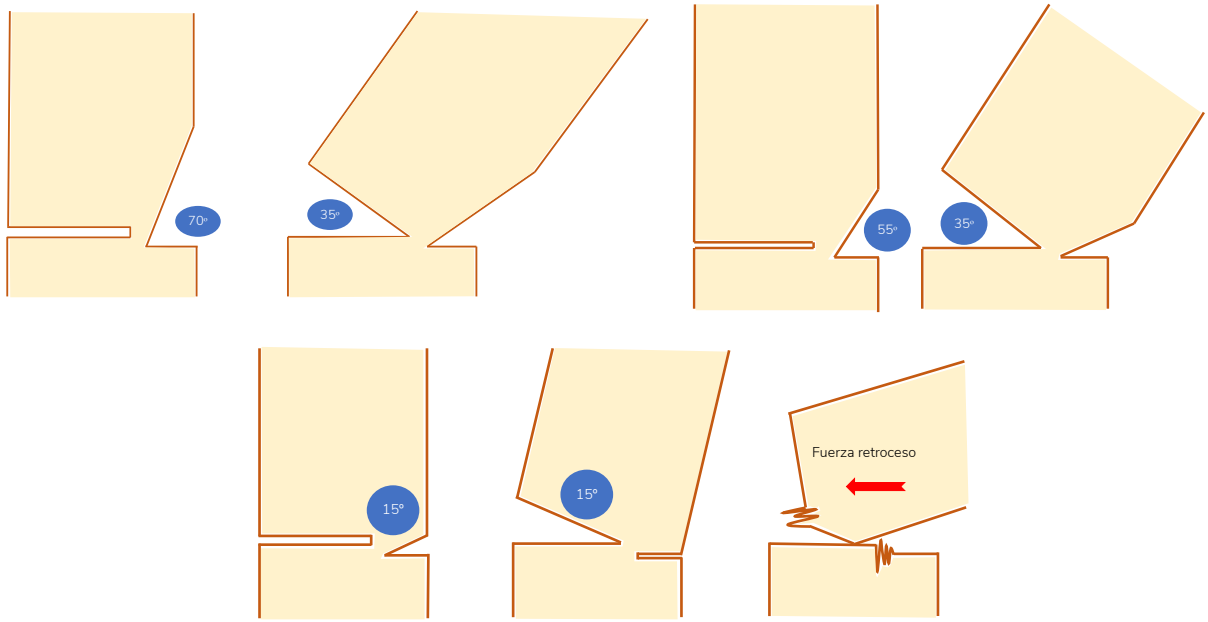


Figura 6.18. Esquemas de cortes oblicuos con diferente inclinación y consecuencias cuando se inicia el volteo después del corte de caída. Inclinación del corte oblicuo de 70° (superior izquierda), 55° (superior derecha) y 15° (inferior). En el caso del corte de 15° si el árbol en su caída llegará a romper la bisagra podría levantarse y retroceder la coz como consecuencia del cierre de la misma.

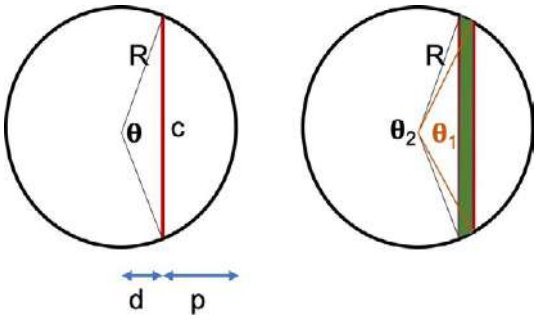


Figura 6.19. Figura del segmento circular que permite calcular la longitud de la bisagra en función de la profundidad de la entalladura (izquierda) y cálculo del área de la bisagra por diferencia del área de los segmentos circulares de ángulos θ_1 y θ_2 (derecha).

Tabla 6.4. Dimensiones de la bisagra y el volumen de troza desaprovechada en función del diámetro del árbol y el ángulo de inclinación y profundidad del corte oblicuo.[1]: la superficie de la bisagra se ha calculado por diferencia del área de dos segmentos circulares teniendo en cuenta que la anchura de la misma es la décima parte del diámetro. [2]: volumen del cilindro que tiene por la altura de la entalladura.

Diámetro árbol (cm)	Ángulo corte oblicuo (°)	Profundidad corte horizontal (parte del diámetro)	Longitud bisagra (cm)	Longitud bisagra / diámetro árbol (%)	Superficie bisagra (cm^2)[1]	Altura entalladura (cm)	Volumen troza desaprovechada[2] (m^3)
30	15	6	22,36	75	73,89	1,34	0,001
	45					5,00	0,004
	55					7,14	0,005
	70					13,74	0,010
	15	5	24,00	80	77,71	1,61	0,001
	45					6,00	0,004
	55					8,57	0,006
	70					16,48	0,012
	15	4	25,98	87	82,29	2,01	0,001
	45					7,50	0,005
	55					10,71	0,008
	70					20,61	0,015
	15	3	28,28	94	87,35	2,68	0,002
	45					10,00	0,007
	55					14,28	0,010
	70					27,47	0,019
40	15	6	29,81	75	131,35	1,79	0,002
	45					6,67	0,008
	55					9,52	0,012
	70					18,32	0,023
	15	5	32,00	80	138,15	2,14	0,003
	45					8,00	0,010
	55					11,43	0,014
	70					21,98	0,028
	15	4	34,64	87	146,29	2,68	0,003
	45					10,00	0,013
	55					14,28	0,018
	70					27,47	0,035
	15	3	37,71	94	155,29	3,57	0,004
	45					13,33	0,017
	55					19,04	0,024
	70					36,63	0,046

Cuanto mayor es la longitud de la bisagra se puede precisar mejor la caída del árbol. Normalmente la profundidad varía entre la quinta y la cuarta parte del diámetro, lo que supone que una longitud de la bisagra entre el 80 y el 87% del diámetro (tabla 6.4).

En los árboles que soportan una carga homogénea, en los que podemos considerar que la misma está aplicada en su centro de gravedad, y este está ubicado en el eje del árbol, la profundidad del corte oblicuo determina también la separación entre la bisagra y el eje del centro de gravedad, lo que determina el momento que se ejerce sobre la bisagra y el ángulo a partir del cual el árbol pierde su estabilidad e inicia su caída (figura 6.20 izquierda). En los árboles en donde la esbeltez es elevada (relación altura-diámetro), con una ligera inclinación del tronco se induce un momento como consecuencia del desplazamiento del centro de gravedad y se inicia la caída en la dirección marcada por la entalladura (figura 6.20 derecha). En la mayoría de los casos la elevación del tronco provocada por el uso de los cuñas es suficiente para inducir este momento.

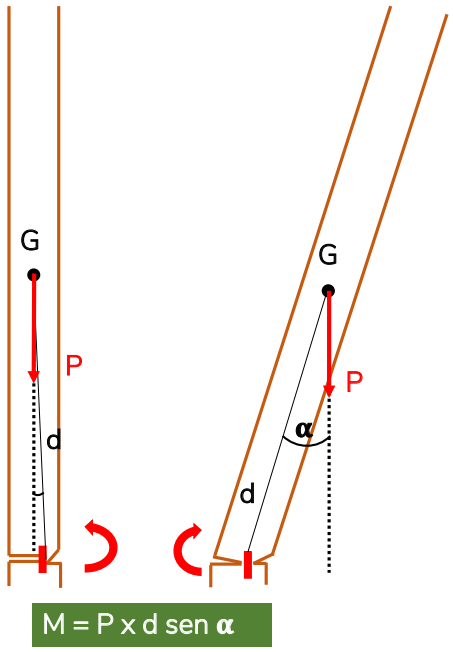


Figura 6.20. Centro de gravedad (G) y momento (M) que se genera en la bisagra en un árbol aplomado una vez completado su corte de caída (izquierda) y centro de gravedad y momento cuando el árbol en su caída se ha inclinado un ángulo de 15° (derecha). El peso del árbol se considera una carga puntual (P) aplicada en el centro de gravedad. La distancia de la bisagra al centro de gravedad es (d).

- Corte horizontal. Es perpendicular al eje del tronco y debe realizarse mirando a través del corte oblicuo, con el que debe confluir (figura 6.21). La profundidad del corte horizontal está condicionada por la profundidad del corte oblicuo (tabla 6.4).

  En el corte horizontal se debe vigilar que este no sobrepase la profundidad del corte oblicuo, para no reducir la funcionalidad de la bisagra (figura 6.22).

Figura 6.21. Formación de la entalladura. Corte horizontal (superior) y comprobación de la dirección de caída una vez formada la entalladura (inferior) (Fotos: J. Pemán).

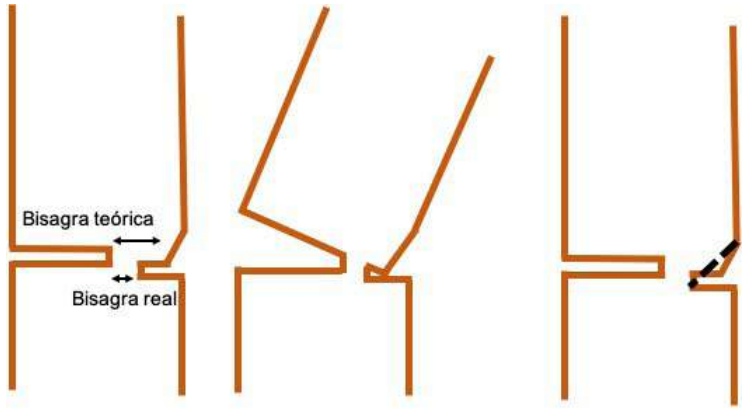


Figura 6.22. Reducción de la bisagra cuando el corte horizontal supera la profundidad del corte oblicuo (izquierda) y cierre de la entalladura como consecuencia del mismo (centro) y corte oblicuo de corrección de la entalladura (derecha).

La entalladura descrita con estos cortes se considera la convencional, aunque existen otros tipos de entalladura como son la entalladura en V o de cara abierta y la Humboldt o invertida (FITEC 2005) (figura 6.23). Las diferencias con la entalladura convencional son diversas (tabla 6.5).

Figura 6.23. La entalladura de cara abierta (izquierda) y Humboltd o invertida (derecha) (Fuente: Hvsquarna).

Tabla 6.5. Características de los diferentes tipos de entalladura.

Características	Convencional	Cara abierta	Humboltd
Ángulo entalladura (°)	45-55	70-90	45-55
Cierre entalladura	A la mitad de la caída	Antes de impactar con el suelo	A la mitad de la caída
Rotura bisagra	Pronto	Tarde	Pronto
Altura tocón	Menor	Mayor	Mayor o Menor según la pendiente
Primer impacto sobre el suelo	Cogolla	Cogolla	Coz
Troza basal	Afectada	Afectada	Intacta
Grado de seguridad	Media	Alta	Media

Complementariamente a los cortes que forman la entalladura pueden realizarse los llamados cortes de albura, también denominados como alas u orejeras, para evitar, como se ha indicado anteriormente, el deshilado de las fibras exteriores y la pérdida, como consecuencia del mismo, del valor de la troza basal. En ocasiones, según las tensiones a las que están sometidas estas fibras, podrían incluso hacer girar el tronco antes de completar su caída con el consiguiente riesgo en la operación. Consisten en unos costes laterales, a ambos extremos de la entalladura, que se dan con una inclinación de 45˚ (figura 6.24). Hay que valorar cuando es necesario darlos y evitarlos en árboles huecos o que presentan pudriciones para evitar dañar la bisagra.

Figura 6.24. Deshilado de las fibras exteriores de la bisagra (izquierda) y esquema de los cortes de albura (derecha) (Foto: J. Pemán).

4.2.2.2. Corte de caída

En el caso más frecuente y sencillo, consiste en un único corte transversal al eje del árbol, paralelo al plano definido por el corte horizontal de la entalladura y situado por encima del mismo. Está definido por dos parámetros: i) el escalón de fractura, que es la separación entre los dos planos horizontales, el del corte de caída y el horizontal de la entalladura (figura 6.25) y ii) la bisagra, charnela, franja de fractura o arista de ruptura, que es la distancia, respecto al eje del árbol, entre la entalladura y el corte de caída (figura 6.26).

Figura 6.25. Escalón de fractura (Fotos: A. Aunós, izquierda y J. Pemán, derecha).

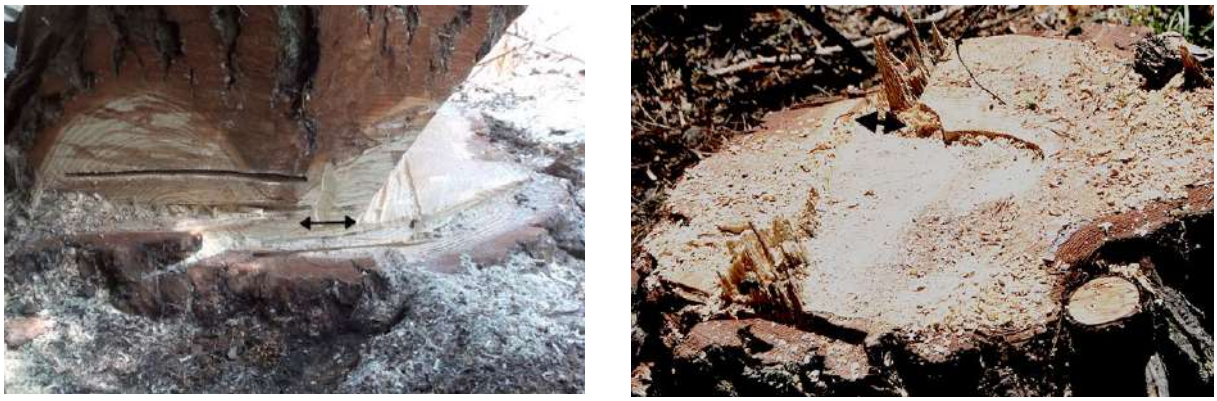


Figura 6.26. Dimensiones de la bisagra (Fotos: J. Pemán).

El escalón de fractura tiene por función: i) Facilitar el giro del tronco en su caída, y la elongación de las fibras de la bisagra, ii) Evitar el efecto de rebote y que el árbol se pueda revolver hacia el operario cuando se cierre la entalladura, al ejercer como tope y iii) Evitar los daños en las fibras del fuste con valor comercial. El tamaño del escalón de fractura recomendado oscila entre la décima y la vigésima parte del diámetro. Normalmente no supera los 2,5 cm. Este escalón se recomienda hacerlo mayor cuanto menos resistente es la madera. Aumentar el escalón de fractura tiene como inconveniente la pérdida de volumen aprovechable de la troza basal.

La bisagra es el elemento clave en el proceso de caída del árbol al permitir el giro del tronco alrededor de la misma. Mientras que se mantenga intacta, permitirá dirigir la caída del árbol

en la dirección establecida por la entalladura. Sus dimensiones están determinadas por la profundidad de la entalladura, en cuanto a su longitud, y la separación entre el corte de caída y la entalladura, en cuanto a su anchura. Normalmente esta separación suele ser la décima parte del diámetro. Para entender el funcionamiento mecánico de la bisagra es importante estimar a partir de que inclinación comienza a romperse y cuando pierde su funcionalidad.

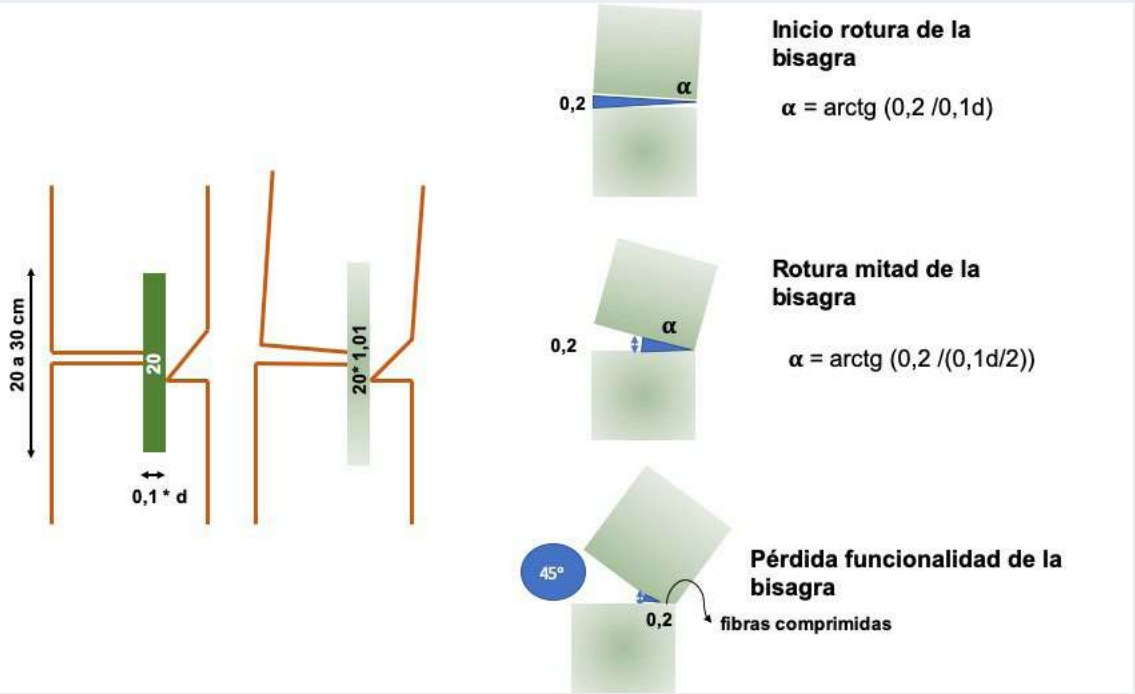
Limits hinge performance

Terry Hale, A basic guide to tree felling**.**

Para simular el funcionamiento mecánico de la bisagra se parte de dos hipótesis: i) la longitud funcional de los haces de fibras que componen la bisagra oscila entre 20 y 30 cm como se ha podido demostrar empíricamente al observar el desfibrado producido en árboles de diferentes especies y que crecen bajo diversas condiciones, ii) la elongación máxima de las fibras de la madera antes de su rotura es el 1% de su longitud.

Partiendo de estos postulados se puede simular las condiciones a partir de las cuales se inicia la rotura de las fibras de la bisagra y cuando esta deja de ser funcional, calculando el ángulo de inclinación a partir del cual se producen. El inicio de la rotura de las fibra de la bisagra se inicia cuando los haces de fibras de la misma se han alargado un 1%. Como su longitud funcional consideramos que es 20 cm, será cuando se han alargado 0,2 cm (ver figura).

Según el diámetro del árbol se puede estimar los ángulos de inicio de rotura de la bisagra y cuándo se ha roto la mitad de la misma.



	Ángulo (°)	
Diámetro (cm)	Inicio rotura bisagra	Rotura mitad bisagra
10	11,31	21,80
15	7,59	14,93
20	5,71	11,31
25	4,57	9,09
30	3,81	7,59
35	3,27	6,52
40	2,86	5,71
45	2,54	5,08

La dimensión de la bisagra, independientemente del valor propuesto, depende de varios factores:

1. Especie. Hay que distinguir entre especies de fibra larga (coníferas, fresnos, chopos) y de fibra corta (robles, hayas, etc.). En las especies de fibra corta, y por tanto menos elástica, deberá aumentarse la dimensión.

2. Estado de salud. Debe aumentarse en el caso de que haya pudriciones, muy frecuente en frondosas o en determinadas coníferas, como el abeto. La razón de ello es tener suficientes fibras sanas que puedan dirigir al árbol en su caída.

3. Orientación de la fibra. Se debe distinguir entre las especies que tienen las fibras verticales o en la dirección del corte oblicuo y las que las tienen en dirección contraria, en cuyo caso deberá aumentarse la dimensión (figura 6.27A).

4. Distribución del peso del árbol. Según cual sea su distribución y la dirección de caída, la dimensión de la charnela será rectangular, si el peso está uniformemente repartido, o mayor en el lado donde se presenta la madera de tensión (bisagra triangular), es decir, al contrario de donde se soporta el mayor peso (figura 6.27B).

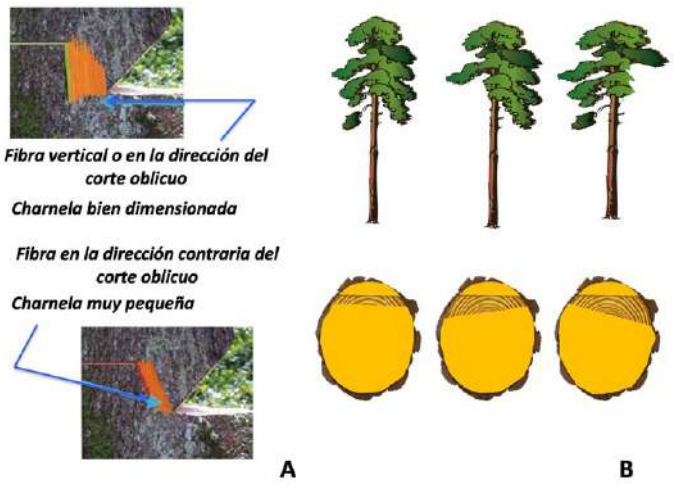


Figura 6.27. Influencia de la orientación de la fibra en la dimensión de la charnela (A) y de la distribución del peso (B))(adaptado de Servizio Foreste Ufficio Economia Forestale (1997)).

Apeo manual de árbol mediano inclinado en la dirección de caída

En la práctica habitual del apeo se presentan múltiples situaciones que exigen la realización de una serie de variantes del corte de caída respecto al corte convencional anteriormente descrito (Servizio Foreste Ufficio Economia Forestale 1997; Ambrosio et al. 2012)**.** Estas variantes se pueden describir atendiendo a varios criterios:

1. El tamaño del árbol. Distinguiendo entre árboles medianos y árboles grandes.

2. La inclinación del árbol. Se entiende por árboles inclinados todos aquellos cuyo centro de gravedad está desplazado respecto del eje del árbol. Con respecto a esta característica hay que distinguir entre árboles aplomados, árboles inclinados en la dirección de caída, árboles inclinados en contra de la dirección de caída y árboles inclinados lateralmente. Aunque no hay clasificación del grado de inclinación, Hale (2014) propone una graduación que puede ser de interés (figura 6.28). Para este autor, las inclinaciones en contra de la dirección de caída que superen la leve inclinación precisan de la ayuda de cables para su abatimiento.

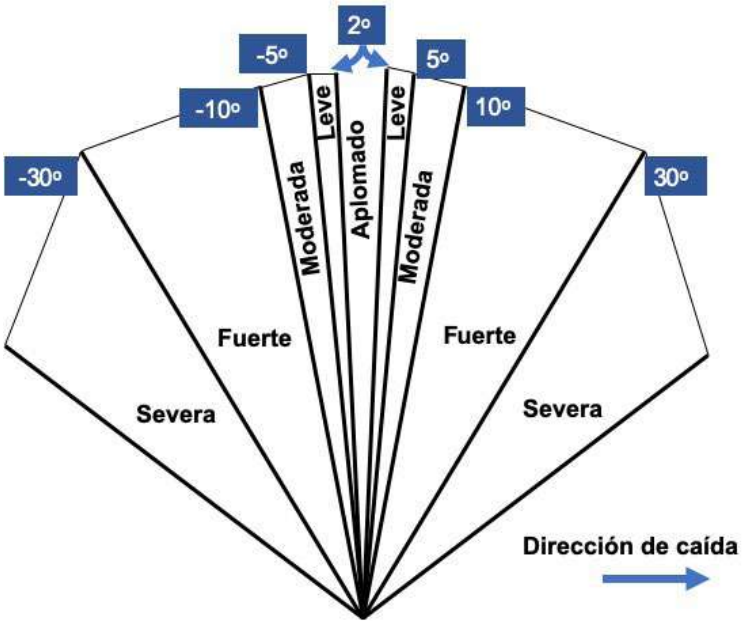


Figura 6.28. Grados de inclinación del árbol en función de la dirección de caída (adaptado de Hale).

Como casos singulares se comentará el corte de caída para los árboles engarbados o enganchados, los árboles podridos y los árboles gemelos.

4.2.2.2.1 Árboles medianos

Se entiende por árbol mediano aquel cuyo diámetro es superior a la longitud de la espada, pero inferior al doble de la misma. Para este tipo de árboles los cortes de caída más generales son:

1. Corte en abanico doble. Posicionado el motoserrista en un extremo de la bisagra, corta, con un corte normal, la mitad de la sección del árbol. Luego se traslada al otro extremo de la bisagra y corta la otra mitad dando un corte del revés (figura 6.29).

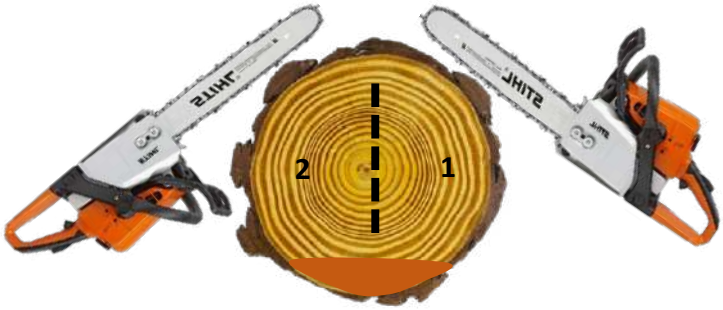


Figura 6.29. Corte en abanico doble.

2. Corte con la punta de la espada o técnica del compás. Con la punta de la espada se pincha lateralmente en un extremo de la charnela y luego se recorre todo el perímetro del árbol. Este corte precisa de motoserristas experimentados que sepan pinchar el árbol (figura 6.30).

Figura 6.30. Corte con la punta de la espada o técnica del compás.

Un caso especial en los árboles medianos, lo constituyen los árboles aplomados. Son árboles rectos cuya carga es homogénea y su centro de gravedad cae en la vertical del árbol, no teniendo, por tanto, una dirección de caída natural definida. Este tipo de árboles exige normalmente la utilización de cuñas para evitar que la espada de la motosierra quede atrapada (figura 6.31).

Para su derribo se utilizará una cuña y el corte de caída se compone de dos cortes (figura 6.32):

- Un primer corte que afecte a las 2/3 partes del diámetro del árbol, empezando por el lado de la madera de compresión. Sobre este corte se coloca una cuña.

- Un segundo corte que afecte al resto del diámetro del tronco. Este segundo corte se realiza inclinado, respecto del plano del primero, para evitar que la espada entre en contacto con la cuña.

Figura 6.31. Árbol aplomado de Pinus sylvestris (Foto: J. Pemán).

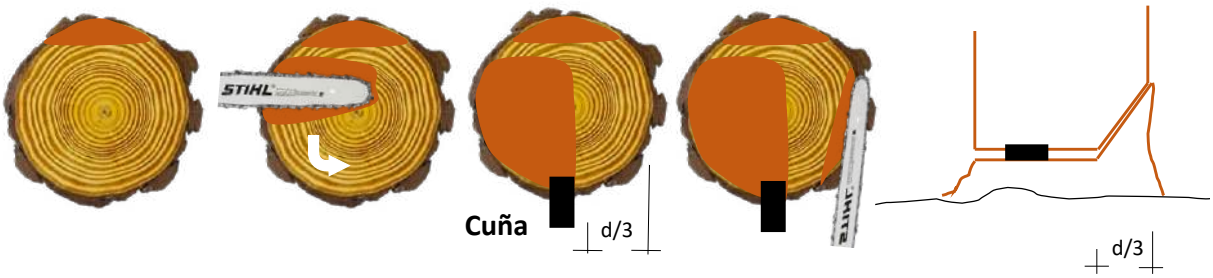


Figura 6.32. Esquema de corte del árbol aplomado.

Se entiende por árbol inclinado todo árbol cuyo centro de gravedad está desplazado respecto del eje del mismo. En los árboles inclinados hay que distinguir: 1) Árbol inclinado en el sentido de caída, 2) Árbol inclinado en el sentido opuesto al de la caída y 3) Árbol inclinado lateralmente respecto al sentido de la caída.

1. Árbol mediano inclinado en el sentido de la caída. Son árboles que entrañan cierto peligro por el riesgo de que el momento flector generado por la distribución asimétrica de las cargas genere tensiones cortantes que hacen que las fibras longitudinales se separen y el tronco se abra antes de finalizar el corte de caída, con el consiguiente riesgo para el trabajador (figura 6.33). La rotura del fuste puede deberse a daños internos que puedan tener el mismo como consecuencia estreses bióticos o abióticos a los que ha estado sometido. La mayoría de ellos son, desgraciadamente, difíciles de ver desde el exterior. También hay especies que son más proclives a que se produzca este daño, como son algunas frondosas de crecimiento rápido (*Eucalyptus regnans*) (Forestworks 2011).

   En este caso, la técnica de corte recomendada es realizar el corte de caída con la punta de la espada pinchando lateralmente el árbol y dejando una franja de seguridad o seguro en el lado de la madera de tracción (figura 6.34). Hay que tener presente que en estos casos el árbol suele tener una copa asimétrica al desarrollarse más ladera abajo en busca de la luz.

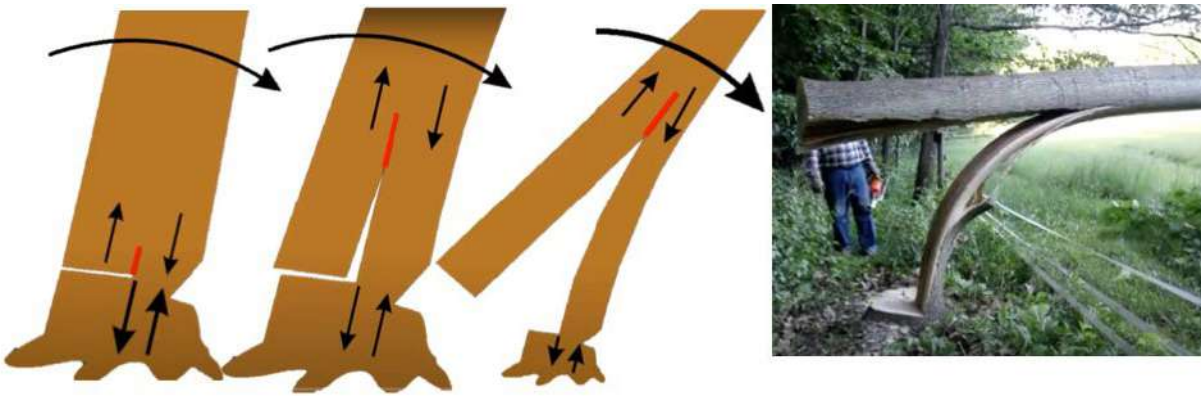


Figura 6.33. Rotura longitudinal del fuste como consecuencia de los esfuerzos cortantes generados por el momento flector. Dan lugar a lo que vulgarmente se conoce como silla de barbero (Fuente T. Hale).

Figura 6.34. Árbol mediano inclinado en el sentido de la caída (izquierda) árbol inclinado con copa asimétrica a favor de la pendiente (centro) y pinchado lateral dejando un seguro en el lado de la madera de tracción (derecha) (Fotos: J. Pemán).

Posteriormente, con un corte rápido, se elimina la franja de seguridad (figura 6.35).

Figura 6.35. Esquema del corte de caída de un árbol mediano inclinado en el sentido de la caída.

2. Árbol mediano inclinado en el sentido contrario al sentido de caída. Solo es aplicable al caso de árboles levemente inclinados. Si la inclinación es mayor, se deberán usar cables que tiendan a corregir dicha inclinación. Se utilizará la misma técnica que para el árbol aplomado, con la única variante de que el segundo corte de caída no se realizará tan inclinado para poder colocar una segunda cuña.

3. Árbol inclinado lateralmente. El corte será similar al del caso anterior con la única diferencia que en el corte de caída se empieza por el lado de la madera de compresión donde se colocará una cuña para evitar que la espada de la motosierra se quede atrapada cuando se proceda a realizar el corte en la zona de la madera de tracción. Posteriormente se inicia el corte en la madera a tracción colocando otra cuña en la dirección de la ruta de escape. Por último, se finaliza el corte dejando una bisagra de mayor anchura en el lado de la madera de tracción.

4.2.2.2.2. Árboles grandes

Se entiende por árbol grande aquel cuyo diámetro es superior al doble de la longitud de la espada. Los árboles grandes presentan complicaciones añadidas por el tamaño de su copa, que puede estar trabada con los árboles colindantes, el tamaño de las ramas, la presencia de ramas muertas, pudriciones del tronco, etc. Es por ello que deben extremarse las medias de seguridad.

1. La entalladura se realiza en dos fases, debido a que la longitud de la espada no permite realizarlo de una sola.

2. El corte de caída se compone de las siguientes fases (figura 6.36):

Figura 6.36. Esquema del corte de caída en árboles grandes.

2.a. Pinchado frontal o corte de corazón, mortaja o buzón. Consistente en pinchar con la punta de la espada el centro de la entalladura y la parte central del árbol. Con este corte se elimina la parte central de la bisagra, dejando a ambos lados una bisagra de buenas dimensiones. Con el mismo se eliminan las fibras centrales del tronco más resistentes que pueden hacer que este se raje con la caída (figura 6.37).

Figura 6.37. Pinchado frontal o corte del corazón, mortaja o buzón (Fotos: J. Pemán).

2.b. Corte siguiendo la técnica del compás.

En el caso de árboles grandes aplomados, se utilizarán dos cuñas y el corte de caída se compone de tres fases (figura 6.38):

- Un primer corte pinchando lateralmente el árbol de modo que defina el tamaño de la bisagra y que, siguiendo la técnica del compás, recorra algo más de la mitad del diámetro. Sobre este corte se coloca una cuña en la dirección de la ruta de escape.

- El segundo corte continúa el primero y se coloca una segunda cuña en la otra dirección de escape.

- Finalmente, se completa el corte de caída hasta alcanzar el tamaño de la bisagra.

- En el caso de que el árbol no se mueva se ajustan las cuñas con la maza.

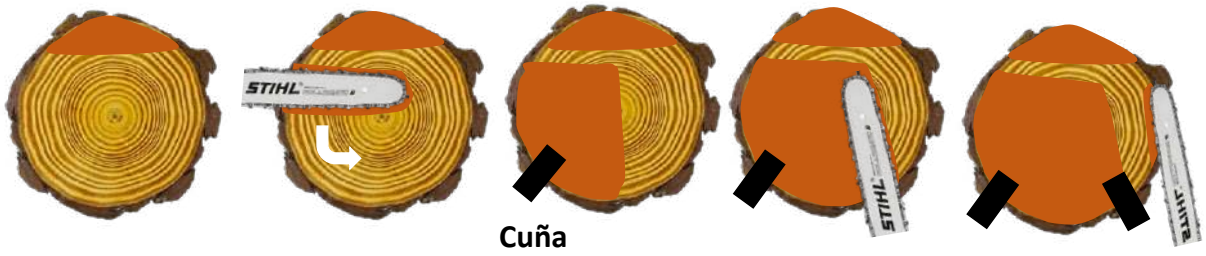


Figura 6.38. Esquema del corte de caída de árboles grandes aplomados.

En el caso de árboles grandes inclinados se sigue la técnica general descrita para ellos dejando una franja de seguridad. El corte de caída, en este caso, se hace en tres movimientos después del pinchado frontal de la bisagra. Con la punta de la espada se pincha en un lado del árbol y se inicia el corte desplazándose primero hacia la bisagra y luego hacia el lado opuesto dejando sin cortar una franja de seguridad. Se repite la operación al otro lado del árbol y finalmente se corta la franja de seguridad.

Técnica de apeo manual de árboles grandes

4.2.2.2.3. Árboles enganchados, engarbados o acaballados

Representan una de las situaciones más complicadas en el apeo. Las mínimas normas de seguridad exigen su señalamiento y evitar realizar acciones de enorme riesgo como abatir el árbol que sirve de soporte o tirar otro árbol sobre el enganchado. Normalmente se recomienda el empleo de una palanca de derribo para desengancharlos y en última instancia el arrastre con cable (figura 6.39).

Figura 6.39. Árbol gemelo enganchado al cortarlo. Conserva la bisagra intacta (Fotos: J. Pemán).

No obstante, dependiendo del estado de la bisagra, se contemplan otras alternativas:

1. Si la bisagra está en buen estado puede realizarse el corte de buzón, dejando un 20% de la bisagra a cada lado. Posteriormente, sobre el lado de la bisagra contrario al lado que se pretende la caída del árbol se van dando cortes de fuera hacia dentro hasta que el árbol gire (figura 6.40). En el caso de que se haya cortado todo el lado de la bisagra contrario al del lado de giro y este no se haya producido, podrá utilizarse la palanca de derribo como elemento auxiliar.

Figura 6.40. Árbol enganchado con la bisagra intacta (izquierda), corte de buzón dejando un 20% de la bisagra en los extremos (centro) (Fotos: J. Pemán) y esquema del corte la parte central de la misma (izquierda, modificado de Brenta et *al*. 2007).

Técnica de apeo manual de árboles enganchados

2. En árboles que no superen los 30 cm de diámetro, se puede realizar un nuevo corte en el tronco del árbol engarbado mediante la realización de una entalladura en la zona de comprensión de la madera, con una profundidad de la mitad del diámetro, para terminar con un corte en la zona de tracción dejando una bisagra pequeña. Si no se libera hay que volver a repetir la operación (figura 6.41).

Figura 6.41. Esquema del corte de caída para desenganchar un árbol engarbado. Se considera seguro para árboles de diámetro inferior a 30 cm (adaptado de Brenta et *al*. 2007)).

Si la bisagra está en mal estado o el diámetro del árbol es elevado, para desenganchar los árboles se puede utilizar el Tirfor™ o el cable del tractor.

4.2.2.2.4.Árboles gemelos o bifurcados

Según el Pliego Especial de Condiciones Técnico-Facultativas de los aprovechamientos maderables en montes a cargo del ICONA, se entiende por árboles gemelos aquellos árboles que están bifurcados a una altura inferior a un 1,3 m del suelo. Si se quiere cortar un árbol gemelo, respetando el otro, el mejor corte es pinchando con la motosierra y desplazando hacia el lado opuesto a la entalladura (figura 6.42).

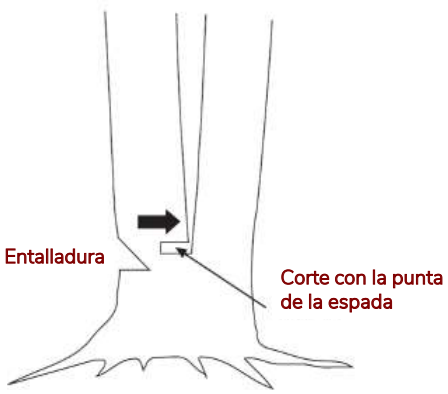


Figura 6.42. Corte con la punta de la espada para el apeo de árboles gemelos o bifurcados (Foto: J. Pemán).

4.2.2.2.5. Árboles huecos o podridos

Este caso es muy singular y frecuente en determinadas especies forestales como *Abies alba*. Hay que tener en cuenta que la pérdida de resistencia estimada en coníferas por la existencia de troncos huecos se ha estimado proporcional al cociente de d^3/D^3 (figura 6.43 derecha) y que una pérdida superior al 33% se hace peligrosa (Calaza y Igesias 2016). La técnica de apeo que en este caso se recomienda, después de realizar el corte de dirección, es hacer el corte de buzón o mortaja. Posteriormente se realiza un corte de caída dando mayor anchura a la bisagra y también al escalón de fractura (figura 6.43). En especies susceptibles a presentar este tipo de defectos, cuando el mismo no sea visible a simple vista, hay que prestar especial atención a las diferencias en la carrera de la motosierra cuando se ejecuta el mismo.

Figura 6.43. Tronco de abeto (*Abies alba*) con el duramen con signos de pudrición por *Ganoderma lucidum* (Fotos: A. Aunós).

Certificado europeo de motoserrista

El European Forestry and Environmental Skills Council (EFESC) es una organización en la que participan representantes de la industria y de otras instituciones que gestionan y supervisan los procesos de certificación de capacidades y competencias a nivel nacional. El EFESC fue establecido en 2009 por miembros de un Proyecto Leonardo de la UE. En 2012 se aprobó el manual de EFESC y se estableció oficialmente la organización.

Los objetivos de EFESC son definir y mantener los estándares mínimos en las profesiones que trabajan al aire libre, como la selvicultura, paisajismo, arboricultura y horticultura, para que se puedan aplicar en todos los países europeos. Con el establecimiento de estos estándares, EFESC contribuye a la mejora de la seguridad y salud y a la movilidad, debido a la capacidad de intercambio de los certificados.

En España, la Agencia Nacional que tiene capacidad para emitir los certificados europeos de motosierra a los centros de evaluación y evaluadores que cumplen con los estándares de EFESC es el Centro de Ciencia y Tecnología Forestal de Cataluña. En la actualidad hay habilitados seis centros para la expedición de esta acreditación.

Tabla. Centros acreditados en España. (Actualizado 5.7.2021).

Centro	Localidad
Centre de Desenvolupament forestal La Solana	Parc del Castell de Montesquiu 08585 Montesquiu
CFF Comarca de Daroca	Rio Ebro, 26 50360 Daroca
Escola Agraria Forestal de Santa Coloma de Farners	Finca Casa Xifra 17430 Santa Coloma de Farners
Escola EFA Quintanes	Mas Quintanes 08518 Les Masies de Voltrega
Escuela Agrícola Derio BHI	Berreaga, 5 48160 Derio (Bizkaia)
Hazi	Granja Modelo Arkaute 01192 Arkuatre-Araba

Los certificados que se expiden en la actualidad son los siguientes:

- Mantenimiento de la motosierra y técnicas de troceado (ECC1)
- Técnicas básicas de tala de árboles (árboles pequeños) (ECC2)
- Mantenimiento de la motosierra, técnicas de troceado y técnicas básicas de tala de árboles (árboles pequeños) (ECC1+ECC2)
- Técnicas avanzadas de tala de árboles (árboles medianos y grandes) (ECC·3)
- Técnicas de tala para árboles arrancados por el viento y dañados (ECC4)

5. Apeo manual con motodesbrozadora

Consiste en el derribo de un árbol en pie, cuando el diámetro no supere los 15 cm, mediante la utilización de una motodesbrozadora. Esta herramienta puede ser muy interesante para las primeras intervenciones en regenerados de alta densidad, como los producidos en masas de *Pinus halepensis* o *Pinus pinaster* después de incendios forestales.

Las limitaciones principales al apeo con motodesbrozadora, además de las comentadas para la motosierra, vienen impuestas por el diámetro del árbol (tabla 6.6).

Tabla 6.6. Limitaciones para el apeo manual.

Factor	Limitaciones	Factor	Limitaciones
Ambiente	Viento > 50 km h^{-1} Nieve > 30 cm Niebla espesa, visibilidad < 50 a 100 m	Diámetro (cm)	> 15 motodesbrozadora
Pendiente (%)	> 60	Pedregosidad	Ninguna
Vegetación		Accesibilidad	Ninguna
Porte	Ninguna		

5.1. Equipo

La motodesbrozadora es una herramienta portátil a motor que consta de un tubo portaherramientas en cuyo extremo superior va colocado un motor de explosión y en su extremo inferior el elemento de corte. El tubo portaherramientas puede ser rígido, en cuyo caso la motodesbrozadora va dispuesta en bandolera enganchada al arnés, o flexible, en cuyo caso el grupo motor va dispuesto en una mochila situada a la espalda del operario. El elemento de corte es un disco de acero de 20 a 25 cm de diámetro con un número variable de dientes, de 20 a 80, que pueden ser de diferentes tipos (pico, cincel, etc.) (figura 6.44). Los modelos comerciales más frecuentes son los mismos que los de la motosierra (tabla 6.7).

Tabla 6.7. Características técnicas de algunos modelos comerciales de motodesbrozadoras.

Marcas	Modelo	Cilindrada (cm^3)	Potencia (kW)	Peso (kg)
STIHL	FS360	37,7	1,7	8,5
	FS410	41,6	2	8,5
	FS460	45,6	2,2	8,5
	FS490	51,6	2,4	9,1
	FS510	51,6	2,4	10,2
	FS560	57,1	2,8	10,2
HUSQVARNA	535FB	34,6	1,6	12,4
	553RBX	50,6	2,3	12,1
JONSERED	FC2245	45,7	2,2	8,1

El elemento de corte de las motodesbrozadoras gira hacia la izquierda, en sentido contrario a las agujas del reloj. Si se visualiza el disco de sierra como la esfera de un reloj de agujas, hay que evitar cortar con la zona del disco entre las 12 y las 2 horas, dado que existe peligro de rebote (figura 6.44).

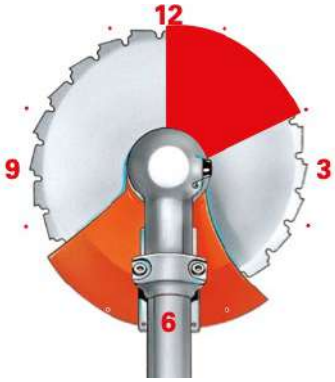


Figura 6.44. Disco de corte de 80 dientes en pico (izquierda) y disco de corte entre 22 y 40 dientes de cincel o gubia (centro) y disco de motodesbrozadora indicado la zona del disco que puede producir efecto de rebote (derecha).

5.2. Descripción del proceso del apeo con motodesbrozadora

Al igual que en el apeo con motosierra debe planificarse la actuación antes de empezar, visualizando el recorrido a realizar y la dirección de caída deseada. Es una técnica muy apta para tratamientos de carácter puntual, lineal o areal. Dependiendo del diámetro del árbol y de la dirección de caída deseada, se debe cortar con una zona del disco concreto. En los árboles de diámetro inferior a 7 cm se suele hacer un solo corte, mientras que en los que superen ese valor se suelen hacer dos, ambos con la región de antes del mediodía del disco. Los cortes se realizarán horizontales o inclinados según la rectitud del árbol. También se pueden hacer con entalladura.

6. Procesado manual

Según el método de aprovechamiento elegido (McNally 1978) y el destino final de la madera, después de derribado el árbol se deberá determinar si se realizan o no las siguientes operaciones (figura 6.45):

1. Desramado. Supone la eliminación de las ramas del fuste que va a tener aprovechamiento comercial. La longitud de este fuste lo determinará el diámetro en punta delgada prefijado en el clausulado del aprovechamiento.

2. Despuntado**.** Se corresponde con el corte en el fuste a la altura del diámetro en punta delgada. Implica, por tanto, la separación del raberón que quedará como residuo de corta.

3. Tronzado. Supone la realización de los cortes sucesivos en el fuste a la longitud predeterminada según su destino industrial.

Figura 6.45. Desramado (izquierda) y descopado o despuntado (derecha) (Fotos: J. Pemán).

Estas operaciones podrán realizarse a pie de tocón, en el área de corta, a pie de pista o en cargadero. Las técnicas a emplear podrán variar según donde estas se ejecuten.

6.1. Operaciones previas

Hay que tener presente que las operaciones de procesado pueden implicar, en el caso de realizarse de manera manual y a pie de tocón, una inversión de tiempo considerable y con un riesgo notable de accidentes. Es por ello, que las operaciones previas al procesado manual deben tenerse en cuenta en el momento del apeo, al elegir la dirección de caída correcta, no solo pensando en las operaciones de desembosque sino, también, para facilitar la realización de las operaciones de procesado. Antes de empezar las operaciones de procesado es necesario que el motoserrista reflexione sobre algunas cuestiones que se pueden plantear en el área de trabajo:

1. ¿Hay árboles más pequeños doblados o rotos por el árbol apeado?

2. ¿Hay ramas que mantienen el árbol elevado?

3. ¿Hay ramas dobladas con fuerte tensión y riesgo de rotura violenta?

4. ¿Está el árbol apoyado sobre el suelo?

5. ¿Se puede trabajar apoyado en el suelo, o se tiene que hacer sobre residuos, ramas muertas o vivas, etc.?

6. ¿Existe riego de que el árbol se desplace al procesarlo?, ¿Cuál es la zona de menor riesgo en ese caso?

Un aspecto relevante en este sentido es la altura de trabajo en el momento del procesado. La recomendada oscila entre 50 y 70 cm, es decir, con el fuste a una altura entre la rodilla y la cintura. Un procedimiento para conseguirlo es utilizar otro árbol como banco de trabajo sobre el que se va apeando el resto de los pies sucesivamente.

En estas condiciones debe garantizarse trabajar desde un medio estable, evitando hacer las operaciones subidos al fuste o sobre ramas sometidas a tensión. Cuando el apeo no se realiza en la línea de la máxima pendiente y, por tanto, tiene posibilidades de rodar cuando se realicen las operaciones de procesado, el motoserrista siempre deberá colocarse en la parte alta de la ladera.

Antes de comenzar las operaciones, el trabajador deberá siempre acondicionar el área de trabajo, eliminando los obstáculos que puedan crear situaciones de riesgo y que faciliten las posibilidades de escapar en caso de que el nivel de peligro aumente (figura 6.46).

Figura 6.46. Tronzado de fustes de *Picea abies* sobre otros pies previamente abatidos (izquierda) (Foto: A. Aunós) y operación de desrame a una altura adecuada (derecha) (Fotos: J. Pemán).

6.2. Desramado y despuntado

Es la operación correlativa en el tiempo al apeo, siempre que se realicen en la misma área que este. Consiste en la eliminación de las ramas a lo largo del fuste con aprovechamiento comercial mediante el empleo de una herramienta a motor, la motosierra. La operación termina con un corte transversal en el fuste, el descopado, a la altura del diámetro en punta delgada establecido. Las limitaciones son las propias del apeo manual siempre que el procesado se realice en el área de corta.

El equipo necesario para la realización de esta operación es la motosierra para la realización del desrame y despunte y un giratroncos manual o gancho de maderero en el caso de que haya que voltear el árbol para desramar por su parte inferior. El giratroncos manual es una herramienta a mano dotada de un mango largo en cuyo extremo se encuentra un gancho de hierro que permite el giro o volteo del árbol a modo de palanca (figura 6.47). Otra herramienta manual es el gancho de maderero que en vez de mango tiene un asa para su agarre.

El desrame es la operación que, en el apeo y procesado manual, más tiempo le supone al motoserrista y a la que hay prestar una atención especial porque es la que tiene un mayor riesgo de accidentes. Esta operación suele realizarse a pie de tocón, aunque también podría realizarse en el cargadero. En esos casos, la operación de desramado se realiza normalmente con máquinas procesadoras. Al igual que en el apeo, cuando esta operación se realiza a pie de tocón, cabría distinguir dos etapas: i) Operaciones previas, ii) Desramado y despuntado.

Figura 6.47. Giratroncos manual (izquierda) y gancho de maderero (derecha).

En las operaciones previas el motoserrista debe (Ambrosio et *al*. 2012):

- Analizar la situación del árbol apeado. Hay que prestar especial atención a las ramas dobladas producto de la caída porque, al mantenerse en tensión, al cortarse pueden rebotar contra el trabajador. También hay que tener en cuenta los árboles que pueden estar doblados debajo del apeado y los obstáculos que puedan condicionar los trabajos.

- Analizar el área circundante al árbol apeado. En ocasiones puede ser complicado visualizar el suelo por el cúmulo de ramas y restos que pueden encontrarse en la proximidad del fuste. Estos son especialmente peligrosos si se encuentran húmedos, pudiendo hacer perder la estabilidad al operario. En el caso de terrenos inclinados, hay que analizar el riesgo de deslizamiento del fuste cuando se vea liberado de las ramas.

- Analizar los obstáculos que puedan existir entre el fuste y el suelo. Es de especial interés cuando se vayan a cortar las ramas bajas, para evitar que la espada impacte con un obstáculo que pueda producir el efecto de rebote.

Como norma general en el desramado, la motosierra se sitúa siempre de modo tangencial al fuste del árbol, atacando la rama al nivel del tronco. Aunque a lo largo del fuste se encuentran ramas de distinto diámetro, se han descrito varios métodos de desramado según el tamaño y distribución de las ramas, por lo que habrá que combinarlos debidamente para conseguir el desrame de todo el fuste. Según el diámetro y ubicación de las ramas se distinguen: 1) Ramas delgadas, 2) Ramas gruesas y 3) Ramas debajo del fuste.

1. Ramas delgadas (< 4 cm de diámetro) en la parte superior del fuste. Se han descrito los métodos de la palanca y el péndulo según las ramas estén distribuidas de forma regular o aleatoria sobre el tronco.

1.a. El método del péndulo es el recomendado para árboles con muchas ramas delgadas distribuidas más o menos aleatoriamente a lo largo del fuste (figura 6.48). La secuencia de trabajo, una vez que el operario se ha estacionado en un punto, es la siguiente: 1) Desrama las ramas ubicadas en su lado del tronco, recorriendo una longitud de 60 a 80 cm, según la longitud del brazo, con el lado de la cadena que corre hacia delante; 2) Realiza el recorrido inverso cortando las ramas en la parte superior del fuste colocando la motosierra de forma tangencial a este y cortando con el lado de la cadena que corre hacia atrás y 3) Realiza el recorrido en

el mismo sentido que en 1) cortando las ramas que se encuentran al otro del fuste y con el lado de la cadena que corre hacia delante. Finalizada esta secuencia, en donde la motosierra siempre queda en el lado opuesto del fuste al que se ubica el motoserrista, este se desplaza.

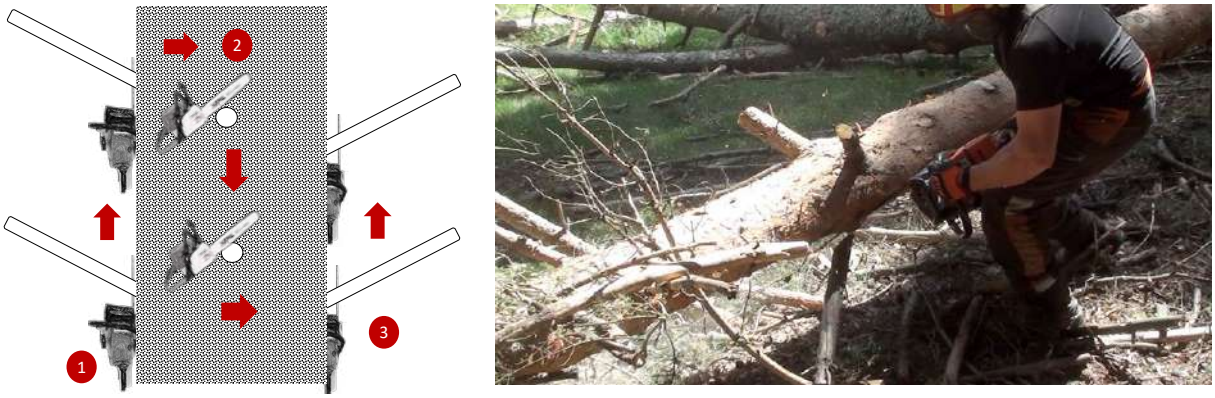


Figura 6.48. Esquema de desrame siguiendo el método del péndulo (izquierda) y desrame según este método de la rama lateral con el lado de la cadena que corre hacia delante (equivalente punto 1, derecha) (Foto: J. Pemán).

1.b. El método de la palanca es el recomendado para árboles de ramas delgadas distribuidas de forma regular sobre el fuste (figura 6.49). La secuencia de trabajo, una vez que el motoserrista se ha estacionado en un punto, es la siguiente: 1) Se corta la rama en el lado opuesto del fuste a donde se ubica el operario cortando con el lado de la cadena que corre hacia delante; 2) Se corta la rama de la parte superior del fuste colocando la motosierra tangencial al mismo y cortando con el lado de la cadena que corre hacia delante; 3) Se coloca la motosierra en lado del fuste del motoserrista y se cortan las ramas en ese lado, con el lado de la cadena que corre hacia delante, durante una distancia inferior a 70 cm; 4) Se vuelve a pasar la motosierra por la parte superior del fuste cortando las ramas con el lado de la cadena que corre hacia delante y 5) Finalmente, se vuelve a cortar al otro del fuste la rama con el lado de la cadena que corre hacia atrás. Finalizada esta secuencia, en donde la motosierra siempre queda en el lado opuesto del fuste al que se ubica el motoserrista, este se desplaza.

Figura 6.49. Esquema de desrame siguiendo el método de la palanca (izquierda) y desrame según este método de la rama central con el lado de la cadena que corre hacia delante (derecha) (Foto: J. Pemán).

Técnica de procesado manual

2. Ramas gruesas (> 4 cm de diámetro). El objetivo del método es evitar que la espada de la motosierra quede atrapada y que las ramas realicen movimientos que puedan dañar al trabajador. La secuencia de trabajo, una vez que el operario se ha estacionado en un punto, es la siguiente: 1) Cortar las ramas exteriores que puedan interferir el trabajo del operario; 2) Cortar las ramas gruesas sometidas a tensión realizando los cortes que precise; 3) Cortar la rama principal a nivel del fuste. Finalizada esta secuencia, antes de desplazarse, debe situar la motosierra en el lado opuesto del fuste al que se ubica el motoserrista.

3. Ramas debajo del fuste. Si al proceder a la corta de las ramas delgadas el motoserrista observa que la altura entre el fuste y el suelo es suficiente procederá a cortarlas a medida que vaya avanzando (figura 6.50). En el caso de que no hubiera podido, una vez que termine de desramar, deberá despuntar y girar o voltear el árbol mediante el empleo de un giratroncos manual.

Figura 6.50. Realización de la operación de desramado manual de las ramas ubicadas debajo del fuste (Foto: J. Pemán).

La operación de desramado terminará con el despuntado del fuste en la sección que marca el diámetro en punta delgada establecido (figura 6.51).

Figura 6.51. Realización del despuntado o descopado del árbol en la sección que comprende el diámetro en punta delgada (Foto: J. Pemán).

6.3. Tronzado

La operación de tronzado consiste en la división del fuste apeado y desramado, a una longitud preestablecida, mediante la realización de cortes transversales. A cada una de las partes en que queda dividido el fuste se le denomina troza. Las longitudes de las trozas se establecerán teniendo en cuenta la longitud mínima determinada por la industria de destino y las características del medio con el que se va a realizar el desembosque y el transporte.

Según el método de aprovechamiento elegido esta operación puede realizarse a pie de tocón, a pie de pista o en cargadero. Comparado con las operaciones de apeo y desramado, esta operación consume poco tiempo al trabajador y no tiene la siniestralidad que tienen las anteriores. Las limitaciones de esta operación son las generales definidas para el apeo. El equipo de trabajo consiste en la motosierra, las cuñas y una cinta métrica de maderista, metálica y dotada con un gancho en su extremo para sujetarla al tronco y así poder realizar la medición un solo operario (figura 6.52). Esta cinta la lleva sujeta el motoserrista en su cinturón. En ocasiones también se puede recurrir a una vara de longitud determinada.

Figura 6.52. Cinta métrica de maderista, con un extremo metálico en punta, que lleva el motoserrista para la medición de la longitud de las trozas (Fotos: J. Pemán).

El proceso se inicia por la coz, sección de mayor diámetro, y se compone de las siguientes fases: 1) Operaciones de saneamiento del fuste; 2) Medición de la troza; 3) Tronzado. Las fases dos y tres se realizarán tantas veces como sea preciso según la longitud del fuste (figura 6.53).

1. Operaciones de saneamiento del fuste. Es una operación que se realiza cuando la troza basal está destinada a madera de calidad, siendo su objetivo final igualar la sección afectada por el corte oblicuo de la entalladura.

2. Medición de la troza. Saneada la sección basal del fuste se realiza la medición de la longitud de la troza con la cinta métrica. Según el destino de la madera, la presencia de un defecto en el fuste, como pueda ser una curvatura simple o doble, precisaría la eliminación de dicho defecto.

3. Tronzado. Consiste en la realización de los cortes transversales al eje del fuste a la longitud predeterminada. Antes de comenzar, el motoserrista se debe colocar en un lugar seguro. Si va a tronzar a pie de tocón, deberá colocarse en un lugar seguro donde sea previsible que una vez tronzado el fuste, las trozas no puedan moverse y alcanzarle. La longitud de las trozas las marca su destino industrial (ver capítulo 2).

Figura 6.53. Marcando la longitud de las trozas (izquierda) y tronzado en cargadero (derecha) (Fotos: J. Pemán).

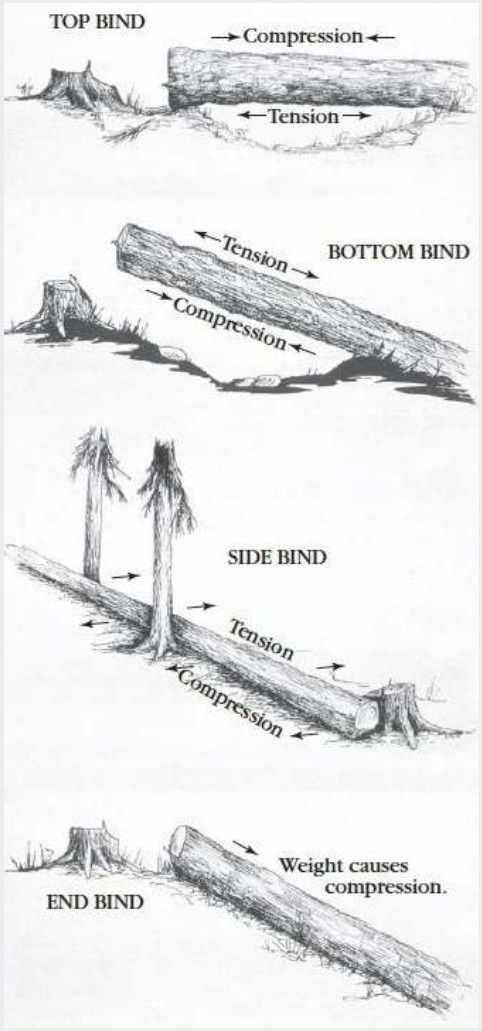
Antes de efectuar los cortes, el motoserrista deberá observar las tensiones a las que está sometido el fuste. Estas tensiones son consecuencia de la posición del tronco sobre la ladera, de la irregularidad de esta, de los obstáculos que hay en la superficie del suelo o de las tensiones a las que está sometido el fuste por las ramas, otros fustes, etc. (figura 6.54). Las fibras sometidas a tensiones de compresión tenderán a cerrar el corte, mientas que las fibras sometidas a tensiones de tracción tenderán a abrir el mismo. La forma general de proceder es siempre empezar el corte en la zona a compresión, no muy profundo (< tercera parte del diámetro) para evitar que se cierre, terminando siempre por cortar la zona sometida a tracción (Ambrosio et al. 2012). En el caso de que no se reconozca *a priori* el tipo de tensiones a las que está sometida la sección se recomienda dar un corte ligero e ir profundizando hasta que se observe si el corte tiende a cerrase o abrirse.

Figura 6.54. Tronzado del fuste por el lado de la compresión, parte inferior, (izquierda) y madera apilada para su tronzado en el que la madera de compresión está en la parte superior (derecha) (Fotos: A. Aunós).

Chain saw tasks and techniques

Wolf J, Whitlock C. 2006. Chain saw and crosscut saw student's Guidebook. Misoula Technology and Development Center.

Determining Binds. Understanding directional pressures, or binds, is important. These binds determine bucking techniques and procedures. Landforms, stumps, blowdown, and other obstacles that prevent a log from lying flat cause binds. Binds are different directional pressures exerted in different areas of the log. The tension area is the portion of the log where the wood fibers are being stretched apart. In this portion of the log, the saw's cut (kerf) opens as the cut is made. In the compression area, the wood fibers push together. In this portion of the log, the kerf closes as the cut is made. It is extremely important to determine what will happen to the log when it is cut. Inspect the log for all binds, pivot points, and natural skids. Various bucking techniques can be used to lower a suspended tree to the ground. The four types of bind are: top, bottom, side, and end. Normally, logs have a combination of two or more binds: **Top bind**: The tension area is on the bottom of the log. The compression area is on the top. **Bottom bind**: The tension area is on the top of the log. The compression area is on the bottom. **Side bind**: Pressure is exerted sideways on the log. **End bind**: Weight compresses the log's entire cross section.



...

Determine the cutting sequence before beginning to cut. Cut the offside first from a safe position. If possible, make a cut about one-third the diameter of log. This allows the sawyer to step back from the log on the final cut. Do not let the tip of the bar hit any object. Watch the kerf to detect log movement. Position yourself so you can detect a slight opening or closing of the kerf: there is no better indicator of the log's reaction on the release cut. If the bind cannot be determined, proceed with caution. It may be necessary to move the saw back and forth slowly in the kerf (about 3 seconds for each chain revolution) to prevent the saw from getting bound as the kerf closes behind the guide bar. Cut only deep enough to place a wedge. Continue cutting. Watch the kerf. If the kerf starts to open, there is a bottom bind; if the kerf starts to close, there is a top bind...

En función de las características del diámetro del fuste y las tensiones a las que está sometido, se pueden presentar los siguientes casos (Ambrosio et al. 2012):

- Pies pequeños no sometidos a fuerza de tensión. Corte único de arriba abajo.

- Pies medios o grandes (diámetro menor que la longitud de la espada) sometidos a tensión escasa o moderada. Se aplica el criterio general empezando con un corte no muy profundo por la zona de compresión y seguido por la de tracción.

- Tronco de diámetro mayor que la longitud de la espada. Se produce de forma parecida al caso anterior, pero se empieza con un corte sobre el tronco situado al otro lado del motosserrista (figura 6.55).

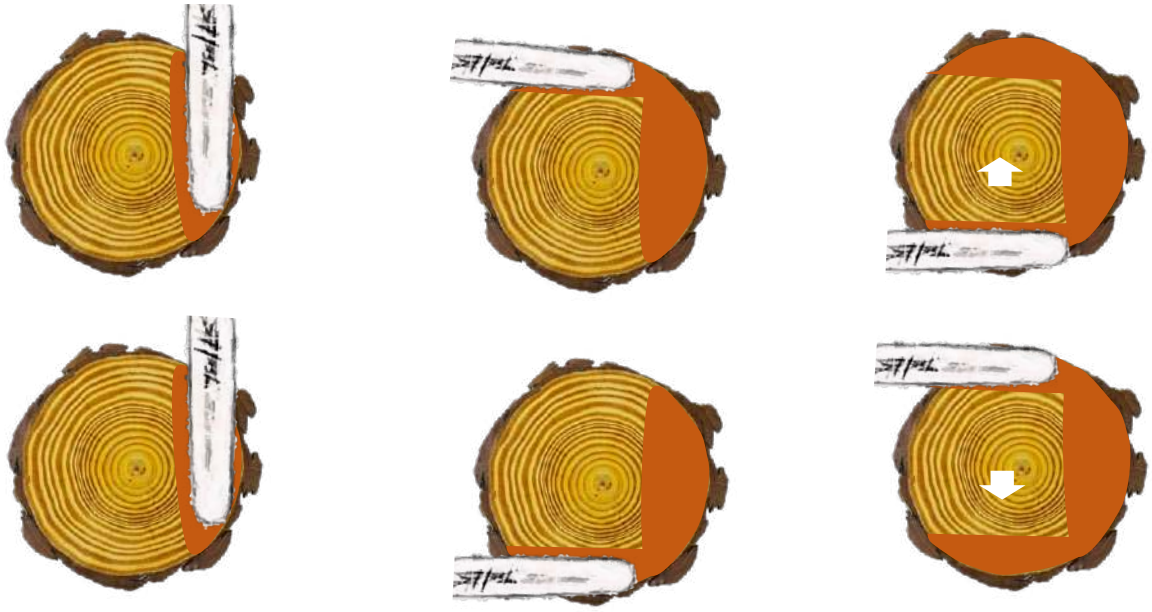


Figura 6.55. Tronzado de troncos gruesos sometidos a compresión en la parte superior del fuste (gráfico superior) o en la parte inferior del fuste (gráfico inferior).

- Troncos sometidos a fuertes tensiones. En este caso se recomienda hacer una entalladura grande, en la zona de comprensión, para luego dar un corte leve en la de tracción (figura 6.56).

Figura 6.56. Troncos sometidos a fuertes tensiones que deben ser previamente analizadas antes de iniciar el tronzado (Foto: J. Pemán).

7. Rendimientos del apeo y procesado

En los estudios realizados sobre análisis de la productividad en la ejecución de estas operaciones, las variables que se han detectado que tienen una mayor influencia en el rendimiento son: el diámetro de los árboles o el volumen medio y la pendiente del terreno (tabla 6.8).

Tabla 6.8. Rendimientos del apeo y procesado manual con motosierra.

Operación	Rendimiento (m^3 c.c h^{-1})	Características	Referencia
Apeo	6,37	Pies de 0,21 m^3 en claras de coníferas sobre pendiente elevada (60%)	Ambrosio et al. (1998), Carrascosa (1998), López Tola (1994), Martín (1999), IBERSILVA (1993). Todas están recogidas en (Tolosana et al. 2000)
	4,7	Pies de 0,09 m^3 en cortas de 600 pies ha^{-1} sobre pendientes del 35%	
	2,15	Pies de 0,037 m^3 en claras de *Pinus sylvestris* sobre pendientes del 30%	
	13,5	Pies de 0,27 m^3 en claras sobre pendientes del 37%	
	27,2	Pies de 1 m^3	
	8,9	En eucalipto con corta a hecho en terrenos llanos	
	7,5 a 8,3	En eucalipto con corta a hecho en terrenos del 15 al 30%	
	6,1	En eucalipto con corta a hecho en terrenos > 30%	
Desramado	3,22	Pies de 0,21 m^3 en claras de coníferas sobre pendiente elevada (60%)	
	2,13	Pies de 0,09 m^3 en cortas de 600 pies ha^{-1} sobre pendientes del 35%	
	0,83	Pies de 0,037 m^3 en claras de *Pinus sylvestris* sobre pendientes del 30%	
	5,08	Pies de 0,27 m^3 en claras sobre pendientes del 37%	
Tronzado	6,12	Pies de 0,09 m^3 en cortas de 600 pies ha^{-1} sobre pendientes del 35%. A pie de pista	
	5,86	Pies de 0,09 m^3 en cortas de 600 pies ha^{-1} sobre pendientes del 35%. A pie de tocón	
	8,1	*Pinus radiata*, 0,48 m3 de árbol medio a pie de pista	
	4,1	A pie de pista con apilado en maderas de 0,07 m^3 c.c	

En muchos de estos estudios se han realizado diferentes modelos, bien de tiempos básicos o de rendimiento. En los diferentes modelos de tiempos básicos o normales (ver anejo 2) elaborados para el apeo con motosierra, la variable independiente detectada que influye en el mismo es el volumen medio de los árboles apeados (tabla 6.9). En estos volúmenes, esta variable influye inversamente en relación al tiempo a partir de un determinado volumen. Hay que tener en cuenta que estos modelos de tiempo expresan el tiempo de trabajo productivo por lo que deberán ser ajustados por unos coeficientes de corrección para la obtención de los tiempos reales.

Tabla 6.9. Modelos tiempos básicos (V, volumen unitario medio m^3 pie^{-1}).

Operación	Modelo	Características
Apeo con motosierra	$t_{básico}$ (min m^{-3}) = 3,5 + $\frac{0,4643}{V}$	Eucalipto. V (m^3): volumen medio árbol extraído (Ibersilva)
	$t_{básico}$ (min m^{-3}) = 3 + $\frac{0,4643}{V}$	Masas artificiales. V (m^3): volumen medio árbol extraído (FAO)
	$t_{básico}$ (min m^{-3}) = 4,172 + $\frac{0,297}{V}$	Árboles grandes (> 1 m^3). V (m^3): volumen medio árbol extraído
	$t_{básico}$ (min m^{-3} c.c) = 10,56 + $\frac{0,1882}{V}$	Eucalipto. Menos de la mitad del fuste con ramas. V (m^3): volumen medio árbol extraído. (Ibersilva)
	$t_{básico}$ (min m^{-3} c.c) = 10,92 + $\frac{0,5630}{V}$	Eucalipto. Ramas entre el 50 y 75% del fuste V (m^3): volumen árbol medio (Ibersilva)
	$t_{básico}$ (min m^{-3} c.c) = 12,30 + $\frac{1,1601}{V}$	Eucalipto. Con ramas en más del 75% del fuste, V (m^3): volumen medio árbol extraído (Ibersilva)
	$t_{básico}$ (min m^{-3} c.c) = 5,6141 + $\frac{0,8774}{V}$ + 27,7894 R	V (m^3): volumen medio árbol extraído, R: ramosidad en tanto por 1
Tronzado	$t_{básico}$ (min m^{-3}) = 4,62 + $\frac{0,7998}{V}$	Longitud troza 2 m (FAO)
	$t_{básico}$ (min m^{-3}) = 4,78 + $\frac{0,6886}{V}$	Longitud troza 2,5 m (FAO)
	$t_{básico}$ (min m^{-3}) = 3,73 + $\frac{0,5297}{V}$	Longitud troza 4 m (FAO)
	$t_{básico}$ (min m^{-3}) = 3,23 + $\frac{0,4492}{V}$	Longitud troza 5 m (FAO)

Se han elaborado, también, modelos de rendimiento en los que la variable independiente que influye directamente en el mismo ha sido el volumen medio de los árboles y las variables que influyen inversamente han sido la pendiente o el número de pies extraídos (tabla 6.10).

Tabla 6.10. Modelos de rendimiento para las diferentes operaciones (h: hora productiva; Cp: coeficiente de productividad).

Operación	Modelo	Variables
Apeo con motosierra	R (m^3 h^{-1}) = 113,597 $(Vu/p)^{0,725307}$	Vu (m^3): volumen medio árbol extraído, p(%): pendiente Cp:0,85 (Vignote et al. 2001)
Desramado y despuntado con motosierra	R (m^3 h^{-1} trabajo) = $\frac{Vu}{0,0164+0,0001d^2+\frac{2,2133}{Ne^{0,8701}}}$	V_u (m^3): volumen medio árbol extraído, d(cm): diámetro y Ne: número de pies extraídos
Apeo y desramado con motosierra	R (m^3 h^{-1} trabajo) = $\frac{Vu}{0,0013+0,0034d+\frac{3,33047}{Ne^{0,8701}}}$	V_u (m^3): volumen medio árbol extraído, d(cm): diámetro y Ne: número de pies extraídos
	R (m^3 h^{-1} trabajo) = 7,5 $\frac{Vu^{0,4}}{p^{0,2}}$	V_u (m^3): volumen medio árbol extraído, d(cm): diámetro y Ne: número de pies extraídos
Apeo, desrame y tronzado con motosierra	R (m^3 h^{-1} trabajo) = 5,7 $\frac{Ve^{0,02}}{p^{0,38}}$	Ve (m^3): volumen extraído por hectárea, p(%): pendiente. Pila grande
	R (m^3 c.c. h^{-1}) = 0,5977 $\frac{Vext^{0,32}}{p^{0,19}}$	Vext (m^3): volumen extraído por hectárea, p(%): pendiente. Cp: 0,83. (Tolosana et al. 2002)

Resolución de 27 de junio de 2019, de la Dirección General de Trabajo, por la que se registra y publica el Convenio colectivo para el sector de actividades forestales.

(Extracto de la exposición de motivos y del articulado)

El I Convenio estatal para el sector de actividades forestales se articula como el siguiente paso lógico de negociación colectiva de carácter nacional tras el I Acuerdo marco para el sector de Actividades Forestales. El objetivo principal de este Convenio Colectivo es regular las condiciones laborales de las personas trabajadoras y las empresas del sector de actividades indicadas en su ámbito funcional, las actividades forestales. Pero es que además, tanto para las centrales sindicales como para las patronales intervinientes, este documento expresa algo que va más allá de la mera regulación laboral y es, la necesidad de concluir un proceso de maduración de un sector, el forestal, que puede y debe contribuir en los años venideros a la consolidación del «empleo verde».

Artículo 3. Ámbito funcional.

Los preceptos de este Convenio regularán las relaciones laborales de las empresas cuya actividad consista en:

a) Tratamientos silvícolas, talas, podas, desbroces, cortafuegos, clareos, eliminación de especies invasoras, prevención de incendios forestales, en razón de su consideración como una parte de los tratamientos silvícolas siempre que no sean realizados por operativos de prevención y extinción de incendios forestales, siempre en el ámbito forestal.

b) Repoblaciones forestales y restauraciones paisajísticas del medio natural, siempre en el ámbito forestal.

c) Preparación y conservación de áreas recreativas siempre en el ámbito forestal.

d) Gestión forestal para el aprovechamiento de la biomasa.

e) Otras actividades relacionadas con la conservación, ordenación y vigilancia de los espacios naturales, siempre en el ámbito forestal.

La citada relación no es exhaustiva, por lo que es susceptible de ampliarse o complementarse con actividades no incluidas en ella. La inclusión requerirá el dictamen previo favorable de la Comisión mixta paritaria y la posterior ratificación unánime de la comisión negociadora. Quedan expresamente excluidos de este Convenio los trabajos realizados por parte de titulares o arrendatarios de explotaciones forestales dentro de sus explotaciones.

Artículo 6. Ámbito temporal.

1. Vigencia. El presente convenio colectivo se acuerda para los años 2018 a 2021 ambos inclusive.

Artículo 12. Clasificación funcional.

1. La clasificación profesional tiene un carácter meramente enunciativo y las empresas no estarán obligadas a cubrir todos y cada uno de los grupos profesionales y sus correspondientes niveles, dentro de su estructura organizativa.

Artículo 13. Clasificación profesional.

1. Las personas trabajadoras se clasifican, teniendo en cuenta la función principal que realizan, en los siguientes grupos profesionales.

Grupo I. Personal titulado universitario: Personal titulado universitario de grado superior, Personal titulado universitario de grado medio.

Grupo II. Personal administrativo: Personal Jefe Administrativo, Personal Oficial Administrativo, Personal Auxiliar Administrativo

Grupo III. Personal operativo: Personal Técnico, Personal Encargado forestal, Personal Capataz forestal, Personal Oficial forestal, Personal Especialista forestal, Personal Peón forestal.

2. Definiciones profesionales. Las definiciones profesionales serán las siguientes:

III. Personal operativo.

– **Personal Técnico**. Persona trabajadora, como mínimo con titulación de formación profesional en grado medio o superior, que planifica y coordina las cuadrillas forestales en la ejecución de trabajos silvícolas, realiza mediciones topográficas de obras, inventario de flora y fauna, así como cualquier otro trabajo bajo las órdenes de sus superiores.

– **Personal Encargado**. Pertenecen a este grupo profesional las personas trabajadoras cuyas funciones consisten en dirigir y supervisar al personal que le sea asignado, ejerciendo el control sobre los resultados del trabajo, debiendo tener perfecto conocimiento de todas las labores que efectúan y siendo responsables de su disciplina y seguridad. Confeccionará fichas, partes y estadillos, interpretará toda clase de planos y croquis.

– **Personal Capataz**. Es aquel que interpretando las órdenes recibidas de sus superiores, además de realizar su trabajo dirige personalmente los trabajos del personal obrero, con perfecto conocimiento de las labores que los mismos efectúan, siendo responsable de su disciplina, rendimiento, seguridad y traslado en vehículos habilitados al efecto, así como de la perfecta ejecución del trabajo.

Asimismo, confeccionará fichas, partes y estadillos, interpretará planos y croquis sencillos, asegurando la eficiencia de su trabajo y cuidando del material y del vestuario a su cargo. Será responsable de las comunicaciones con los equipos radiotransmisores.

– **Personal Oficial**. Es el que con los conocimientos prácticos necesarios y, en su caso, en posesión del carnet de conducir adecuado, **presta servicios con maquinaria pesada**, retroexcavadoras, motoniveladoras, vehículos autobombas, tractores oruga, de cadena o máquinas agrícolas similares, teniendo a su cargo el cuidado y conservación de los mismos, así como la reparación, tanto en ruta, como en taller o a pie de obra, de las averías más elementales. Cuando esté en posesión de la formación adecuada tendrá entre sus funciones la planificación y aseguramiento de zonas de trabajo seguras para la ejecución de las actividades forestales incluyendo entre otras el descargo de líneas eléctricas o las actividades propias de piloto de seguridad en operaciones en infraestructuras ferroviarias.

– **Personal Especialista**. Se encarga de trabajos para los cuales se requiere preferentemente esfuerzo físico y atención que se ejecutan bajo instrucciones concretas, dotado de una especial destreza, experiencia en el desarrollo de trabajos por encima de tres metros de altura, trata plagas mediante la utilización de productos fitosanitarios, realiza podas especiales, con la correspondiente preparación física y formativa. **Realiza sus tareas mediante el uso habitual de maquinaria tal como motosierra, desbrozadora, astilladora,** etc.

– **Personal Peón**. Es el que realiza trabajos que se ejecutan según instrucciones concretas, claramente establecidas, con grado de dependencia, que requieren preferentemente esfuerzo físico, atención y una formación o instrucción básicas. Fundamentalmente, realiza sus tareas de modo manual o mediante el uso de maquinaria sencilla, motosierra, desbrozadora, etc.

Artículo 24. Jornada laboral.

Se acuerda adaptar la duración y distribución de la jornada de trabajo para hacer efectivo su derecho a la conciliación de la vida personal, familiar y laboral en los términos que se establezcan en la negociación colectiva o en el acuerdo a que se llegue con la empresa respetando, en su caso, lo previsto en aquella. **La jornada laboral durante la vigencia del presente Convenio será de 1770 horas.**

Artículo 31. Salario

Los salarios pactados para las personas trabajadoras son los establecidos en el anexo 1 de Tablas correspondientes del presente Convenio Colectivo, siendo aplicables a partir del 1 de enero de 2018.

Artículo 32. Estructura salarial

La estructura salarial se compone de

a) Salario Base.

b) Complementos salariales.

ANEXO
Tabla salarial

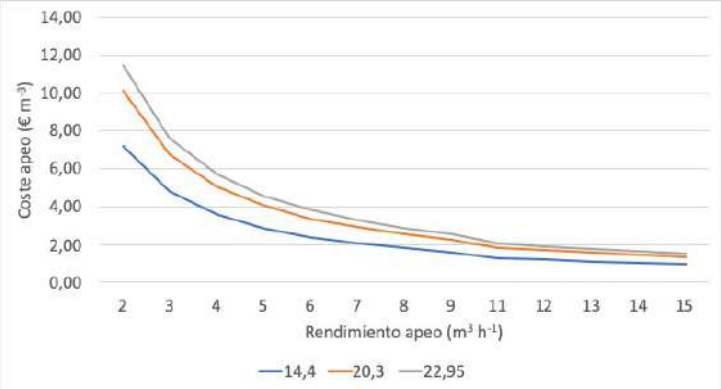
Funciones	Devengo	2019 (€)	2021 (€)
Personal Encargado	Salario mensual	992,73	1 160,52
	Gratificación Extraordinaria de junio y navidad	992,73	1 160,52
	Anual	13 898,17	16 247,32
Personal Capataz Forestal	Salario mensual	985,2	1 152,69
	Gratificación Extraordinaria de junio y navidad	985,2	1 152,69
	Anual	13 792,80	16 137,70
Personal Oficial Forestal	Salario mensual	940,04	1 105,71
	Gratificación Extraordinaria de junio y navidad	940,04	1 105,71
	Anual	13 160,59	15 479,95
Personal Especialista	Salario mensual	900	1 058,73
	Gratificación Extraordinaria de junio y navidad	900	1 058,73
	Anual	12 600,00	14 822,19
Personal Peón Forestal	Salario mensual	900	1 000,00
	Gratificación Extraordinaria de junio y navidad	900	1 000,00
	Anual	12 600,00	14 000,00

Ejercicio

1. **En diferentes tarifarios forestales, los costes unitarios del motoserrista (personal especialista) tienen valores de 14,04; 20,05 y 22,95 € h^{-1}. Se desea analizar los costes de la operación del apeo con motosierra para un rango de rendimientos entre 2 y 15 m^3 h^{-1}.**

¿A partir de que rendimientos el coste del apeo es inferior a 4 € m^{-3}? ¿y a 2 € m^{-3}?

Solución:



8. Bibliografía

Ambrosio Y, Laína R, Martínez de Rojas I, *et al*. (2012) Apeo de árboles con motosierra. Paraninfo, Madrid.

Brenta P, Cielo P, Dalmasso G (2007) Manuale del boscaiolo. Regione Piemonte, Torino.

Calaza P, Igesias M (2016) El riesgo del arbolado urbano. Contexto, concepto y evaluación. Mundipensa, Llanera.

FITEC (2005) Best practice guidelines for tree felling. Competenz, New Zeland.

Forestworks (2011) Tree faller`s manual. CSIRO, Collingwood VIC.

González-González de Linares V, Tolosana E, Ambrosio Y, *et al*. (2014) Manual de mecanización de los aprovechamientos forestales. Mundi-Prensa, Madrid.

Mattheck C (1991) Trees. The mechanical design. Springer-Verlag, Berlin.

McNally J (1978) Planificación de carreteras forestales y sistemas de aprovechamiento. FAO, Roma.

Servizio Foreste Ufficio Economia Forestale (1997) Tecniche di abattimento e allestimento. Servizio Foreste Ufficio Economia Forestale, Trento.

Silversides R, Segerström G (1983) Tenología básica en operaciones forestales. FAO, Roma.

Tolosana E, González V, Vignote S (2000) Aprovechamiento maderero. Fundación Conde del Valle de Salazar y Mundi Prensa, Madrid.

Tolosana E, Vignote S, Ambrosio Y (2002) Rendimientos, costes y efectos ambientales de las claras mecanizadas sobre repoblaciones de" Pinus sylvestris" L. en España. Investig Agrar Sist y Recur For 11:40-65.

Vargas G (2017) Estrategias mecánicas de las plantas arborescentes : enseñanzas estructurales de los árboles. Ingeniare Rev Chil Ing 25:510-523.

Vignote S, Tolosana E, Ambrosio Y, et al. (2001) Manual para la ejecución del aprovechamiento maderero en primeras claras sobre repoblaciones de coníferas. Madrid.

Capítulo 7
El apeo y procesado mecanizado

Jesús Pemán García

1. Tipos y limitaciones

El apeo mecanizado consiste en la corta del arbolado mediante el empleo de un cabezal de corta ubicado en el extremo de un brazo-grúa o pluma articulado, acoplado a una máquina autopropulsada con chasis de variada naturaleza. Según las características del cabezal, la operación puede consistir simplemente en cortar los árboles y apilarlos (cabezal de corte) o en realizar, también, las labores de procesado (cabezal procesador). Los chasis cuentan con una cabina autogiratoria y los trenes de rodadura pueden ser de ruedas o cadenas. El chasis puede ser, también, una retroaraña. Las principales limitaciones a este tipo de apeo vienen impuestas por las características del terreno (tabla 7.1).

Tabla 7.1. Principales limitaciones para el apeo mecanizado.

Factor	Limitaciones	Factor	Limitaciones
Ambiente	Viento > 50 km h^{-1}	**Diámetro (cm)**	Dependiendo del cabezal
Pendiente (%)	Ver capítulo 6	**Suelo**	Reducida adherencia y baja capacidad portante influyen en el limite de pendiente que puede soportar
Vegetación	Ninguna	**Accesibilidad**	Las que limiten el movimiento de los diferentes chasis
Porte	Curvatura en los fustes para cabezal procesador		

El apeo mecanizado presenta como ventajas frente al apeo manual que las condiciones del árbol o las ambientales no limitan tanto la operación, es más seguro para el trabajador y aumenta la productividad cuando mayor es la intensidad de corta. Las limitaciones referentes a la pendiente o escabrosidad pueden superarse eligiendo el chasis más adecuado. En la actualidad puede decirse que el apeo mecanizado se puede realizar bajo las condiciones más extremas.

2. Equipo

Atendiendo a las operaciones que realizan están máquinas se han clasificado en cortadoras o taladoras, que solo pueden hacer las operaciones de corta y apilado, y cosechadoras, que pueden hacer las operaciones de apeo, procesado y apilado. Algunos modelos de cortadoras tienen

capacidad de agrupar varios árboles de pequeño diámetro cortados, por lo que se les denomina multitaladoras o taladoras-acumuladoras. Los elementos diferenciales entre unas y otras están en el cabezal de corte dispuesto sobre el brazo-grúa (Tolosana et al. 2000; Tolosana et al. 2012; González-González de Linares et al. 2014).

Otro elemento característico de este tipo de máquinas, independientemente del tipo de cabezal, es el chasis, que puede ser de muy variada naturaleza.

2.1. Cabezales de corte

2.1.1 Cabezal cortador

Produce únicamente el apeo del árbol y su apilado, por lo que es el cabezal adecuado para el método de aprovechamiento de árbol completo. Se usa para todo tipo de especies, coníferas y frondosas, aunque en la mayoría de los casos es para especies de pequeño diámetro. Debido a ello, tienen la capacidad de sujetar con sus garras superiores varios árboles cortados, por lo que hace más eficientes las operaciones de apeo y apilado. La capacidad de acumulación de varios árboles cortados se expresa mediante el área de acumulación que es una característica diferencial de este tipo de cabezales. En virtud de esta característica se le suele denominar cabezales multitaladores.

Los elementos más característicos de este tipo de cabezales son: i) las garras y ii) el elemento de corte, que sirve para diferenciarlos.

- **5** estar constituidas por dos o cuatro piezas de acero de perfil curvo, que se disponen de forma individual o por pares, permitiendo al cabezal agarrar el fuste o los fustes de los árboles a cortar, mediante las garras inferiores, mientras que sujeta con las garras superiores los árboles ya cortados (figura 7.1). La capacidad de almacenamiento de árboles cortados se expresa como área de acumulación y es un elemento característico de los diferentes modelos. Se sitúan en un plano horizontal, con un extremo sujeto a una articulación que les permite moverse en su plano, abriéndose o cerrándose.

Figura 7.1. Garras superiores sujetando dos fustes ya cortados y garra inferior abierta para sujetar un nuevo fuste. Cabezal Woodcracker C-350 (Foto: J. Pemán).

- **Elemento de corte**. Puede ser mediante una sierra de disco, una sierra de cadena o unas cuchillas.

  Los **cabezales de sierra de disco**, también denominados de sierra circular, disponen de un número variable de dientes a lo largo del perímetro del disco. El cabezal tiene capacidad de giro y de inclinación para adaptarse a las diferentes condiciones de la masa y del terreno. Son cabezales muy robustos, que exigen pocas operaciones de mantenimiento en el elemento de corte. Por las dimensiones de la sierra de disco los diámetros máximos de corte son más altos que en otros modelos. Las casas comerciales Quadco, Caterpillar, Komatsu, TimberPro, Tigercat, entre otras, tienen una variada oferta de modelos (tabla 7.2, figura 7.2).

Tabla 7.2. Características técnicas de algunos cabezales de sierra de disco de diferentes casas comerciales.

	Caterpillar		TimberPro	Tigercat	Quadco
Características	HF201	HF221	TDS-22	5400	22C
Dimensiones					
Peso (kg)	3 669	4 182	3 130	2 385	3 152
Altura (mm)	2 910	3 020	2 340	2 770	2 972
Anchura base (mm)	1 702	1 800	1 400	1 560	1 626
Corte					
Elemento corte			Sierra de disco		
Diámetro máximo (mm)	572	620	560	545	559
Diámetro disco (mm)	1 448	1 549	1 320	1 370	1 448
Corte (mm)	58,8	58,8	50	57	59
Número de dientes	18	18	20	18	16
Velocidad (rpm)	1 250	1 175	1 150	1 150	1 150

Figura 7.2. Cabezal cortador de sierra de disco (Fotos: J. Pemán).

Cabezal de sierra de disco sobre retroexcavadora

Los **cabezales de sierra de cadena** pueden disponer la misma montada sobre un disco o sobre una espada (figura 7.3, tabla 7.3). El cabezal tiene capacidad de giro y de inclinación lo que le permite adaptarse a las diferentes condiciones del terreno y de la masa forestal. Presentan como diferencia frente a los anteriores una menor rusticidad y la necesidad de un mayor mantenimiento de la sierra cadena. Son utilizados para la corta de árboles grandes y de gran valor. Su rapidez en el corte es mayor que en los cabezales anteriores.

Figura 7.3. Cabezal cortador de sierra de cadena Bracke C16c de la casa comercial sueca Bracke Forest (izquierda) (Foto: J. Pemán) y cabezal cortador de sierra de cadena Woodcracker CS580 de la casa comercial austriaca Westtech (derecha superior) y grapa con sierra de cadena de la comercial Cranab (inferior izquierda) (Fuente: www.westtech.at).

Una variante de estos cabezales es la grapa con sierra de cadena, que no tiene carácter multitalador y puede utilizarse para el apeo de árboles de grandes dimensiones. Comparándolos con los anteriores, son cabezales más ligeros.

Tabla 7.3. Características técnicas de algunos cabezales de sierra de cadena de diferentes casas comerciales.

Características	Westtech CS580	Tigercat 5185	Bracke Forest C16c
Diámetro de corte (mm)	580	900	260
Abertura de garra (mm)	1 430	1 300	
Tara (t)	1,4-1,5	2,7	0,625
Rendimiento (l min^{-1})	120-170		140
Presión de trabajo mínima aconsejada (bar)	280		170
Peso de vehículo portador ** (t)	14-22		
Elemento de corte	Sierra de cadena		
Soporte elemento de corte	Espada	Espada	Disco

Los **cabezales de cuchilla** se caracterizan porque el corte se produce por la presión de una o dos cuchillas sobre el tronco. Pueden ser de varios tipos: i) Guadaña. Una sola cuchilla que trabaja girando alrededor de una articulación fija, ii) Guillotina. Una cuchilla de doble filo que se desplaza sobre su plano de modo horizontal, iii) Cizalla. Una cuchilla fija montada sobre una garra articulada que en su movimiento de cierre produce el corte. También hay modelos de cizallas con dos cuchillas (figura 7.4).

Los cabezales de cuchilla presentan como ventaja frente a los de sierra de cadena una mayor facilidad para el apeo de varios árboles a la vez, evitando problemas de atascos o rebotes de la cadena (Tolosana et al. 2012). Existe una amplia variedad de modelos comerciales (tabla 7.4). La casa finlandesa Naarva comercializa unos cabezales de guillotina que pueden realizar las operaciones de desrame y tronzado mediante la disposición de unas cuchillas en las garras superiores y el desplazamiento del cuerpo del cabezal simulando el desplazamiento de una oruga.

Tabla 7.4. Características de los cabezales cortadores de cizalla.

Casa comercial	Westtech				Quadco	Naarva
Modelo	C250	C350	C450	C550	QSH212	E32
Diámetro de corte (mm)	280	350	450	550	310	320
Abertura de garra (mm)	930	1 430	1 600	1 600		900
Abertura de la cizalla (mm)	450	700	800	900		
Tara (t)	0,58-0,9	1,1-1,4	1,5-2,1	1,8-2,4	1,18	0,56
Rendimiento (l min^{-1})	50-100	70-150	80-160	100-190	132	80-160
Presión de trabajo mínima aconsejada (bar)	260	280	280	300	250	170-200
Peso de vehículo portador (t)	7-15	14-20	20-25	24-30		10-20
Tipo	Cizalla					Guillotina
Elemento de corte	Una cuchilla					

Figura 7.4. Cabezal cortador de guillotina S23 de la casa comercial finlandesa Naarva (izquierda) cabezal cortador de cizalla Woodcracker C-350 de la casa comercial austriaca Westtech (centro) y cabezal de cizallas dobles de la casa comercial DYMAX (derecha). Debajo de las imágenes de cada cabezal se detalla el elemento de corte (Fotos: J. Pemán).

Cabezal de cizalla sobre chasis de retroexcavadora

A modo de resumen, se recogen algunas de las características de los diferentes cabezales cortadores para facilitar su comparación (tabla 7.5).

Tabla 7.5. Comparativa de algunas características de los diferentes tipos de cabezales cortadores según su elemento de corte (Abreviaturas. AC: árbol completo; C: corta; D: desrame; T: tronzado; R: reunión, A:apilado).

	Método	Operaciones que realiza	Especies	Multitaladores	Área acumulación (m2)	Diámetro medio (cm)	Mantenimiento	Peso (t)
Sierra de disco	AC	C; R; A	Frondosas y coníferas	si	0,3 - 0,6	50	+	3
Sierra de cadena	AC			si; no (grapa sierra cadena)	0,6 - 0,8	> 50 (espada); 30 (disco)	++	1,5 - 2
Guillotina	AC	Algunos modelos (C, D,T,R,A)		si	0,2 - 0,6	30 -40	+	1 - 1,5
Cizalla	AC	C,R, A		si		30	+	

2.1.2. Cabezal procesador

Es el tipo de cabezal de corte más completo ya que permite el derribo y procesado del árbol. Es el más adecuado, por tanto, para los métodos de aprovechamiento de fuste entero y, sobre todo, de madera corta. Se usa fundamentalmente con coníferas donde la rectitud del fuste y el menor diámetro de las ramas facilita las operaciones de desramado y tronzado. También se usan frecuentemente en algunas frondosas como el eucalipto (*Eucalyptus* sp.) y los híbridos de chopo (*Populus* sp.). Los elementos más característicos son los siguientes (figura 7.5, tabla 7.6):

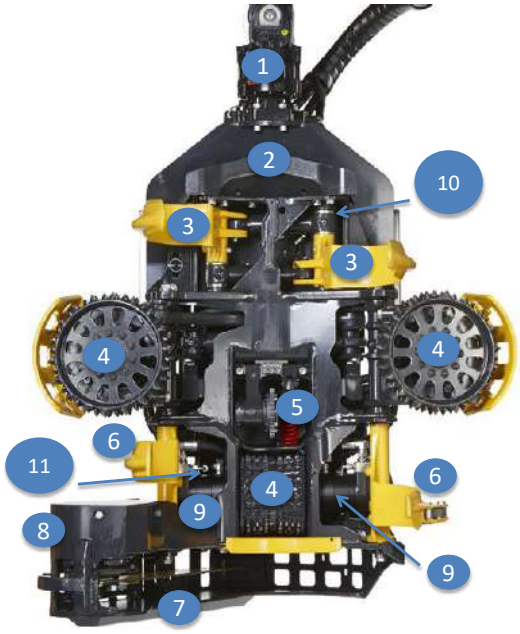


Figura 7.5. Elementos del cabezal cosechador Ponsse H7. 1: Rotator, 2: Cuchilla desrame frontal, 3: Garras de desramado delanteras, 4: Rodillos de alimentación, 5: Rueda medidora de la longitud de la troza, 6: Garras desramado traseras, 7: Sierra de cadena, 8: Motor hidráulico de la sierra de cadena, 9: Motor hidráulico de los rodillos de alimentación superiores, 10: Cilindros hidráulicos de las garras de desramado delanteras, 11: Cilindros hidráulicos de las garras de desramado traseras.

- **Garras.** Suelen ser cuatro piezas de acero de perfil curvo y afiladas en su extremo superior para realizar la operación de desrame cuando se desplaza el tronco por el cabezal. Su función es sujetar el tronco del árbol lo que les permite, en algunos modelos comerciales, medir el diámetro mediante un sensor.

- **Cuchillas de desrame**. La mayoría de los cabezales disponen de, al menos, cinco cuchillas; cuatro de ellas dispuestas sobre las garras y la otra en la parte superior del bastidor del cabezal. Las cuchillas son de acero y están afiladas en sus bordes superiores para facilitar el corte. El corte se produce por golpe, habiéndose determinado, en bancos de pruebas, la necesidad de una fuerza de 33 kN para el corte de una rama de 8 cm de diámetro para un grosor de cuchilla de 8 mm (Dargnat et al. 2014). Una mayor esbeltez en la cuchilla reduciría la fuerza de corte, pero comprometería la resistencia de la cuchilla. Las

Figura 7.6. Cuchillas de desrame de un cabezal cosechador JD 1270D (izquierda) y defectos en el desrame producto de la irregularidad del fuste (centro) o de poca potencia del cabezal (derecha) (Fotos: J. Pemán).

- **Rodillos alimentadores**. Aprisionan el fuste, transmitiéndole la fuerza necesaria para desplazarse por el cabezal para que las cuchillas puedan realizar el desrame y la sierra de cadena cortar las trozas. Como el corte de las ramas es por golpe estos rodillos deben transmitir la fuerza de arrastre suficiente para que el corte se produzca. Esta fuerza oscila entre 20 y 40 kN. Los rodillos pueden ser de muchos tipos: i) Metálicos, ii) Goma y iii) Oruga (figura 7.7). Los rodillos metálicos ofrecen una gran adherencia, pero si la presión es grande pueden dañar la madera cuando llevan estrías, por lo que ahora se diseñan con nervaduras que evitan estos daños. Se recomiendan utilizar cuando el destino de la madera es para trituración. Los rodillos de goma pueden ser neumáticos o sólidos. Aunque tienen menos adherencia que los anteriores tienen como ventaja no causar daño a la madera. Los rodillos tipo oruga desempeñan unas prestaciones intermedias a la de los dos tipos anteriores. En los cabezales que se utilizan para la corta, procesado y descortezado del eucalipto, los rodillos de alimentación tienen unas cuchillas oblicuas que facilitan esta última operación.

Figura 7.7. Rodillos cilíndricos con estrías (izquierda), rodillos cilíndricos con cuchillas cortantes oblicuas para descortezado de eucalipto (centro) y rodillos troncocónicos (derecha) (Fotos: J. Pemán).

- **Rueda medidora de longitud**. Situada en la parte central del cabezal, permite la medición de la longitud del fuste cuando el tronco se desplaza longitudinalmente. Precisa de calibrarse (figura 7.8).

Figura 7.8. Rueda medidora de la longitud (Foto: J. Pemán).

- **Sierra de cadena**. Está situada en la parte inferior del cabezal, y protegida por la estructura del mismo. La espada gira sobre uno de sus extremos accionada por un sistema hidráulico (figura 7.9).

Figura 7.9. Sierra de cadena del cabezal cosechador JD 1270D (Foto: J. Pemán).

Existe una amplia variedad de casas que comercializan cabezales procesadores, como son AFM, Kesla, Komatsu, LogMax, Caterpillar, John Deere, Waratah, Tigercat, Ponsse, Keto, Logset, etc.

Tabla 7.6. Características técnicas de distintos modelos de cabezales procesadores John Deere.

Características	H270Serie II	412	H754	H413	H414	H480C	H415
Alimentación							
Número rodillos	2	4	4	4	4	4	4
Material rodillos	Acero	Acero	Acero	Acero	Acero	Acero	Acero
Apertura máxima (mm)	620	530	560	560	640	680	680
Fuerza alimentación (kN)	28 a 34	17	18	19	17	27	27
Velocidad alimentación máxima ($m\ s^{-1}$)	4,5 a 6	4,9 a 5,8	4,5 a 7	4,8 a 5,6	4,3 a 5,3	4 a 6,5	2,9 a 7
Corte							
Diámetro máximo (mm)	650	470	620	580	620	710	750

Características	H270Serie II	412	H754	H413	H414	H480C	H415
Velocidad cadena (m s^{-1})	40	40	40	40	40	40	40
Desrame							
Número de cuchillas y tipo	4 móviles, 1 flotante y 1 fija	3 móviles, 2 fijas	4 móviles, 1 fijas	3 móviles, 2 fijas	3 móviles, 2 fijas	4 móviles, 2 fijas	4 móviles, 2 fijas
Dimensiones							
Peso (kg)	1 350	733	890	940	1 100	1 350	1 330
Anchura garras abiertas (mm)		1 320	1 360	1 450	1 520	1 880	1 720
Altura (mm)		1 155	1 130	1 330	1 345	1 450	1 510
Sistema hidráulico							
Presión trabajo máxima (MPa)		28	28	28	28	28	28
Capacidad bomba recomendada l min^{-1}		200 a 260	200 a 280	240 a 280	260 a 320	260 a 340	260 a 340

Como cabezal procesador singular, y que permite además de las operaciones de apeo y procesado las de carga, se debe destacar el cabezal Woody de la casa comercial austriaca Konrad (figura 7.10). Las características de este cabezal lo hacen muy versátil para su empleo con especies de frondosas.

Figura 7.10. Cabezal Woody de la casa comercial Konrad, realiza las labores de apeo, procesado y carga gracias a la independencia de las garras superiores respecto del cuerpo del cabezal (Fuente: www.forsttechnik.at).

Mechanised harvesting of broadleaved species in Europe

Mederski PS, Schweier J, Duka, A, Tsioras P, Bont LG. **2022. Current Forestry Reports 8:1-19.**

In contrast to harvester use for forest operations in conifer stands, the use of harvesters in broadleaved forest stands has a relatively short history. This is because harvesting and processing timber from broadleaved species is more difficult than from coniferous tree species e.g. spruce and pine. Thick branches make it difficult to obtain logs from the top parts of trees, and hardwood trees have higher wood density than conifers. Besides challenges associated with

certain tree species, there may be other factors that limit wide harvester use, like the low rate of investment capability and fear of unemployment. However, today's market conditions, with low availability of manpower, may accelerate wider use of cutting-edge harvesting technology. One of the first records of harvester productivity in broadleaved forest stands was with the harvester type Sifor 614 in France in 1993–1996, where European beech (Fagus sylvatica L.), oak (Quercus sp.), European hornbeam (Carpinus betulus L.), chestnut (Castanea sativa Mill.), birch (Betula sp.) and aspen (Populus sp.) were harvested. Early use of harvesters was also recorded in the 1990s, in Finland (birch) and in Spain (Eucalyptus sp.). Basically, the use of harvesters for broadleaved species was rather sporadic at the end of the twentieth century. This changed after wind damage resulting from the storm Lothar in 1999, when large areas needed clearing and harvesters were a suitable option in comparison to low-safety motor-manual salvage removal [6]. The need for wider harvester use led to head modifications to make timber processing more effective and with satisfactory productivity.

2.2. Chasis

Los chasis sobre los que pueden ir implementados estos cabezales son muy diversos, pudiendo distinguirse:

- **Chasis de neumáticos**. Son los más sencillos, se basan en el chasis de un autocargador foresta (figura 7.11, tabla 7.7). Por regla general son más maniobrables, pero tienen menor movilidad en suelos accidentados, con pendiente o reducida adherencia y capacidad portante. Para ganar estabilidad para sortear los obstáculos de la superficie del terreno, se ha generalizado el uso de los *bogies*, que son dos ejes de ruedas unidos que forman un tándem. En la mayoría de los modelos la cabina y la grúa se disponen en el semichasis delantero, quedando el peso del motor en el semichasis trasero. El elemento diferencial de estos modelos es conseguir una mejor distribución de los pesos. A las máquinas con estos chasis y que portan un cabezal procesador se les denomina cosechadoras.

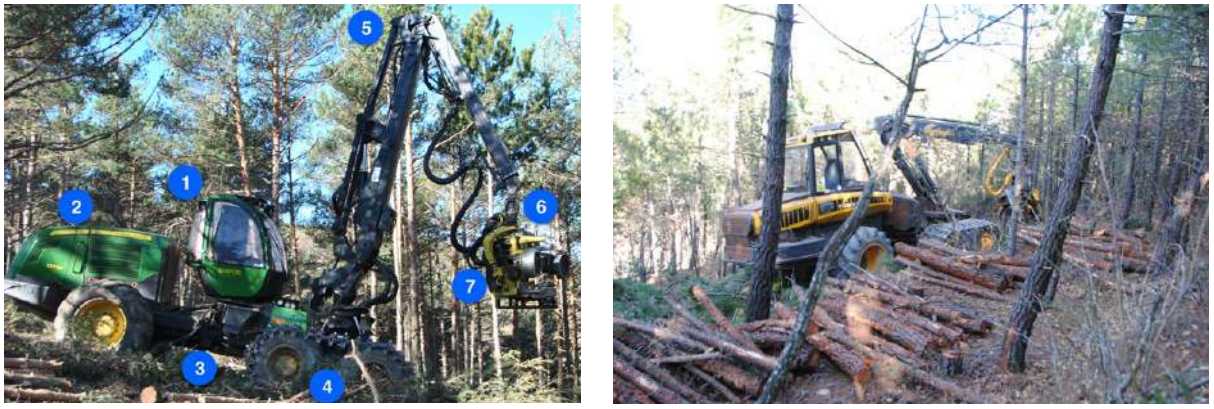


Figura 7.11. Cosechadora John Deere 1270E.(izquierda) y cosechadora Ponsse (derecha) (Fotos: J. Peman).1: Cabina giratoria y nivelable, 2: Motor en semichasis trasero, 3: Articulación, 4: Bogie ruedas delanteras, 5: Brazo articulado, 6: Rotator, 7: cabezal cosechador.

Tabla 7.7. Modelos comerciales de cosechadoras de ruedas Logset.

Modelo	5HPGT	6HPGT	8HGT	10HPGTE
Peso sin cabezal (t)	15	18	19	24
Altura / Anchura / Longitud (cm)	386 x 278 x 1184	390 x 264 x 1208	390 x 281x 1242	405x 290 x 1341
Grúa (m)	8,3-11	10,3	10,3	9,8-11
Motor	Agco power 74 AWF			
Potencia (kw)	170	220	220	230

Entre los chasis neumáticos hay que destacar uno muy especial que es el que corresponde con los modelos comerciales Highlander de la casa austríaca Konrad. (figura 7.12). Consiste en un chasis con ruedas neumáticas, 4 ó 6, con movimiento independiente entre ellas y dotado de una pluma de casi 11 m de longitud con un cabezal procesador o cortador. En la parte frontal del chasis lleva una pequeña hoja dozer, una pinza de arrastre y un cabrestante, por lo que puede realizar las labores de apeo y desembosque. Tiene una gran maniobrabilidad en el monte y su cabina, dotada de un giro de 360°, le permite realizar su trabajo en unas condiciones óptimas.

Merece destacarse, también, la existencia de un chasis combinado que permite la conversión de una cosechadora en un autocargador en apenas 20 minutos. Este modelo pertenece a la casa comercial sueca Malwa.

Figura 7.12. Máquina Highlander de la casa comercial austríaca Konrad (Fotos: G. Picchi).

- **Chasis de cadenas**. Las cosechadoras forestales sobre orugas son óptimas para zonas de elevada pendiente o para terrenos de baja capacidad portante. Suelen disponer de una cabina autonivelable que les permite trabajar en condiciones óptimas en situaciones extremas. Las pendientes máximas de trabajo en línea de máxima pendiente pueden llegar al 60% y por curvas de nivel al 15%. El reducido tamaño de la cabina y de la anchura de la máquina les permite una gran maniobrabilidad en el monte (figura 7.13, tabla 7.8). Entre las casas comerciales más relevantes que fabrican este tipo de máquinas está la austríaca Neuson Forest y la americana TimberPro

Figura 7.13. Cosechadora Neuson (izquierda) y TimberPro (derecha) (Fotos: J. Pemán).

En el caso de utilizar como chasis el de una retroexcavadora hay que tener presente la necesidad de modificarlo para adaptarlo a las condiciones de trabajo en el monte (figura 7.14). Estas modificaciones implican entre otras cosas: i) Instalación de los implementos para su trabajo en el monte (cabezales cortadores o procesadores, cabrestante, etc.), ii) Protección de la cabina (ROPS, FOPS, OPS, ver capítulo 16), iii) Adecuación de la carrocería y de la hidráulica de la máquina a estos trabajos (protección de mangueras, enfriador hidráulico, tejas recrecidas, enganches, modificación brazo de elevación, cambios de joysticks, sistema automático anti-incendios, etc.). Todos estos cambios hay que hacerlos según la Directiva 2006/42/CE para evitar la pérdida del marcado CE. El coste de estas modificaciones puede ascender a los 50 000 €.

Figura 7.14. Retroexcavadoras adaptadas al trabajo de monte. Fiat FK-E con cabezal procesador (izquierda) e Hitachi con cabezal cortador de cizalla (derecha) (Fotos: J. Pemán).

Tabla 7.8. Modelos comerciales de Procesadoras de cadenas Neuson Forest y TimberPro.

Características	Neuson			TimberPro
	103HV	103HVT	133HVT	TL725D
Peso sin cabezal (t)	12	13,5	14,4	28,1
Altura / Anchura / Longitud orugas (cm)	308 x 215 x 4130	338 x 255 x 4130	340 x 255x 4130	378x315x467
Grúa (m)	Neuson 9,3		Paralela CH135S - 9,6	7,2
Velocidades de traslación (km h^{-1})	2,44 y 4,16	2,1 y 4,56	2,1 y 4,56	1 a 6
Pendiente (%)	40	58	58	
Altura libre al suelo (mm)	425	520	520	724
Presión en el suelo (kg cm^{-2})	0,36	0,4	0,42	
Motor	John Deere 4045HFG82			Cummins L9 Series
Potencia según DIN (kw)	77	77	106	252
Presión de trabajo para cabezal procesador (bar)	250	250	300	
Nivelación cabina (º)	25 (frente), 15 (lateral)			24 (frente), 24 (lateral), 7(detrás)

- **Chasis de retroaraña**. Es el ideal para trabajos en fuertes pendientes. En la adaptación de esta máquina a los trabajos en monte hay que tener presente lo indicado para el caso de la retroexcavadora (figura 7.15).

Figura 7.15. Cabezal cortador de cizalla Westtech C250 montado sobre retroaraña (Foto: J. Pemán).

Retroaraña con cabezal cortador de cizalla

3. Descripción del proceso

En el caso de máquinas cosechadoras, en terrenos de fuerte pendiente, la máquina se desplaza por la línea de máxima pendiente, abriendo una calle de anchura variable, 4 ó 5 m, a partir de la cual va cortando y procesando los árboles a ambos lados (figura 7.16).

Figura 7.16. Procesadora realizando la apertura de la calle y el apeo y procesado de lo árboles a ambos lados de la misma (izquierda) y calle abierta, de 5 m de anchura, por la cosechadora en la línea de la máxima pendiente (derecha) (Fotos: J. Pemán).

Cosechadora ruedas neumáticas

Cosechadora de orugas

Independientemente de con que cabezal se trabaje, las primeras consideraciones a la hora de planificar una corta mecanizada son: i) Garantizar que el cabezal puede llegar al árbol sin encontrarse con obstáculos intermedios y ii) Que el diámetro del árbol a apear no supere el diámetro medio del cabezal (Tolosana et al. 2012). El proceso consistirá en los siguientes pasos (figura 7.17):

1. La colocación del cabezal debe ser en el lado opuesto al determinado para la caída del árbol.

2. La altura del cabezal sobre el fuste debe ser la que determine la altura del tocón establecida.

3. El cabezal debe ajustarse al fuste garantizando el contacto con el mismo.

4. En los árboles de tamaño normal no se deben activar las funciones cargadoras del cabezal durante el apeo. En los árboles de cierto tamaño es necesario crear una tensión preliminar antes de empezar el corte, empujando ligeramente el árbol en la dirección de caída.

5. Se realiza el apeo, accionando el elemento de corte.

Figura 7.17. Inicio del corte, previa colocación del cabezal a la altura adecuada y en el lado opuesto al de caída (izquierda) y finalización del corte (derecha) (Fotos: J. Pemán).

Una vez cortado el árbol y colocado el fuste en posición horizontal, se comienza el desrame y tronzado hasta el diámetro mínimo del aprovechamiento comercial. La longitud de las trozas estará en función de los diferentes productos que se vayan a obtener en el aprovechamiento (figura 7.18).

Figura 7.18. Proceso del apeo mecanizado, desramado y tronzado con cabezal procesador (Fotos: J. Pemán).

En el caso de ramas gruesas, a veces es necesario realizar varios golpes para producir la rotura de la rama. Dependiendo del ángulo de inserción de las ramas, de su diámetro y del tipo de cabezal dispuesto sobre la cosechadora, el desramado puede presentar problemas. La operación del procesado finaliza con el descopado. Los residuos de la corta se dejan sobre la calle para

que con el paso de la maquinaria de corta y desembosque se vayan fraccionado. Es común, en los Pliegos de Prescripciones Técnico-Facultativas Particulares, indicar que los residuos de corta deben fraccionarse cada 1 ó 1,5 m (figura 7.19).

Problemas de procesado con cosechadora

Figura 7.19. Restos de corta sobre la calle (izquierda) y fraccionamiento de la copa como tratamiento de reducción de los restos de corta (derecha) (Fotos: J. Pemán).

En los cabezales procesadores el corte se realiza con la espada mediante un único corte, a excepción de los árboles más grandes o sometidos a tensión, donde será necesario realizar un corte primero de dirección, hacia la dirección de caída y luego hacer girar el cabezal 180˚ para terminar el corte. Cortado el tronco se activan las funciones del cabezal para empujar o tirar el árbol y separar el tronco del tocón. Una vez que la copa ya ha llegado al suelo se deben empezar las operaciones de procesado. En los árboles muy grandes, para evitar que las tensiones de caída puedan dañar el cabezal, puede ser conveniente soltar el árbol después del apeo y recogerlo del suelo una vez que ya ha caído.

En el apeo con cortadoras se puede producir una variante en el proceso de trabajo, antes descrito, dado que la máquina cortadora realizará la labor de apeo y de apilado y/o clasificado de los fustes para su posterior saca o procesado (figura 7.20).

Figura 7.20. Apeo con cabezal cortador de cizalla Westtech C350 sobre retroexcavadora de orugas y apilando para saca posterior con autocargador (izquierda) y apeo y apilado con cabezal cortador de cizalla Westtech C250 sobre retroaraña(derecha) (Fotos: J. Pemán).

4. Rendimientos y costes

El rendimiento del apeo con cosechadora se muestra influenciado, al igual que en el caso del apeo manual, por el volumen medio de los árboles apeados y por la movilidad de la máquina en el monte. Tolosana et *al.* (2000) pusieron en evidencia estas relaciones en un ensayo en una clara de *Pinus sylvestris*, donde determinaron un rendimiento medio de 10,9 $m^3\ h^{-1}$ para las operaciones de apeo y procesado en un sistema de aprovechamiento de madera corta con trozas de 2 a 2,5 m de longitud. Los rendimientos oscilaron entre 6,1 y 21,3 $m^3\ h^{-1}$ según el volumen unitario y la pendiente. En primeras claras de repoblaciones de *Pinus sylvestris* en el Prepirineo y Pirineo se han registrado rendimientos con cosechadora John Deere 1270 de 100 a 150 t $día^{-1}$ en cortas con clasificación por productos. En un estudio sobre claras de repoblaciones forestales en *Pinus sylvestris*, Vignote et *al.* (2001) establecieron unos modelos de rendimiento basados en la pendiente, el volumen unitario o el volumen extraído por hectárea (tabla 7.8).

Los costes son muy variables según chasis y cabezal. Procesadora de 86 kW, 61,19 € h^{-1} (Arnó 2016), procesadora de 100-120 CV con cabezal de 50 cm 116,19 € h^{-1} y con cabezal de 70 cm 161,78 € h^{-1} (Grupo Tragsa 2019), procesadora de 100-120 CV con cabezal de 50 cm 93,02 € h^{-1} y con cabezal de 70 cm 139,35 € h^{-1} (Gobierno Navarra 2011), cabezal cortador de 35 cm sobre retroaraña 100 € h^{-1}.

Tabla 7.8. Modelos de rendimiento del apeo y procesado con cosechadora (Vignote et al. 2001).

Modelo	Variables
R (m^3 c.c. h^{-1}) = 160,23 $\frac{Vunit^{0,972}}{(p+3,3)^{0,305}}$	Vu (m^3): volumen unitario, p(%): pendiente. Cosechadora media. Cp: 0,77.
R (m^3 c.c. h^{-1}) = 0,07686 V_{ext} + $\frac{21,3}{p}$	Vext (m^3): volumen extraído por hectárea, p(%): pendiente. Cosechadora ligera. Cp: 0,81.

Ejercicio

1. **A partir de las ecuaciones predictivas de rendimientos deducidas por Tolosana et al. (2002) para el apeo y procesado mecanizado con cosechadora y para el apeo y procesado manual en función de la pendiente y el volumen de extracción, determine para un rango de pendientes entre el 5 y 35% y para un rango de volumen de extracción entre 50 y 350 m^3 c.c. ha^{-1}, cuál de los dos es más económico. El rango de pendientes considera que varía de 5 en 5% y el de volumen de extracción de 50 en 50 m^3 c.c. ha^{-1}. Considere un coeficiente de productividad en ambos casos del 82%. El coste unitario de cosechadora con operario es de 69,62 € $hora^{-1}$ y el operario motosierrista 11,12 € $hora^{-1}$.**

Solución: El apeo y procesado manual será más económico para volumen extracción inferior a 100 m^3 c.c. ha^{-1}

5. Bibliografía

Arnó J (2016) Apuntes de maquinaria forestal.

Dargnat G, Devemy C, Benjamin P, et al. (2014) Determination and optimization of delimbing forces on hardwood harvesting heads. FORMEC. Gerardmer (France), pp 1-9.

Gobierno Navarra (2011) Tarifas Forestales de Navarra.

González-González de Linares V, Tolosana E, Ambrosio Y, et al. (2014) Manual de mecanización de los aprovechamientos forestales. Mundi-Prensa, Madrid.

Grupo Tragsa (2019) Tarifas 2019 para encomiendas al Grupo Tragsa sujetas a impuestos. In: Tragsa. http://www.tragsa.es/es/el-grupo/regimen-juridico/Paginas/tarifas.aspx.

Tolosana E, Ambrosio Y, González-González de Linares V, et al. (2012) Apeo de árboles con cosechadora. Paraninfo, Madrid.

Tolosana E, González V, Vignote S (2000) Aprovechamiento maderero. Fundación Conde del Valle de Salazar y Mundi Prensa, Madrid.

Tolosana E, Vignote S, Ambrosio Y (2002) Rendimientos, costes y efectos ambientales de las claras mecanizadas sobre repoblaciones de" Pinus sylvestris" L. en España. Investig Agrar Sist y Recur For 11:40-65.

Vignote S, Tolosana E, Ambrosio Y, et al. (2001) Manual para la ejecución del aprovechamiento maderero en primeras claras sobre repoblaciones de coníferas. Madrid.

Capítulo 8
La saca de la madera (I)

Jesús Pemán García, Iyán Teijido Murias

1. Introducción

La saca de la madera conlleva las operaciones de extracción del árbol, fuste o trozas, desde la zona de corta hasta el punto desde el que se va a realizar el transporte a la industria. Este punto puede estar a pie de pista, si es accesible para los camiones que realizarán el transporte, o en lugar especialmente acondicionado para la carga y descarga denominado cargadero. La saca puede englobar las operaciones de reunión, apilado y desembosque. Estas operaciones se tratan de forma independiente porque las técnicas que se utilizan para una u otra pueden ser diferentes. La necesidad de estas operaciones dependerá del método de aprovechamiento definido y de la necesidad, según el mismo, de preparar la madera para su desembosque.

La saca se realiza en la mayoría de los aprovechamientos, aunque en algunos de ellos puede ser muy sencilla por la capacidad del medio de transporte de acceder al área de corta. Es un caso frecuente en choperas o plantaciones con especies de crecimiento rápido (figura 8.1).

Figura 8.1. Desembosque con pinza y carga del camión de transporte a pie de pista. Plantación de *Populus* x *euramericana* (Foto: A. Aunós).

2. Reunión y apilado

Estas operaciones, previas al desembosque, son necesarias cuando el método de aprovechamiento elegido es el de madera corta. La reunión implica la concentración de la madera en

determinados puntos del monte desde donde se extrae por los medios de desembosque. La reunión puede conllevar la formación o no de pilas o cambras. Si la madera ha sido tronzada a pie de tocón se hace necesario la formación de pilas para su posterior desembosque. Si el apilado es manual las pilas se realizan con fustes de pequeño diámetro para evitar un excesivo peso de las trozas, que debe ser inferior a 25 kg. Esa condición no es necesaria si el tronzado y apilado ha sido realizado con cosechadora.

Las características de la pila dependerán del medio de desembosque elegido y de la pendiente del terreno. Sobre la formación de la pila conviene realizar las siguientes consideraciones: i) Clasificación, ii) Tamaño, iii) Colocación, iv) Distribución, v) Formación.

- Clasificación. Según los destinos de la madera y los criterios de calidad exigidos, ya comentados en el capítulo 2, se deberán formar las pilas con una calidad homogénea. Si existe riesgo de confusión en la calidad de las mismas, estas deberán marcarse con algún distintivo.

- Tamaño. En el caso de que el *skidder* sea el medio elegido para realizar el desembosque de forma suspendida, el tamaño de la pila deberá oscilar entre 3 y 6 estéreos o entre volúmenes de 1,5 a 3 m^3, lo que equivalen de 30 a 60 trozas aproximadamente. En el caso de que sea el autocargador el medio elegido, el tamaño de las pilas deberá ser de la capacidad de carga de la pinza o de múltiplos de esta. Oscilará entre 0,3 y 0,7 m^3, que suponen entre 6 y 14 trozas, aproximadamente.

- Colocación. En pendiente, la pila se colocará en la línea de máxima pendiente debiendo apoyarse en estacas verticales para su anclado. Si el desembosque es con *skidder* la pila deberá apoyarse sobre dos trozas puestas en la línea de máxima pendiente que permitan pasar el cable del *skidder* por debajo de la misma. En los montes en que pueda entrar el autocargador las calles serán de 4 m de anchura y la distancia entre las calles entre 14 y 30 m (figura 8.2). Esta anchura deberá reducirse en el caso de que las pilas se distribuyan por todo el monte a la distancia de alcance de la grúa del autocargador y de la cosechadora.

Figura 8.2. Distribución de las pilas a ambos lados de la calle de desembosque realizado por la cosechadora (Fotos: J. Pemán).

- Distribución. Las pilas se suelen realizar al borde de las calles de desembosque, normalmente cuando el peso de la corta es pequeño y la masa residual es densa, para evitar que el *skidder* o el brazo grúa del autocargador puedan ocasionar daños en la masa remanente.

  Las pilas se podrán distribuir por todo el interior de la masa cuando las condiciones de la masa remanente permitan que los vehículos de desembosque maniobren en su interior o cuando las grúas de los autocargadores puedan maniobran sin riesgo de dañar a los árboles. En estos casos habrá que tener muy presente los diagramas de carga-distancia de la grúa. Sirva de ejemplo que su capacidad de carga puede variar de 2 000 kg si es a 6 m, 1 500 kg si es 8 m y 1 000 kg si es a 12 m (figura 8.3). Creando estas pilas por toda el área de corta se ahorra tiempo de desplazamiento a la cosechadora, aunque aumentará el necesario para el autocargador.

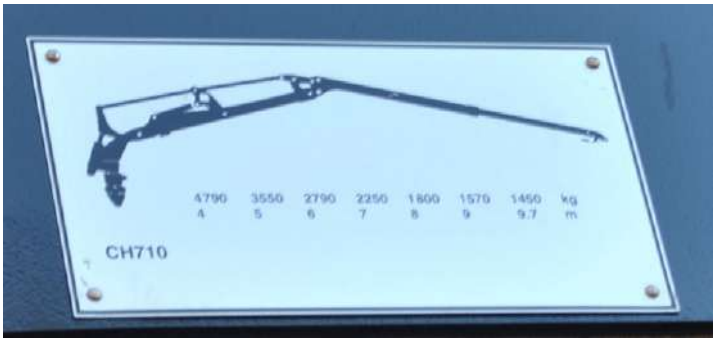


Figura 8.3. Diagrama de carga-distancia de una grúa de un autocargador (Foto: J. Pemán).

- Formación. En el caso de que el tronzado haya sido manual la formación de la pila también se realizará a mano. El traslado de estas trozas se puede realizar por lanzamiento, basculando, por rotación o carga (Ambrosio et al. 2012). Para este último sistema, el operario se podrá valer de herramientas como ganchos y pinzas (figura 8.4).

Figura 8.4. Pinzas de agarre de maderero.

En un estudio realizado sobre claras tempranas en masas de *Pinus sylvestris* los rendimientos han variado entre 1,68 y 3,75 m^3 c.c. h^{-1} productiva (tabla 8.1).

Tabla 8.1. Rendimientos en apeo, procesado y apilado en un estudio sobre claras en *Pinus sylvestris* (Tolosana et al. 2000).

Rendimiento ($m^3\ h^{-1}$ productiva)	Características
2,27	Motoserrista (apea, desrama y tronza) y apiladores trabajando a la vez en pilas autocargador
2,01	Motoserrista (apea, desrama y tronza) y apiladores trabajando después del motoserrista en pilas autocargador
1,68	Motoserrista (apea, desrama, tronza y apila)
3,75	Apiladores en saca con autocargador
2,71	Apiladores en saca con *skidder*

En estudios realizados sobre otras masas forestales, los rendimientos del apeo, procesado y apilado manual han mostrado su dependencia de la pendiente del terreno, variando desde 0,8 $m^3\ h^{-1}$ trabajo, para pendientes superiores al 15%, hasta 1,1 $m^3\ h^{-1}$ en terrenos llanos (Tolosana et al. 2000) (tabla 8.2).

Tabla 8.2. Rendimientos en apeo, procesado y apilado en un estudio sobre eucalipto y *Pinus pinaster* (Tolosana et al. 2000).* hora productiva.

Rendimiento ($m^3\ h^{-1}$ trabajo)	Características
1,1	Eucalipto entre 0,05 y 0,1 m^3 c.c pie^{-1}, (apeo, desrama, tronza y apila) en corta de 30 $m^3\ ha^{-1}$. Pendiente < 15%
0,8	Eucalipto entre 0,05 y 0,1 m^3 c.c pie^{-1}, (apeo, desrama, tronza y apila) en corta de 30 $m^3\ ha^{-1}$. Pendiente 15-30%
0,8	Eucalipto entre 0,05 y 0,1 m^3 c.c pie^{-1}, (apeo, desrama, tronza y apila) en corta de 30 $m^3\ ha^{-1}$. Pendiente >30%
13,6*	*Pinus pinaster*, 1 m^3 c.c pie^{-1}, corta de 262 $m^3\ ha^{-1}$, desramado, tronzado (4 a 5 m), apilado. Terreno llano

La Junta de Extremadura, en su tarifario de trabajos forestales, considera que el rendimiento en la formación de un estéreo depende del diámetro, la densidad y la pendiente del terreno (tabla 8.3).

La empresa pública TRAGSA, en sus tarifas del año 2019, considera que el diámetro del árbol y la presencia de matorral influyen en el rendimiento y en el coste del apilado manual. Los desplazamientos máximos considerados son de 10 m (tabla 8.4).

Para trabajos forestales, las tarifas aprobadas en 2019 por la Junta de Extremadura consideran que la pendiente, el diámetro y la densidad influyen en el coste (tabla 8.5).

Tabla 8.3. Rendimiento en hora de trabajo para la realización de un estéreo de madera en función del diámetro, densidad, pendiente y grado de ramosidad. Incluye las operaciones de apeo, desramado, despuntado, tronzado y apilado (Junta de Extremadura 2019).

Diámetro (cm)		< 12	12 a 20		20 a 30	
Densidad (pies ha^{-1})			> 1 500	< 1 500	> 750	< 750
			Ramosidad normal			
			Apear y Procesar			
Pendiente (%)	< 25	1,38	0,975	0,744	0,69	0,55
Pendiente (%)	> 25	1,65	1,168	0,892	0,834	0,83
			Apilar			
Pendiente (%)	< 25	0,42	0,285	0,22	0,212	0,173
Pendiente (%)	> 25	0,49	0,34	0,26	0,258	0,25
			Ramosidad elevada			
			Apear y Procesar			
Pendiente (%)	< 25	1,72	1,218	0,93	0,862	0,687
Pendiente (%)	> 25	2,06	1,46	1,115	1,037	1,037
			Apilar			
Pendiente (%)	< 25	0,52	0,356	0,275	0,262	0,216
Pendiente (%)	> 25	0,61	0,425	0,325	0,322	0,312

Tabla 8.4. Rendimientos y costes para la operación de apilado manual según las tarifas de la empresa pública TRAGSA. El precio final incluyen los costes indirectos y el porcentaje del capataz (Grupo Tragsa 2019).

Diámetro (cm)	Rendimiento (h estéreo $^{-1}$)		Coste (€ estéreo $^{-1}$)	
	Matorral	Sin matorral	Matorral	Sin matorral
< 12	0,517	0,438	12,96	10,99
12 a 20	0,288	0,218	7,25	5,5

Tabla 8.5. Costes (€ estéreo^{-1}) de madera en relación a los rendimientos de la tabla 8.3 (Junta de Extremadura 2019). Incluye la parte correspondiente a un capataz.

Diámetro (cm)		< 12	12 a 20		20 a 30	
Densidad (pies ha^{-1})			> 1 500	< 1 500	> 750	< 750
			Ramosidad normal			
Pendiente (%)	< 25	19,18	13,45	10,27	9,59	7,67
Pendiente (%)	> 25	22,83	16,11	12,29	11,53	11,51
			Ramosidad elevada			
Pendiente (%)	< 25	23,87	16,79	12,84	11,97	9,59
Pendiente (%)	> 25	28,5	20,11	15,38	14,44	14,36

3. Desembosque

El desembosque hace referencia a la fase de la saca consistente en trasladar la madera del área de corta, o punto de reunión, hasta el lugar definido para su transporte a la industria. Este desembosque, por tanto, conlleva la extracción de la madera al cargadero, que puede estar constituido a pie de pista o a pie de carretera. Las técnicas de desembosque se pueden clasificar por varios criterios, como son: 1) Medio utilizado para el mismo, 2) Forma de ejecución.

1. Medio por donde se realiza el desembosque (figura 8.5).

- Terrestre. Es el utilizado tradicionalmente en nuestro país. Se realiza normalmente de forma mecanizada con el empleo de tractores que realizan la extracción de la madera por arrastre o bien de forma semisuspendida o suspendida.

- Fluvial. En desuso desde los años 50 del siglo pasado. Se usaban las corrientes de los ríos para el transporte de la madera aguas abajo mediante la formación de navatas o almadías.

- Aéreo. En la actualidad, en nuestro país, puede considerarse que se realiza este desembosque cuando se utiliza un cable grúa que traslada la madera de forma suspendida. En situaciones extraordinarias se ha realizado el desembosque con helicóptero.

Figura 8.5. Desembosque terrestre con skidder (izquierda), aéreo con helicóptero (centro) y aéreo con cable grúa (derecha) (Fotos: J. Pemán).

2. Forma de ejecución del desembosque (figura 8.6).

- Manual. Es el realizado a mano, trasladándola por los obreros o desplazándola por gravedad. Correspondería a este tipo desembosque el realizado en zonas de alta montaña cuando la madera descortezada se dejaba deslizar ladera abajo. Hoy en día esta técnica está totalmente en desuso. También correspondería a este tipo de desembosque el que se realiza utilizando canales artificiales. Este modo de desembosque se utiliza en Cataluña por propietarios privados para el desembosque de leñas en algunos espacios naturales.

- Tracción a sangre. Se realiza mediante el empleo de caballos o mulas, que lo realizan mediante el arrastre de la madera por las calles de desembosque.

- Mecanizado. Se realiza mediante el empleo de tractores agrícolas, *skidders* o autocargadores. Es el más habitual.

Figura 8.6. Desembosque manual por gravedad de la madera en rollo descortezada (izquierda, foto: A. Aunós), desembosque animal con caballo (centro) y mecanizado con autocargador (derecha) (Fotos: J. Pemán).

3.1. Desembosque manual

Las técnicas de desembosque manual se basan en el desembosque por gravedad, directamente sobre la superficie del suelo o mediante el uso de unos canales artificiales o deslizaderas. La primera técnica ya está en desuso y era utilizada en los montes de alta montaña con fuertes pendientes. La madera en rollo debía estar descortezada para facilitar su deslizamiento sobre la superficie del monte (figura 8.6).

El empleo de canales artificiales para el desembosque por gravedad es una técnica de gran tradición en Francia. En Cataluña se inició su promoción en el año 1989 por el Servicio de Parques Naturales de la Diputación de Barcelona, que la empleaba para el desembosque de leñas en algunos de los espacios naturales protegidos que ella gestionaba.

El canal artificial consiste en la instalación de unas piezas, de sección semicircular, que se ensamblan unas con otras y se instalan siguiendo la línea de máxima pendiente, lo que permite el deslizamiento por gravedad de la madera en él colocada (figura 8.7) (Rodriguez et al. 2005). Los canales que utiliza el *Office National des Forêts* (ONF) son piezas plásticas de polietileno de 5 m de longitud y 35 cm de diámetro con un peso de 26 kg. Los canales se ensamblan con unos enganches metálicos robustos de fácil colocación. Se recomienda instalar los canales en laderas de pendiente homogénea con un rango entre el 25 y 45%.

Figura 8.7. Canales artificiales del Office National des Forêts en una demostración en el Parc Natural de la Zona Volcánica de la Garrotxa (Fotos: T. Cervera).

La instalación de las diferentes piezas se realiza mediante la ayuda de un pequeño cabrestante de trineo autopropulsado que va subiendo las diferentes piezas a lo largo de la calle desbrozada. La instalación debe ser lo más recta posible y debe realizarse en la línea de la máxima pendiente. La ONF no recomienda instalaciones de una longitud superior a 100 m. La separación entre las calles recomendada es de 10 m para evitar grandes desplazamientos en la reunión manual de la madera. El montaje de la primera línea en la ladera se recomienda realizarlo de abajo a arriba por la mayor facilidad que existe en corregir el trayecto.

Las canaletas tienen las siguientes ventajas en comparación con otros sistemas que se aplican en zonas de pendiente pronunciadas (RECOFTC, 2015): i) baja inversión, ii) mantenimiento bajo o mínimo, iii) bajo impacto ambiental, tanto sobre la vegetación como sobre el suelo, iv) las canaletas pueden ser fabricadas por talleres locales a partir de polietilenos o PVC reciclados, reduciendo así el coste de adquisición de estas.

Existen muchos factores que influyen en el rendimiento de este tipo de desembosque, siendo el más importante la intensidad de la corta, seguido por la pendiente y la escabrosidad del terreno, la organización del punto de descarga y la dimensión unitaria de las trozas de madera que se quieren desemboscar. En la planificación de este desembosque se puede realizar las siguientes consideraciones (Rodríguez el al., 2005; RECOFTC, 2015): i) se requiere una planificación cuidadosa para identificar la ubicación ideal de las líneas de canaletas en términos de pendiente, curvas, anclajes, etc.; ii) se necesita mano de obra calificada para el uso eficiente del sistema de rampas y la prevención de accidentes; iii) la reunión de las trozas se debe llevar a cabo manualmente desde la zona de corta hasta las canaletas (o con apoyo de tracción animal como ya se apuntó o con la ayuda de pequeños cabrestantes portátiles), iv) la presencia de sotobosque, matorral o la pedregosidad del terreno puede dificultar las operaciones, v) el diámetro de las trozas debe ser por lo menos 5 cm más pequeño que el de las canaletas y la longitud máxima de las trozas debe ser inferior a 6 m, y vi) las trozas deben presentar un buen desramado.

A parte de los condicionantes del terreno ya comentados, para el uso de esta técnica en el desembosque de leñas, las trozas debe tener una serie de características: rectitud, longitud no superior a 1,2 m, diámetro inferior a 30 cm y estar desramada. Los restos de la corta se distribuirán por todo el área de corta previo fraccionamiento a trozas no superiores a 0,5 m.

En cuanto a los rendimientos, el ONF obtiene unos rendimientos en la instalación de 4 h para instalaciones de 100 m con una cuadrilla de cuatro obreros. Rodríguez *et al.* (2005) recogen rendimientos entre 25 y 35 t día^{-1}. El ONF recomienda una capacidad mínima de desembosque, en cada línea, de 4 t.

Desembosque con helicóptero

3.2. Desembosque por tracción animal

Es una operación consistente en el desembosque de la madera mediante su arrastre por la fuerza de tiro proporcionada por animales, normalmente mulas o caballos. Es una técnica que

se utiliza con cierta frecuencia para la reunión aunque también puede utilizarse para el desembosque. La principal limitación suele ser la pendiente y la pedregosidad (tabla 8.6).

Tabla 8.6. Limitaciones del desembosque por tracción animal.

Factor	Limitaciones	Factor	Limitaciones
Pendiente (%)	> 60, siempre en sentido descendente	Peso (kg)	200 y 300
Vegetación	El matorral denso deberá ser desbrozado	Diámetro (cm)	Bajo a medio, nunca madera troceada
Densidad masa	Sin limitaciones	Distancia de desembosque (m)	50 a 100
Pedregosidad	Limitante si es excesiva por el riesgo para el desplazamiento de los animales	Accesibilidad	Ninguna
		Disponibilidad	No hay muchas empresas que dispongan de este tipo de medio

En este tipo de desembosque normalmente se utilizan caballos o mulas aunque, antiguamente, se emplearon bueyes (figuras 8.8 y 8.9).

Figura 8.8. Desembosque con bueyes, hoy abandonado (Foto: J. Pemán).

Figura 8.9. Caballo (izquierda) y mulo (derecha) arrastrando madera (Fotos: J. Pemán).

El caballo tiene una amplia tradición en su empleo como animal de tiro. La raza más empleada para ello fue la hispano-bretona, originaria del cruce de la raza Bretona francesa con razas autóctonas peninsulares, fundamentalmente del Pirineo, Cornisa Cantábrica y del norte de Castilla y León. Hoy en día, esta raza está considerada en peligro de extinción. Aunque depende de la raza, el peso medio del caballo es de 700 kg y tiene una eficiencia en el tiro de la tercera parte de su peso. Es más rápido en el trabajo que la mula, pero precisa de más tiempo de reposo y cuidado. Es más exigente, también, en su alimentación. Tolera mejor el frío, al contrario que el calor.

La mula es un animal que tradicionalmente se ha empleado para la carga y el tiro. Se obtiene mediante el cruce entre el asno o burro y la yegua. De las diferentes líneas posibles de cruce entre las razas de caballos y burros destacó, en España, el uso del garañón catalán como raza de burro, llegando a utilizarse en los años 40 del siglo pasado para el cruce de casi el 40% de las yeguas. Su capacidad de carga o arrastre puede ser de la mitad de su peso, lo que supone un valor alrededor de los 200 kg. Frente al caballo es más precoz, a los 4 años puede comenzar a trabajar, y es más longevo en el trabajo, pudiendo alcanzar su vida útil los 18 años. Además, frente al caballo, presenta una mayor eficiencia en su capacidad de tiro según su peso. Por el contrario, es un animal más lento. Para muchos es el animal de tiro ideal para las montañas del ámbito mediterráneo en donde el caballo tiene limitaciones por las características fisiográficas y climáticas. El cruce entre caballo y burra, híbrido denominado burdégano o mulo romo, no es tan interesante para el tiro.

Mulos castellanos y romos

Salazar Z (1948) Mulos castellanos y romos. Madrid

"La mula -dice Jaime Bujalut- es un animal que sería necesario inventar si no existiera. Su sitio está bien marcado desde hace siglos: el buey para las marismas, el caballo para la fértil llanura y la mula para las montañas. Es sobrio como el camello, soporta el hambre, la sed y toda clase de privaciones con resignación valerosa. Vive con poco, resiste los climas cálidos y rara vez enferma. Se usa de ella y se abusa; tiene un corazón de hierro y trabaja continuamente. Robusta y viva, su fuerza es prodigiosa. Sirve para la carga; labra, tira con paso lento de un carro, o rápidamente de una diligencia; sube o desciende de las alturas como el onagro de que proviene. Qué haría el Mediodía de Europa sin la mula? El buey es lento, consume mucho y el calor le sofoca: en el mediodía, el caballo suda y se debilita, al año quedaría estropeado."

...Es el ganado mular más inteligente que el caballar: su fama de tozudo, obstinado, testarudo y terco, que ha heredado del ganado asnal, es exacta, como lo es la de su listeza, también heredada de los asnos. Tanto el ganado mular como el asnal, podrá sufrir los malos tratos y los golpes, pero no se amedrenta ni se achanta como el ganado caballar...

...El ganado mular es un mecanismo de tiro de tipo primitivo y quizás el más útil de todos los mecanismos. Ningún otro ganado en nuestro país admite continuidad de labor que éste, y ni el ganado vacuno con su lento tiro, ni el caballar con sus forzados descansos, por sus exigencias de naturales gestaciones, pueden ponerse a su altura como elementos de trabajo. El ganado mular es, a la vez, el más robusto, el menos exigente y el que soporta más airosamente el clima propio de nuestro país y las innumerables pendientes de nuestros caminos y tierras labrantías. De aquí nuestra sim-

patía marcada hacia el híbrido mular, imprescindible en nuestros campos y que, bien cuidado, tiene mucha vida útil; siendo frecuente ver ganado de más de veinte años tirando sin cesar.

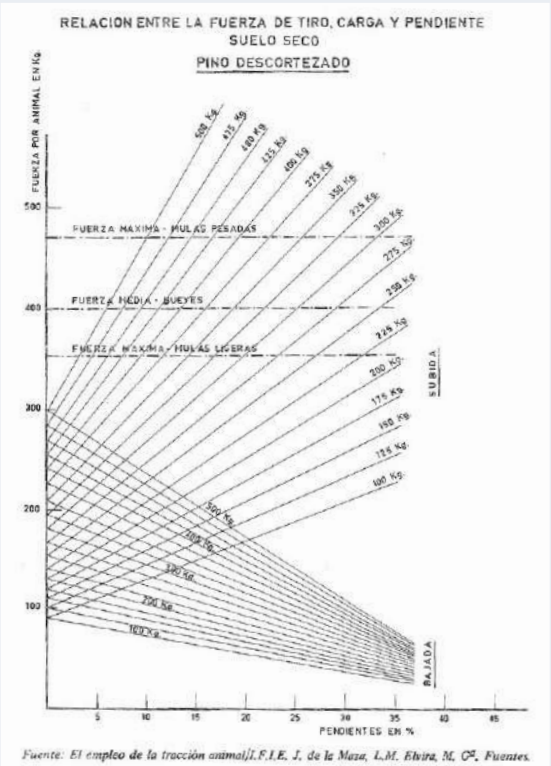
Desde el punto de vista económico, la superioridad del mulo se deduce, si tenemos en cuenta que éste suele valer casi doble que el caballo, de no tratarse de razas muy selectas o de "sport". Además, el mulo es siempre más solicitado y de segura venta. Durante su vida la alimentación del mulo puede ser más descuidada y pobre que la del caballo. No se han hecho verdaderas experiencias sobre alimentación del ganado mular y asnal; muy generalmente, y con error, es asimilada en los libros a la del ganado caballar; sin embargo, son bien sabidas por nuestros ganaderos las menores exigencias alimenticias del ganado mular, comparadas con las del caballar: la potencia digestiva del mulo es evidentemente superior a la del caballo y bastante parecida a la del asno, que a veces pasa su vida sin apenas ver el pesebre con un puñado de cebada; la paja y la hierba del campo fueron su alimento exclusivo. En cuanto a la vida útil o económica de estos animales podemos calcularla así:

	Empieza el trabajo normal (años)	Fin de trabajo (años)	Vida natural media (años)	Vida útil (años)
Caballar	5	18	25	13
Mular	4	22	30	18
Asnal	4	20	28	16

Criterios y factores que condicionan los aprovechamientos forestales

Maza de la J (1970) Criterios y factores que condicionan los aprovechamientos forestales (I). Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias, Madrid.

Los bueyes realizan de 500-600 kg de esfuerzo, si bien como valores medios no deben sobrepasar los 400 kg. Los mulos solo mantienen esfuerzos normales de unos 300 kg. Una diferencia notable entre bueyes y mulos, es que los primeros pueden desarrollar esfuerzos mucho más importantes, lo que tiene interés para salvar obstáculos ocasionales. Normalmente el ganado no se emplea para remontar madera. El gráfico da las variaciones de esfuerzo que se precisa realizar para arrastrar un pino descortezado sobre suelo seco. Se ve la notable diferencia que existe entre subida y bajada de la madera. Traducido a términos económicos el coste es ligeramente superior al doble en un caso y otro además de las limitaciones de capacidad que existen para poder remontar determinadas cargas, si la pendiente o el peso es grande. Facilitándose la bajada de madera cuanto mayor sea la pendiente, se compensa el aumento de tiempo que supone la subida en vacío. En definitiva, el rendimiento de ganado aumenta con la pendiente, mientras ésta sea inferior al 40%.



Fuente: El empleo de la tracción animal/I.F.I.E. J. de la Maza, L.M. Elvira, M. Cª. Fuentes.

Para poder realizar la operación de desembosque a la caballería se le debe implementar con atalajes, arreos o aparejos. Estos se componen, básicamente, de los siguientes elementos (figura 8.10) (Peraza 1964):

- Horcate. Piezas metálicas o de madera curvas, donde se engancha el tiro.

- Collera. Armazón almohadillado tipo collar que se coloca sobre el cuello del animal. Es donde se apoya el horcate. El conjunto de collera y horcate permite al animal utilizar toda su fuerza al arrastrar, permitiendo a la caballería tirar con sus cuartos delanteros en vez de tirar con sus hombros, como sucede si se utiliza un yugo.

- Brida. Conjunto de correas que se colocan sobre la cabeza de la caballería. Se compone de: cabezada, frontalera, carrillera, muserola, ahogadero y bocado. La cabezada lo forman el conjunto de correas necesarias para sostener el bocado en su debida posición. Suele ser de cuero. El bocado es la parte que se introduce en la boca del animal para dirigirlo. Suele ser de hierro o acero. De los dos extremos del bocado se sujetan las riendas que son las correas con las que el arriero sujeta y dirige la caballería.

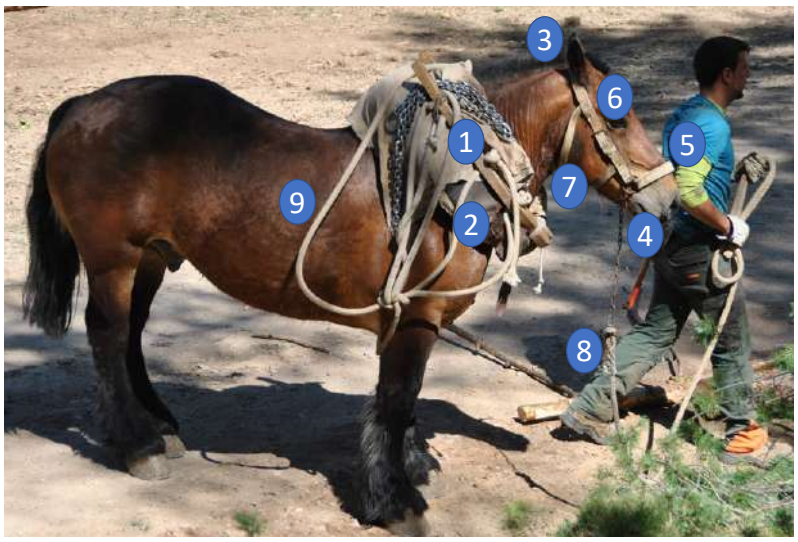


Figura 8.10. Atalajes de una caballería necesarios para la realización del desembosque. 1: Horcate, 2: Collera, 3: Cabezada, 4: Bocado 5: Muserola, 6: Carrillera, 7: Ahogadero, 8: Rienda, 9: Tiro, que está recogido (Foto: J. Pemán).

Los elementos del equipo de arrastre (figura 8.11) que se acoplan a estos atalajes son los siguientes:

- Tiro. Correas que se ajustan al horcate y al balancín. Pueden ser de cuero o cuerda hasta las patas, continuando con una cadena hasta su enganche con el balancín. La longitud del tiro debe ajustarse partiendo de la necesidad de no condicionar la libertad del animal y de no perder el esfuerzo de tiro.

- Balancín o ballestilla. Pieza metálica o de madera que separa los tiros de las patas de la caballería y es donde se ajusta la cadena de enganche. Su anchura y distancia del animal debe ajustarse en función de las características del mismo, con la finalidad de mantener los tiros separados de los costados y patas de las caballerías.

- Enganche. Puede ser constituido por un enganche abierto y fijo al balancín, cuando este es metálico, o por un enganche cerrado en el que confluyen los tiros cuando el balancín es de madera.

- Eslingas. Son los elementos utilizados para la sujeción o amarre de la carga al dispositivo que sirve de enganche (figura 8.12). Se utilizan para todos los tipos de desembosque donde la carga va amarrada. Los más habituales son de cadenas o de cable de acero. Es frecuente la utilización del anglicismo *choker* para referirse a estas últimas (ver anejo 4).

Figura 8.11. Elementos del equipo de arrastre de una caballería. 9: Tiro, 10: Balancín, 11: Enganche, 12: Eslingas para sujetar la carga (Foto: J. Pemán).

Figura 8.12. Eslingas de cadena (izquierda) y de cable de acero (derecha) (Fotos: J. Pemán).

Aunque normalmente suelen trabajar individualmente también podrían trabajar en parejas. En este caso, los atalajes se componen de un yugo, que permite realizar el arrastre a la pareja de caballerías o yunta. El punto de enganche de la carga se realiza en el centro del mismo. Hay que tener presente que cada caballería precisa de un arriero y de su pasaporte equino. El arriero es el trabajador que la guía y realiza las operaciones de enganche y desenganche de la madera.

Pasaporte equino

Real Decreto 676/2016, de 16 de diciembre, por el que se regula el sistema de identificación y registro de los animales de la especie equina

Esta norma tiene por objeto establecer las características básicas del sistema de identificación y registro de los animales equinos en España, en virtud de lo dispuesto en el Reglamento de Ejecución (UE) 2015/262 de la Comisión, de 17 de febrero de 2015 que establece normas con arreglo a las Directivas 90/427/CEE y 2009/156/CE del Consejo por lo que respecta a los métodos de identificación de los équidos.

El sistema de identificación de los équidos en España constará de: i) Documento de identificación equina (DIE) o pasaporte equino que será permanente y único, ii) Transpondedor electrónico inyectable o una marca auricular. Es obligado para todos los équidos nacidos en España desde el 1 de julio de 2009. En el caso de équidos procedentes de un país tercero a la UE su titular presentará una solicitud para obtener el documento de identificación equina en un plazo de treinta días tras la finalización del procedimiento aduanero, ante la comunidad autónoma a la que se haya destinado el animal en cuestión.

Según el Reglamento de Ejecución (UE) 2015/262 de la Comisión, la información que debe incluir el documento de identificación es: I) Identificación. Los datos identificativos son la especie, sexo, fecha de nacimiento, país de nacimiento, descripción (color, cabeza, patas delanteras y traseras, derecha e izquierda, cuerpo y marcas), número único de identificación, código del transpondedor, método alternativo de verificación de la identidad, información sobre cualquier otro método adecuado que ofrezca garantías para la identificación (ADN), ii) Administración de medicamentos, iii) Validez del documento para el traslado, iv) Propietario, v) Certificado de origen, vi) Registro de comprobaciones de identidad, vii) Registro de vacunaciones contra la gripe equina, viii) Registro de vacunaciones contra otras enfermedades, ix) Pruebas sanitarias de laboratorio, x) Condiciones sanitarias básicas, xi) Espejuelos.

Características del espacio para el acondicionamiento de la caballería en el monte

El lugar debe ser fácilmente accesible por pista, localizado en una zona que no se encharque, protegida del viento y libre de obstáculos en el suelo. Los lechos rocosos, aunque puedan ser lisos, deben evitarse por el riesgo a resbalar. La superficie mínima para caballos y mulas puede ser entre 8 y 10 m^2, con una altura de 2 a 2,2 m. La cuadra debe protegerse de las inclemencias del tiempo, por lo que debe instalarse un toldo en techo y paredes que la impermeabilice. El techo debería tener cierta pendiente para poder evacuar el agua. La cama de la cuadra debe garantizar el aislamiento del suelo y debe mantenerse seca, por lo que se recomienda un espesor mínimo de 20 cm. En el caso de que se estabule más de un animal la anchura mínima de cada compartimento debe ser de 2 m. En su interior se colocará un comedero y el bebedero, este último debidamente anclado para evitar que se pueda volcar y derramar el agua. La altura de ambos será a 2/3 de la altura

de la cruz de la caballería. Las dimensiones de los comederos pueden ser 20 cm de profundidad, 50 cm de longitud y 30 cm de ancho. Los comederos deben ser preferentemente metálicos con bordes redondeados. Los bebederos también deberían ser metálicos con un volumen mínimo de 20 l. El consumo diario de agua puede ser de 50 l, por lo que debe rellenarse dos veces al día. Los aportes diarios alimenticios oscilan entre 6,9 UFC para caballos de 450 kg y 7,5 UFC para caballos de 550 kg. Esto implica un consumo diario de materia seca entre 11,5 y 12,5 kg.

La utilización de las caballerías en el desembosque exige la necesidad del mantenimiento del animal en el monte. Normalmente, si la distancia del monte a la cuadra es elevada, se construye una caseta en el monte donde se le pueda tener estabulado cuando no está trabajando (figura 8.13).

Figura 8.13. Caseta construida para alojamiento de la caballería (Foto: J. Pemán).

Aunque hoy en día están en desuso, se pueden emplear diferentes dispositivos o piezas para reducir el rozamiento en el arrastre de los fustes (figura 8.14): i) Conos arrastre, ii) Bandejas de arrastre, iii) Palas de arrastre, iv) Carro o dispositivo de ruedas. Además de estos dispositivos también era frecuente observar el apuntado o biselado de las testas de las trozas.

La utilización de la tracción animal en el desembosque normalmente suele ser para operaciones de reunión de la madera, en los casos de que la madera esté dispersa y las distancias sean largas. Mediante esta operación se va concentrando la madera en un punto para su ulterior arrastre con un medio mecánico, normalmente mediante arrastre a cabo perdido desde pista o calle de desembosque (Rodriguez et al. 2005). En los casos de que las distancias de desembosque sean cortas se puede emplear para realizar el desembosque completo.

Normalmente se utiliza este procedimiento en el desembosque de fustes completos, si el árbol es de reducido tamaño, o para trozas en el que caso de que sean de mayor volumen. El peso del fuste o de la troza es el factor determinante. En el caso de que las pendientes sean elevadas, el uso de las caballerías debe realizarse en el sentido descendente de la ladera, en una dirección oblicua a la misma. Esta es una de las grandes ventajas frente al desembosque mecanizado, que siempre deberá realizarse en líneas de máxima pendiente para evitar los riesgos de vuelco de la máquina. En montes de reducido sotobosque el desembosque podrá realizarse a lo largo

del área de corta sin necesidad de establecer unas calles de desembosque. En el caso de pendientes reducidas, el desembosque puede realizarse en ambos sentidos.

Figura 8.14. Desembosque de Quercus robur para la reconstrucción del tejado de la Catedral de Notre Dame, con caballos de la raza Trait du Nord en Gironde, utilizando un carro o dispositivo de ruedas (Foto: Y. El Karkri).

Desembosque con tracción animal

Desembosque con tracción animal y carro porta troncos

Los factores que más condicionan el rendimiento son la pendiente y la distancia del desembosque. El ciclo de trabajo se compone de las siguientes fases: i) Recorrido en vacío, ii) Enganche, iii) Recorrido con carga, iv) Desenganche a pie de pista o de calle. Ambrosio et *al.* (2001) han determinado unas ecuaciones de rendimiento para la reunión y el desembosque con mula en la que además de los dos factores anteriores intervienen el número de trozas que desembosca en cada ciclo y la distancia recorrida de vacío por la trocha (tabla 8.7).

Tabla 8.7. Modelos de rendimiento para las operaciones de reunión y desembosque con tracción a sangre (Ambrosio et *al.* 2001).

Operación	Modelo de rendimiento ($m^3\ h^{-1}$ productiva)	Variables
Reunión con tracción a sangre	$\frac{2724}{59{,}9618 + 8{,}62097\ \text{Disctrocha} + 6{,}30515\ \text{Disvtrocha} + 45{,}5185\ \text{Nt}}$	Disctrocha (m): distancia recorrida arrastrando por la trocha, Disvtrocha (m): distancia recorrida de vacío por la trocha, Nt: número de trozas desembosadas en cada ciclo. Cp:0,52. (Ambrosio et al 2001)
Desembosque con tracción a sangre	$\frac{3384}{-599{,}92 + 2{,}35483\ \text{Disctrocha} + 139{,}383\ \text{Nt} + 20{,}452\ \text{p}}$	Disctrocha (m): distancia recorrida arrastrando por la trocha, p (%): pendiente, Nt: número de trozas desembosadas en cada ciclo. Cp: 0,83. (Ambrosio et al 2001)

Representando la ecuación propuesta para el desembosque, considerando una sola troza en el mismo, se puede visualizar la influencia que en el rendimiento tiene la pendiente y la distancia del desembosque (figura 8.15). En este mismo estudio se considera un coeficiente de productividad de 0,63 para la operación de desembosque y de 0,52 para la operación de reunión.

Para la empresa TRAGSA (2019) las variables que influyen en el rendimiento son la pendiente, la distancia de desembosque y el diámetro del fuste o de la troza (tabla 8.8).

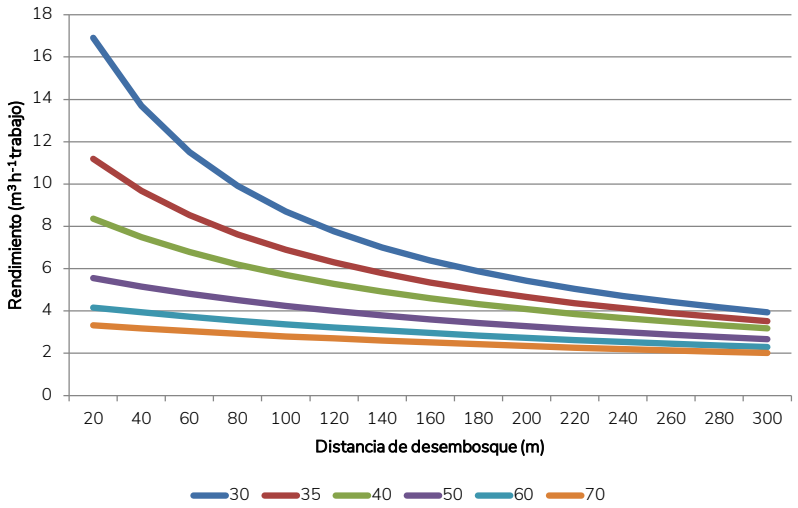


Figura 8.15. Influencia de la pendiente y la distancia de desembosque según el modelo propuesto por Ambrosio et al (2001) en el caso de que se extraiga una sola troza por ciclo.

Tabla 8.8. Rendimiento en estéreos h^{-1} de un par de caballerías en las labores de desembosque en sentido descendente para una pendiente inferior al 50% según la distancia de desembosque y el diámetro medio de la troza o fuste (TRAGSA 2019).

Diámetro medio (cm)	Distancia de desembosque (m)	
	< 100	100-200
> 12	0,345	0,477
< 12	0,426	0,582

En Cataluña se considera un rendimiento medio de 8 a 12 m^3 $día^{-1}$. La empresa TRAGSA considera un coste unitario de una yunta de mulas de 13,54 € h^{-1} (TRAGSA 2019). Según Rodríguez et al (2005), los costes medios del desembosque con tracción animal en Cataluña son de 7 a 12 € m^{-3}. En Francia los rendimientos medios obtenidos están en función del volumen de la troza de tal forma que para trozas de 0,1 m^3 el rendimiento es de 1,4 m^3 $hora^{-1}$, para trozas de 0,2 m^3 es de 2,8 o para trozas de 0,5 m^3 es de 5,5 m^3 $hora^{-1}$. A partir de estos valores el rendimiento suele disminuir. Esto conlleva que los costes del arriero más el animal pueden alcanzar los 300 € $día^{-1}$ (ONF 2009).

En el tarifario de la *Mancomunitat de Municipis Berguedans per a la biomassa* se paga 14,5 € t^{-1} el desembosque de cualquier tipo de madera con tracción animal a excepción de la madera para puntales, esta última se paga a 18,5 € t^{-1}. Hay que tener en cuenta que estos precios respon-

den a la intencionalidad del gestor de primar la obtención de un determinado tipo de producto (Mancomunitat de municipis Berguedans per a la biomassa 2015).

3.3. Desembosque mecanizado

El desembosque mecanizado consiste en la extracción de la madera mediante la utilización de una máquina autopropulsada. Dependiendo del tipo de máquina, se puede distinguir los siguientes procedimientos:

- Desembosque con tractor agrícola con cabrestante o remolque.
- Desembosque con tractor arrastrador o *skidder*.
- Desembosque con autocargador.
- Desembosque con camión y/o carroceta (por pista hasta cargadero).
- Desembosque con pequeñas máquinas
- Desembosque con cable grúa. Se describirá en el capítulo 9.

3.3.1. Desembosque con tractor agrícola

Esta operación consiste en la extracción de la madera del bosque mediante el empleo de un tractor agrícola. Según el equipamiento, podrá hacer el desembosque mediante arrastre con cable, si se le acopla un cabrestante, o de forma suspendida, si se le acopla una grúa y un remolque. Aunque no es una máquina adaptada al trabajo en monte es una de las más utilizadas por su versatilidad en el trabajo agrícola y forestal. El bajo precio de los cabrestantes (4 500 y 7 000 €) hace que este procedimiento esté muy extendido en el medio forestal. La limitación principal de este procedimiento es la pendiente y la escabrosidad (tabla 8.9).

Tabla 8.9. Limitaciones del desembosque con tractor agrícola.

Factor	Limitaciones	Factor	Limitaciones
Pendiente (%)	Ver capítulo 5	**Peso (kg)**	1 a 4 t cuando se arrastra con cable
Vegetación	El matorral denso deberá ser desbrozado en las calles	**Distancia de desembosque (m)**	Arrastre con cable < 100 m
Densidad masa	Sin limitaciones, aunque dependerá de las dimensiones del tractor	**Accesibilidad**	Limitante por la pendiente
Pedregosidad	Limitante si es excesiva, al igual que la rocosidad	**Disponibilidad**	Sin limitaciones. Maquinaria más habitual
Pistas	Anchura: 2,5 m Separación: 50 m		

El equipo para realizar este procedimiento de desembosque lo integran: 1) Tractor agrícola, 2) Cabrestante, 3) Remolque, 4) Grúa.

1. Tractor agrícola. El tractor agrícola que quiera dedicarse al desembosque de la madera deberá adaptarse para el trabajo en el monte (figura 8.16). Esta adaptación consistirá en los siguientes elementos:

Figura 8.16. Tractor agrícola Massey Ferguson 6180 de 120 CV (izquierda) y cabrestante acoplado (derecha) (Fotos: J. Pemán).

1.a. Equipo para la realización del trabajo en el monte. Cabrestante o remolque con grúa.

1.b. Elementos de seguridad. Deberá incorporar los elementos de seguridad necesarios para adaptase a los requerimientos de la norma UNE-EN ISO 11850 (2012). Consistirán, entre otros, en los siguientes:

- Protección de la cabina frente al riesgo de vuelco (ROPS). Puede ser de arco o bastidor de cuatro postes.
- Protección de la cabina frente a la caída de objetos (FOPS). Puede ser de armazón, rejilla o integrado en la cabina.
- Protección frente a la penetración de objetos (OPS). Puede ser de armazón, malla o rejilla o cristales antimpacto.
- Protección del bastidor.
- Protección del motor, radiador.
- Protección de las ruedas.
- Protección de la toma de fuerza.
- Contrapeso delantero. Es necesario en los tractores agrícolas para realizar una distribución del peso adecuada. Mientras que los tractores forestales concentran las dos terceras partes

de su peso en el eje delantero, los agrícolas lo hacen en el eje trasero. Este hecho hace que cuando entran en carga al arrastrar la madera corren el peligro de sufrir un vuelco longitudinal, sobre todo cuando suben pendientes.

La potencia del tractor agrícola para su uso en el ámbito forestal debería ser como mínimo de 100 CV, para no tener limitaciones en el empleo de los diferentes modelos de cabrestantes existentes en el mercado. No obstante, hay modelos de cabrestantes que se pueden adaptar a tractores de menor potencia. Además, sería necesario que el tractor tenga tracción a las cuatro ruedas para garantizar su mayor adherencia durante el desplazamiento con la carga.

2. Cabrestante. Es el dispositivo que, acoplado al tractor y a su toma de fuerza, permite el arrastre de la madera mediante un cable, normalmente de acero (anejo 4), enrollable (figura 8.17).

Figura 8.17. Cabrestante UNIFOREST 85 M acoplado a tractor agrícola. 1:Rejilla protectora, 2:Polea superior, 3: Polea inferior, 4: Resaltes para enganche de eslingas de cadena, 5: Escudo, 6: Parte inferior del escudo reforzada para apilado troncos, 7:Accionamiento manual de la tracción (Fotos: J. Pemán).

Entre los distintos modelos comerciales se pueden encontrar cabrestantes de un tambor o de dos, de tambor mecánico, accionado por la toma de fuerza, hidráulico o de engranajes (tabla 8.10). Los nuevos modelos de cabrestante son accionados por control remoto.

Tabla 8.10. Características técnicas de algunos cabrestantes comerciales.

	Tambor	Capacidad tiro (t)	Peso (kg)	Potencia mínima tractor (CV)	Longitud cable (m)	Diámetro cable (mm)
IGLAND 9002	Doble	9	722	90	90	14
IGLAND 55	Sencillo	5,5	380	60 a 95	210 a 103	8 a 11
IGLAND 65	Sencillo	6,5	615	60 a 100	242 a 97	8 a 12
IGLAND 85	Sencillo	8,5	880	60 a 100	340 a 100	8 a 14

	Tambor	Capacidad tiro (t)	Peso (kg)	Potencia mínima tractor (CV)	Longitud cable (m)	Diámetro cable (mm)
VP4500	Sencillo	4,5	330	24 a 47	60	8
VP5500	Sencillo	5,5	345	40 a 54	100	10
VP8500	Sencillo	8,5	570	75 a 120	100	12
VP DT	Doble	5,5	690	65 a 95	100	10

Las características del cable son determinantes en el desembosque (anejo 4). Este suele ser de acero, aunque hoy en día empiezan a utilizarse cables sintéticos, y su diámetro oscila entre 8 y 14 mm en la mayoría de los modelos (figura 8.18).

Figura 8.18. Cable de acero inoxidable (izquierda) y sintético (derecha) Fuente: (http://www.waldwissen.net/lernen/fortbildung/tests/bfw_praxistest_kunststoffseil/index_EN).

Los cables van provistos de unos enganches deslizantes donde se ajustan las eslingas utilizadas para el agarre de los fustes o trozas (tabla 8.11, figura 8.19).

Figura 8.19. Enganches deslizantes tipo ojal (izquierda) y de casquillo de tipo abierto (derecha) (Fotos: J. Pemán).

3. Remolque. Vehículo utilizado para la carga de madera que permite su desembosque de una manera suspendida (figura 8.20). De características muy diversas, pueden permitir la carga desde 8 a 12 t, según la potencia del tractor. Los remolques de carácter forestal suelen disponer de un eje tipo *bogie*, con ruedas en tándem, que le permite superar los obstáculos del terreno sin una pérdida de estabilidad. En la descripción del autocargador se comentan de manera más detallada sus características.

4. Grúa. Dispositivo utilizado para la carga de madera (figura 8.20). Puede incorporarse en el remolque o en el puente trasero del tractor. Consta de un pie giratorio y va dotada de un brazo o pluma articulado y telescópico, con una extensión variable que, según los diversos modelos, puede oscilar entre 6 y 10 m. El brazo puede terminar en diferentes dispositivos como grapas, cucharas o cabezales, unidos al brazo con un *rotator*. El dispositivo utilizado para el desembosque son las grapas. Sus características técnicas se describen con carácter general en el apartado de los autocargadores. La capacidad de carga variará según la distancia. La sección de la grapa dependerá del tipo de árboles a extraer. Las grúas disponen de unos estabilizadores para mejorar la seguridad durante el trabajo.

Figura 8.20. Tractor agrícola con remolque con grúa (Fotos: J. Pemán).

La operación de saca con cabrestante, es decir, mediante arrastre de la madera, dependerá de las posibilidades del tractor de moverse por el área de corta. Esto solo será posible cuando la pendiente sea reducida. En el caso de que la pendiente sea elevada, el tractor realizará el desembosque desde la pista, pudiéndolo realizar de árboles completos, fustes enteros o madera troceada (figura 8.21). En este último caso, la madera debe haberse reunido previamente y estar apilada perpendicularmente a la dirección del desembosque. Aunque dependerá de las características del cabrestante, normalmente el uso del tractor agrícola se realiza para madera de pequeñas dimensiones. La descripción del proceso de trabajo es similar a la que se describe para el *skidder*.

Desembosque mediante tractor agrícola con cabrestante con control remoto

Desembosque mediante tractor agrícola con cabrestante accionado manualmente y con tronzado en pista

Desembosque mediante tractor agrícola con cabrestante con control remoto. Problemas en el arrastre

El desembosque mediante grúa y remolque se describe para el caso del autocargador, aunque habrá que tener en cuenta las limitaciones impuestas por el tractor agrícola.

Los factores que influyen en el rendimiento de este procedimiento de desembosque son la distancia de desembosque hasta pista o el volumen de la pila. En Cataluña los valores obtenidos

son de 25 a 30 t día^{-1} (Rodriguez et al. 2005). Los costes medios según Rodríguez et *al*. (2005) son de 6 a 8 € t^{-1}. Según Arnó, el coste horario de un tractor Landini 120 y de un cabrestante FAMI JL 601 sería de 24,26 € h^{-1}.

Figura 8.21. Operario que arrastra el cable de acero hasta llegar a la zona de carga (izquierda) transportando las eslingas, en este caso de cadenas, para el amarre de la carga (derecha) (Fotos: J. Pemán).

3.3.2. Desembosque con skidder

Esta operación consiste en el desembosque de la madera mediante la utilización de un tractor forestal arrastrador, *skidder*, que podrá realizarla mediante el uso de un cabrestante, una grapa o una pluma y grapa. Las principales limitaciones son la pendiente y la escabrosidad del terreno (tabla 8.11).

Tabla 8.11. Limitaciones del desembosque con *skidder*.

Factor	Limitaciones	Factor	Limitaciones
Pendiente (%)	Ver capítulo 5	**Peso (kg)**	2 a 3 t ciclo^{-1} ascenso 3 a 4 t ciclo^{-1} descenso 2,5 t ciclo^{-1} en pila
Vegetación	Sin limitaciones	**Distancia de desembosque (m)**	200 a 250
Densidad masa	< 850 pies ha^{-1}	**Pistas**	Anchura: 3,5 m Separación: 40 a 50 m
Pedregosidad	Limitante si es excesiva, al igual que la rocosidad	**Disponibilidad**	Sin limitaciones. Maquinaria habitual

El *skidder* o tractor forestal arrastrador, es una máquina autopropulsada adaptada al medio forestal que realiza el desembosque de la madera de manera arrastrada, semisuspendida o suspendida. Los modelos comerciales más comunes son *John Deere (EEUU)*, *Caterpillar (EEUU)*, *Komatsu (Japón)*, *Johnsered (Suecia)*, *Logset (Finlandia)*, *Camox (Francia)*, etc. La marca *John Deere*, que en el año 2000 absorbió a la también americana *Timberjack*, monopoliza prácticamente el sector en España. Se compone de una máquina base que puede llevar varios dispo-

sitivos diferentes para el desembosque de la madera: cabrestante, grapa y grapa y pluma. Los elementos más característicos del *skidder* son: 1) Chasis, 2) Cabrestante, 3) Arco integral, 4) Escudo protector (figura 8.22, tabla 8.12).

Figura 8.22. Skidder JD 440B. 1: Chasis articulado, 2: Cabrestante, 3: Arco integral, 4: Escudo protector (Foto: J. Pemán).

1. Chasis. La máquina base es un tractor articulado, en el caso de las máquinas de ruedas, de una anchura entre 2,5 y 3,5 m, con una longitud entre 3 y 9 m. El chasis es robusto y está elevado del suelo generalmente más de 50 cm. Su peso es elevado, entre 5 y 20 t, que se distribuye las dos terceras partes en el eje delantero y el resto en el eje trasero. Su potencia, según modelos, oscila entre 80 y más de 200 CV, siendo la mínima recomendada de 120 CV. Según su potencia, una clasificación muy sencilla los agrupa en:

    - Medianos (80 a 120 CV). Los modelos *John Deere* 440 y 540 son los más comunes en Cataluña (Lliró y López 2014a).

    - Pesados (> 120 CV). El más común en Cataluña es el *John Deere* 640 (Lliró y López 2014a).

    En el semichasis delantero se ubica el motor, la cabina y una hoja *dozer*. Esta es de gran utilidad y se puede emplear para diferentes funciones, que van desde manipular los fustes y trozas en el suelo, estabilizarse en el monte, realizar pequeños movimientos de tierra o emplearla como elemento de seguridad en el descenso de laderas de fuertes pendientes. En el semichasis trasero se ubican los elementos de desembosque como es el cabrestante, el arco integral y el escudo protector. El tren de rodadura suele estar formado por ruedas neumáticas, aunque también hay modelos de cadenas u orugas en, cuyo caso, el chasis ya no es articulado. Las ruedas son motrices y tienen un diámetro que superan normalmente el metro y medio. Para aumentar la adherencia se le pueden colocar cadenas. En el caso de los modelos más pesados habrá que tener en cuenta la compactación que pueden ejercer en el suelo valorando el uso de ruedas de baja presión (ver anejo 1). Hoy en día, se está trabajando en crear modelos que puedan ser homolo-

gados para circular por las vías de comunicación. Así, los modelos CAMOX F140 y F175 fueron los primeros homologados en 2018 por Francia.

2. Cabrestante. Es el elemento característico del *skidder*, que permite el desembosque de la madera mediante la acción de un cable tractor (ver anejo 4). Los elementos característicos del cabrestante son: i) Reductora, ii) Tambor, iii) Embrague, iv) Freno (Vignote et al. 1993). La mayoría de los modelos comerciales tienen un tambor pero existen determinadas casas comerciales, como la casa francesa CAMOX, que comercializa modelos con dos tambores. La disposición de estos dos tambores suele ser en horizontal aunque también puede ser en vertical (figura 8.23).

Figura 8.23. Modelo Camox de dos tambores en vertical (izquierda) y modelo Camox F140 de dos tambores en horizontal (Fotos: J. Pemán).

La capacidad del tambor es variable, entre 50 y 250 m de cable de diámetro entre 15 y 25 mm. El cabrestante se puede manipular de forma manual desde la cabina del *skidder* o por control remoto (figura 8.24). Estos modelos son de enorme interés, al poder reducir el número de operarios que participan en el desembosque, que podría bastar con uno.

Desembosque sobre pista con skidder Camox F140, de doble tambor, con cabrestante accionado de forma remota

Figura 8.24. Cabrestante manipulado de forma manual desde la cabina del skidder (izquierda) y mediante control remoto (derecha) (Fotos: J. Pemán).

3. Arco integral. El chasis del arco consta de dos rodillos verticales y uno horizontal que ejercen de guía del cable y disminuyen su rozamiento en las operaciones de desembosque (figura 8.25). El rodillo horizontal regula la altura del cable y soporta la carga a la que está sometido el mismo. En algunos modelos se puede regular la altura del rodillo. Tiene como objetivo elevar las testas de los fustes o trozas para reducir el rozamiento de las mismas con el suelo y poderlos llevar de forma semisuspendida o suspendida. Cuanto más elevada sea la posición de salida del cable más se puede levantar la carga para desemboscarla de forma semisuspendida.

Figura 8.25. Visión lateral del arco integral del skidder JD 540 (izquierda) y vista frontal del arco del modelo JD 440B (derecha) (Fotos: J. Pemán).

4. Escudo protector. Se ubica en la parte trasera para evitar golpes en la transmisión, en las ruedas o en el tambor del cabrestante (figura 8.26). Normalmente puede bascular, gracias a uno o dos brazos hidráulicos, lo que le permite apoyarse en el suelo cuando se realiza el arrastre con el cable, con lo que mejora el anclaje y adherencia del tractor en esta operación.

Figura 8.26. Vista lateral del escudo del modelo JD 540 (izquierda) y vista frontal del escudo del modelo JD 540GIII (derecha) (Fotos: J. Pemán).

Como alternativas al cabrestante, los *skidders* pueden llevar grapas o plumas con grapas.

- Grapa. Puede valorarse utilizar modelos con este dispositivo en el caso de que se haya realizado una labor previa de reunión y el tractor pueda moverse por toda el área de corta. En el

caso de que lleve una grapa, esta se encuentra situada en el extremo de un brazo en la parte trasera del tractor. La grapa dispone de dos movimientos: giro sobre el eje de unión al arco y apertura y cierre de la grapa que le permite recoger directamente la carga del suelo. Con más detalle se describirán en el autocargador. En la actualidad se están diseñando modelos de skidder con cabrestante, grúa y garra invertida (clambunk) que permiten un desembosque más eficiente (figura 8.27).

- Pluma y grapa. Para mejorar la capacidad de recogida de la madera se puede instalar una grapa en el extremo de una pluma ubicada en el semichasis trasero (figura 8.27).

Tabla 8.12. Características de algunos modelos comerciales de *skidders* ([1]: diámetro del cable de 15,8 mm, [2]: 19 mm, [3]: 14 mm).

	John Deere		Caterpillar			Camox	
	640L	648L	525D	535D	545D	F140	F175
Potencia bruta (CV)	221	221	205	228	252	155	190
Peso (t)	16,7	16,7	20,5	20,7	21,2	11	13
Altura (m)	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,5	3,4
Anchura (m)	3,2	3,2	3,4	3,4	3,4	3,4	2,8
Longitud (m)	7,6	7,6	9,0	9,2		5,7	6,4
Altura suelo (m)	0,55	0,55	0,50	0,55	0,55	0,66	0,66
Hoja dozer ancho (mm)	2192	2192	2678	2678	2678	2509	2200
Hoja dozer alto (mm)	687,6	687,6	1426	1426	1426		
Cabrestante							
Longitud (m)	77[1]		59[2]	59[2]	59 [2]	220[3]	220[3]
Velocidad (m min^{-1})	19,2		85,3	85,3	85,3		
Grapas							
Apertura (mm)		3015	3205	3226	3429		
Área (m^2)		1	1,34	1,54	1,77		

Figura 8.27. *Skidder* con grapa transportando fuste entero (izquierda) y skidder Equus175 con doble cabrestante, garra invertida (clambunk) y grúa (Foto: J. Arnó)..

El *skidder* normalmente se utiliza para el desembosque de fuste completo y recientemente para el desembosque de árbol completo con fin energético. De manera más ocasional se utiliza para el desembosque de madera corta en el caso de los aprovechamientos de leñas (figura 8.28).

Figura 8.28. Desembosque de una pila de madera corta (izquierda) y de fuste entero (derecha) (Fotos: A. Aunós).

El ciclo de trabajo del desembosque consiste en las mismas fases que el del tractor agrícola: i) Desplazamiento en vacío desde cargadero a la zona de carga (área de corta o pista), ii) Posicionamiento del tractor para realizar la carga, iii) Suelta del cable y amarre de la carga, iv) Arrastre de la carga hasta el *skidder*, v) Movimiento del *skidder* cargado hasta el cargadero y vi) Desamarre de la carga. Dependiendo de si el *skidder* entra o no en el área de corta y el método de aprovechamiento se han descrito diferentes sistemas de desembosque (ver capítulo 13):

1. Si la red de pistas es elevada o el tractor no puede acceder al área de corta, podrá sacarse la madera sin necesidad de transitar por dentro de la misma. El *skidder* se dispondrá alineado con la dirección de arrastre, normalmente transversal al eje de la vía o en un ángulo inferior a 30˚ (figura 8.29). La distancia de desembosque normalmente oscila entre 80 ó 90 m aunque en la práctica es difícil que supere los 50 m por los diferentes obstáculos que se encuentran durante el arrastre. Una vez estacionado irá liberando el cable tractor al que se irán colocando las eslingas correspondientes a cada uno de los fustes a extraer. Si durante el proceso de arrastre de la madera se encuentra con algún obstáculo deberá detenerse el proceso, soltar cable e intentar liberar la madera o cambiar la posición del *skidder*. Es un procedimiento propio de terrenos de fuertes pendientes y en donde el arrastre se realiza en sentido ascendente. Es frecuente oír denominar a este desembosque como *a cabo perdido* por similitud con el sistema del mismo nombre utilizado en los antiguos teleféricos de arrastre (Valladares 1975).

Desembosque con skidder JD 440B

Desembosque con skidder Equus175 de doble tambor y grúa

Cuando se arrastra desde pista el riesgo de producir daños en la masa remanente es alto (figura 8.30).

Figura 8.29. *Skidder* arrastrando desde pista (izquierda) y obstáculo durante el arrastre que exige el cambio de posición del tractor (derecha) (Fotos: J. Pemán).

Figura 8.30. Daños en árboles en pie por el arrastre con cable desde pista (Fotos: J. Pemán).

Del ciclo de trabajo, el desplazamiento puede llegar a consumir, si las distancias de desembosque son alrededor de 200 m, el 30-40% del mismo. La carga es la fase que puede llegar a consumir la mayor parte del tiempo, el 50-60%. Es conveniente disponer por cada *skidder* de dos operarios, aunque podía ser uno si dispone de control remoto del cabrestante. La descarga puede llegar a consumir un 10 ó 15% del tiempo.

Los factores que influyen en el rendimiento del desembosque con *skidder* con cabrestante son la pendiente y la distancia de desembosque. Ambrosio *et al.* (2001) han determinado unas ecuaciones de rendimiento para el desembosque con *skidder* a partir del volumen unitario, la pendiente y la distancia que recorre de vacío por la calle (tabla 8.13). TRAGSA considera unos rendimientos entre 7 y 10 m^3 c.c h^{-1} para pendientes comprendidas entre el 30 y 50% y distancias de desembosque hasta 400 m con un *skidder* de 100 a 130 CV (TRAGSA 2019). Rodríguez *et al.* (2005) ofrecen unos rendimientos en Cataluña entre 30 y 40 t $día^{-1}$**.** Lliró y López (2014) estiman un rendimiento de 21 a 30 t verdes $día^{-1}$ en cortas comerciales que pueden llegar a 60 t $día^{-1}$ en madera de grandes dimensiones. Sin embargo, cuando se trata de clareos

el rendimiento diario puede estar en 15 t día^{-1}. Cuando se extraen árboles enteros se pueden alcanzar 40 t día^{-1} y en clareos entre 10 y 18 t día^{-1}.

Tabla 8.13. Rendimientos en operaciones de desembosque con skidder.

Ecuación	Referencia
Rendimiento (m^3 h^{-1} productiva) = 11662 / 369,934 + 0,919344 * Distvcalle + 11,5485*p – 2404,75*V Distvcalle: distancia recorrida de vacío por la calle (m), p: pendiente (%), V: volumen unitario (m^3 cc). El coeficiente de productividad es de 0,74	(Ambrosio et al. 2001)
Rendimiento (m^3 h^{-1} trabajo) = 1,662 – 0,022 Dist$^{0.70}$ – 0,084 Winch + 2,699 Piece size + 0,040 kW + 1,136 Chokerman Dist: distancia desembosque (m), kw: Potencia tractor (kw) Piece size: Volumen extraído ciclo (m^3), Winch: distancia arrastre (m), Chokerman: variable binaria. 0: si solo está el conductor, 1: si hay un ayudante.	(Spinelli y Magagnotti 2012)
t productivo (10^{-2} min) = 462,2 Vcycle + 17,10 slope – 781,5 Vcycle (m^3): volumen extraído por ciclo, slope (%): pendiente	(Canga et al. 2014)
t ciclo (min) = 3,007 + 0,10D+0,20Ds D: distancia de desembosque (m) y Ds: producto distancia de desembosque y pendiente (%)	(Loftalian et al. 2011)

Los costes horarios de un *skidder* de 120 CV (coste de adquisición 170 000 € y vida útil de 20 000 h) oscilan entre 49 y 57 € h^{-1}, según el número de horas al año (Lliró y López 2014a). Arnó (2016), para un tractor TimberJack 360 D (coste de adquisición 142 000 € y vida útil de 12 000 h), obtiene costes unitarios entre 49 y 64 € h^{-1}, según el número de horas de trabajo al año (figura 8.31).

Para TRAGSA, los costes oscilan entre 9,25 y 13,41 € m^3 c.c. para pendientes comprendidas entre el 30 y 50% y distancias de desembosque hasta 400 m con un *skidder* de 100 a 130 CV (TRAGSA 2019). Para la Junta de Extremadura el coste varía entre 4,63 y 6,58 € estéreo^{-1} para pendientes inferiores al 50% y distancias de desembosque hasta 400 m con un *skidder* de 100 a 130 CV.

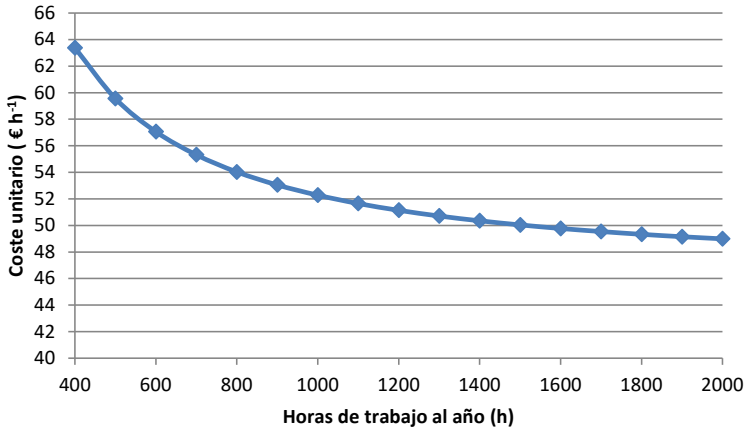


Figura 8.31. Coste horario de un skidder según el número de horas de trabajo al año (Arnó 2016).

3.3.3. Desembosque con autocargador

Esta operación consiste en el desembosque de la madera mediante la utilización de un tractor forestal autocargador que mediante una grapa situada en una pluma coloca la madera sobre una caja que porta. Mediante este procedimiento la madera se desembosca de forma suspendida. Las limitaciones de este procedimiento de desembosque son la pendiente y la escabrosidad del terreno (tabla 8.14).

Tabla 8.14. Limitaciones del desembosque con autocargador.

Factor	Limitaciones	Factor	Limitaciones
Pendiente (%)	Ver capítulo 5	**Peso (kg)**	8 a 12 t ciclo^{-1}
Vegetación	Sin limitaciones	Distancia de desembosque (m)	150 a 300, puede llegar a 1 500
Densidad masa	En masas densas precisará de una mayor densidad de calles	Pistas desembosque	Anchura: 4 m Separación: 15 a 30 m
Pedregosidad	Limitante si es excesiva, al igual que la rocosidad	Disponibilidad	Dependiendo de las zonas

El autocargador es una máquina autopropulsada articulada compuesta de dos semichasis. En el delantero se ubican el motor, la cabina y en el trasero la grúa y la caja donde se coloca la madera. La posición de la grúa puede variar en algunos modelos, ubicándose en el semichasis delantero. Los modelos comerciales más comunes son *John Deere (EEUU)*, *Caterpillar (EEUU)*, *Timberpro (EEUU)*, *Komatsu (Japón)*, *Johnsered (Suecia)*, *Logset (Finlandia)*, *Ponsee (Finlandia)*, *Dingo (España)*, etc. (tabla 8.15).

Tabla 8.15. Modelos de autocargadores John Deere y Logset. *:6 ruedas.

Características	John Deere			Logset		
	1010E	1210	1910	4FGT	5PFGT	12FGT
Potencia (kw)	115,5	156	200	127	170	220
Fuerza tracción (kN)	150	175	230	135	169	250
Ángulo giro (°)	44	44	42			
Longitud (mm)	9 390	9 770	10 570	9 373	9 761	11 170
Altura sobre suelo (mm)	620	660	800			
Anchura (mm)	2 720	2 746	3 090	2 480	2 640	3 090
Longitud remolque carga (m)	4,8/5,2	4,5/5,5	4,7	4,3	4,54	5,5 /6,2
Peso (kg)	14 700	16 200*	19 500*	13 500	16 500	24 000
Capacidad carga (t)	11	13	19	10	12	20
Distancia óptima desembosque (m)	500		500			

Los elementos característicos del autocargador son (Vignote et al. 1993): 1) Chasis, 2) Grúa, 3) Caja (figura 8.32).

Figura 8.32. Autocargador JD 1210E. 1: Articulación del chasis, 2: Cabina giratoria y autonivelable, 3: Grúa ubicada en el semichasis trasero, 4: Caja (Foto: J. Pemán).

1. Chasis. Es articulado. En el delantero está la cabina que, además de cumplir con todas las medidas de seguridad, suele ser panorámica y giratoria, lo que le permite al operario una gran comodidad en el manejo de la grúa. En los modelos de *John Deere* esta capacidad de giro es de 290˚. La cabina tiene, también, la capacidad de autonivelarse con un grado de inclinación hasta de 10˚. En el semichasis delantero lleva también el motor y en su frontal puede llevar o no, una hoja *dozer*. Gracias a la articulación del chasis, las trayectorias que describen las ruedas traseras son las mismas que las delanteras. El radio de giro mínimo, según los modelos, puede oscilar entre 6 y 9 m. La potencia de los motores puede oscilar entre menos de 80 CV y más de 200 CV, característica que se suele utilizar para realizar una clasificación sencilla de estas máquinas (tabla 8.16) (Rodriguez et al. 2005). El tren de rodadura suele componerse de 2, 3 ó 4 ejes de ruedas neumáticas, provistas todas de ellas de tracción (6x6, 8x8). Dispone de bloqueo de diferencial para los ejes delanteros y traseros. En los semichasis que lleven dos ejes de ruedas, estos están montados formando un *bogie*. Esta característica les permite superar pequeños obstáculos sin un desequilibrio de la carga. Para aumentar la adherencia, a las ruedas se les pueden poner unas cadenas o unos *tracks* o *semiorugas*.

Tabla 8.16. Tipos de autocargadores (Rodriguez et al. 2005).

Tipo	Potencia del motor CV)	Longitud de la caja (m)	Capacidad de carga (t)
Ligeros	< 80	< 3,5	< 8
Medianos	80 a 180	3,5 a 6	8 a 12
Pesados	180 a 250	4 a 7	> 12

2. Grúa. Constituida por un bastidor vertical giratorio con un brazo articulado y telescópico, terminado en una garra o grapa que está unida al mismo mediante un *rotator* (figura 8.33). Puede estar ubicada en el semichasis delantero o en el trasero, protegida mediante la rejilla delantera de la caja. La ubicación en uno u otro punto influye notablemente en la distribución de pesos en el tractor. La ubicación en el primer semichasis mejora la distribución de pesos en la situación en carga mientras que su ubicación en el segundo lo mejora en la situación de vacío. El menor peligro que entraña para el maquinista su ubicación en el semichasis trasero hace que sea la más normal en los autocargadores utilizados en nuestro país. La capacidad de alcance de los brazos de la grúa puede llegar hasta los 12 m, según modelos. No obstante, hay que tener en cuenta que, según la distancia de carga, disminuye la capacidad de carga de la grúa y la velocidad del ciclo de carga y descarga.

Figura 8.33. Grúa de autocargador JD1910E. 1:Brazo rígido o pluma, 2: Brazo telescópico, 3: *Rotator* y 4: Garra o grapa (izquierda) y detalle del *rotator* (derecha) (Fotos: J. Pemán).

La capacidad de carga en cada ciclo dependerá de la sección de la grapa. Según las características de la madera a cargar, diámetro y longitud, se recomienda una grapa de mayor o menor sección (figura 8.34 y tabla 8.17).

Figura 8.34. Dimensión máxima de apertura de la grapa (izquierda) y una vez cerrada (derecha) (Fotos: J. Pemán).

Tabla 8.17. Características técnicas de los modelos de grapas de la marca KESLA.

Modelo	Peso (kg)	Sección carga (m2)	Presión trabajo (Mpa)	Fuerza agarre (kN)	Capacidad carga (kg)
28	170	0,27	25	13	3000
30	200	0,3	25	16	3500
35	215	0,35	26	16	4000
40	260	0,4	26	18	5000
40E	325	0,25	26	21	5000
46	270	0,46	26	21	5000
50L	225	0,5	26	17	3500
50	280	0,5	26	21	5000

3. Caja. Su capacidad determinará el volumen útil transportable y, por tanto, la capacidad de carga del autocargador (figura 8.35). La caja tiene una constitución estructural formada por dos perfiles de acero colocados longitudinalmente a lo largo de la misma. Cada uno de ellos está separado, respecto del eje longitudinal del tractor, la cuarta parte del ancho del tractor. La caja va provista de unos vástagos metálicos denominados teleros o traveseros, en forma de L, que permiten la sujeción lateral de la carga, esencial cuando se va realizar la carga longitudinal, o en largo, que es la natural en estas cajas. Los teleros pueden ser de una pieza o permiten desmontar el bastidor vertical en el caso de realizar la carga transversal. La parte delantera de la caja deberá ir provista de una rejilla protectora de la cabina y de la grúa, para evitar golpes por el movimiento de la carga en el proceso de desembosque.

En estas cajas, si se pretende realizar una carga transversal, se deberán poner diferentes dispositivos que permitan la misma. Estos dispositivos básicamente son dos: i) Cadenas o perfiles metálicos que permitan la carga transversal y ii) Teleros dispuestos transversalmente al final de la caja para impedir su desplazamiento (figura 8.36). En este caso, los teleros dispuestos a lo largo de la longitud de la misma pueden desmontarse.

Figura 8.35. Caja de autocargador JD. 1: travesaño longitudinal, 2: Teleros o bastidores dispuestos longitudinalmente, 3: Rejilla o parrilla metálica protectora de la cabina (Foto: J. Pemán).

Figura 8.36. Cadenas dispuestas en la caja para carga transversal (izquierda) y perfiles metálicos dispuestos transversal y longitudinalmente para facilitar la carga transversal (derecha) (Fotos: J. Pemán).

Existen otros modelos de autocargadores que tienen modelos de caja específicamente diseñados para la carga transversal (figura 8.37).

Figura 8.37. Autocargador Logset 5FGT con caja adaptada para carga transversal (Fotos: J. Pemán).

El autocargador se puede utilizar para todos los métodos de aprovechamiento. Realiza la carga transversal de la madera corta, trozas de 2,5 m, y longitudinal de la madera larga, trozas de 4,5 a 6,5 m. En aprovechamientos para biomasa puede hacer la carga del árbol entero (figura 8.38). Para este procedimiento de desembosque se han descrito diferentes sistemas de aprovechamiento (ver capítulo 11).

Figura 8.38. Autocargador cargando árbol completo (izquierda), fuste entero (centro) y madera corta de forma transversal (derecha) (Fotos: J. Pemán).

El ciclo de trabajo de esta operación consiste en las siguientes fases: i) Desplazamiento en vacío desde cargadero a la calle de desembosque, ii) Estacionamiento, iii) Operación de carga, iv) Desplazamiento hasta el siguiente estacionamiento y repetición de las fases ii y iii hasta llenar la caja, v) Desplazamiento cargado hasta el cargadero, vi) Descarga.

En un estudio de tiempo realizado, la fase de carga consume del 50 al 60% del tiempo total del ciclo, la descarga entre el 28 y 34%, el desplazamiento entre el 5 y el 8% y la parada entre el 6 y 10% (González-González de Linares et al. 2014). Las variables que más influyen en el rendimiento son la pendiente, la distancia de desembosque y si la madera está previamente apilada o no. Vignote et *al*. (2001) han determinado unas ecuaciones de rendimiento para el desembosque con autocargador, en unas claras realizadas sobre repoblaciones con *Pinus sylvestris*, distinguiendo en el rendimiento si el autocargador era pesado, ligero o mediano (tabla 8.18 y figura 8.39).

Desembosque de árbol completo con autocargador JD1910

Desembosque de madera corta con autocargador JD1910

Tabla 8.18. Modelos de rendimiento para el desembosque con autocargador pesado y ligero (Vignote et al. 2001).

Tipo de autocargador	Modelo	Variables
Pesado	$R\ (m^3\ h^{-1}) = \frac{1}{0{,}04067 + 1{,}533 * 10^{-5}(p+11{,}5) + 2{,}0376 * 10^{-3}\ Distdesem^{0{,}424}}$	p(%): pendiente, D(m): distancia desembosque. Cp: 0,89.
Ligero	$R\ (m^3\ h^{-1}) = \frac{1}{0{,}04461 + 1{,}796 * 10^{-5} p * (p+11{,}5) + 2{,}3866 * 10^{-3}\ Distdesem^{0{,}424}}$	p(%): pendiente, D(m): distancia desembosque. Cp: 0,8

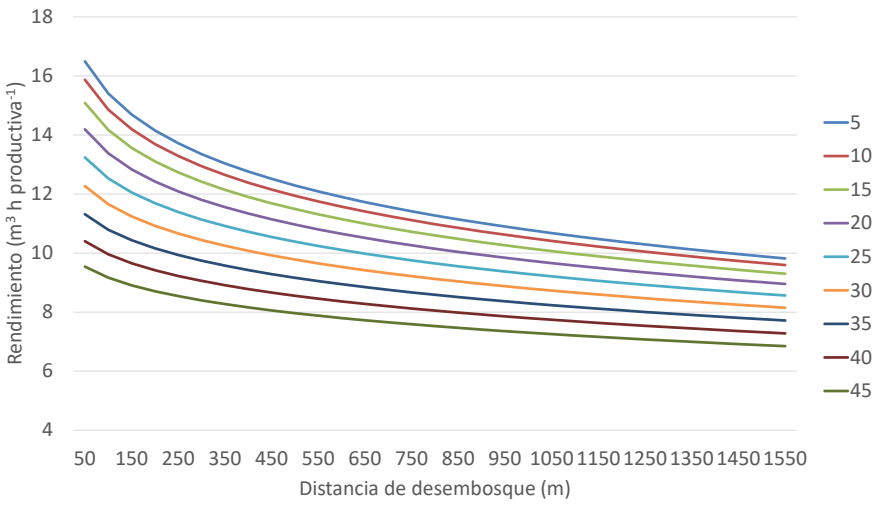


Figura 8.39. Variación del rendimiento según la pendiente y la distancia de desembosque para autocargadores ligeros o medios a partir de la ecuación de Vignote et *al*. (2001).

Lliró y López (2014b) estimaron que el autocargador puede extraer 12,5 t h^{-1} productiva, lo que equivale a una rendimiento diario de más de 90 t $día^{-1}$. El coste horario de un autocargador de 130 CV oscila entre 60 y 70 € h^{-1}. Para las ecuaciones de rendimientos elaboradas por Vignote et *al*. (2001), los costes variarían según la pendiente y la distancia de desembosque entre 7 y 9 € t^{-1}. Los costes horarios de un autocargador de 120 CV (coste de adquisición 256 000 € y vida útil de 25 000 h) oscilan entre 59 y 78 € h^{-1}, según el número de horas al año (Lliró y López 2014b) (figura 8.40).

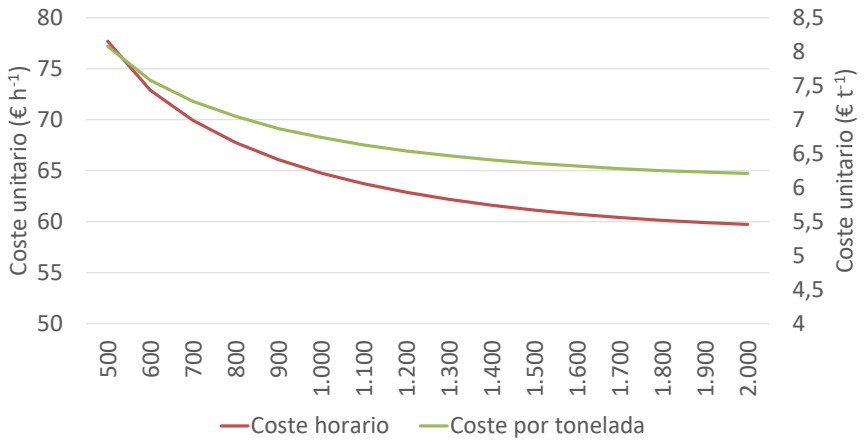


Figura 8.40. Evolución del coste horario (€ h^{-1}) y del coste por tonelada de un autocargador en función de su utilización anual (h $año^{-1}$). Se supone un rendimiento de 12,5 t h $productiva^{-1}$ (Lliró y López 2014b).

3.3.4. Desembosque con pequeñas máquinas

La mula mecánica es una máquina pequeña de origen sueco que se desplaza mediante orugas de goma muy anchas (transmite una presión muy baja a los suelos) y alcanza unos 3,5 km h^{-1}, es decir, la velocidad de un hombre o un caballo/mula moviéndose a través de la masa forestal. La empresa Lennartsfors ofrece varios modelos que tienen una capacidad de carga de 1 t (figura 8.41).

Los pequeños vehículos 4x4 (ciclomotores todoterreno) deben poseer idealmente una cilindrada de más de 350 centímetros cúbicos y estar dotados de remolque o arco de carga y cabrestante. El remolque suele tener una capacidad de carga de 0,5-1 t y debe presentar un eje tipo boggie con neumáticos de baja presión para reducir el impacto en el suelo y tener más capacidad de tracción. Además, de estos vehículos 4x4, existen actualmente en el mercado miniautocargadores con capacidades de carga de 1,5-2,5 toneladas y longitudes máximas de unos 5 m que también se englobarían dentro de lo que se denominan “pequeñas máquinas”.

La utilización de estas pequeñas máquinas es óptima en zonas con poca pendiente y en pequeñas explotaciones forestales en las que se ejecuten claras empleando el método de madera corta, aunque también se podrían aplicar sobre madera larga o fuste entero, siempre que el tamaño de los árboles no sea grande (volumen medio de los árboles menor de 1 m^3). El impacto

en el suelo es muy reducido por lo que se trata de equipos muy adecuados para utilizar en zonas ambientalmente sensibles, con suelos muy limosos o con hidromorfía.

Figura 8.41. Mula mecánica de la casa comercial Lennartsfors (izquierda) y autocargador 8x8 Alstor (derecha).

3.3.5. Desembosque con camión rígido todoterreno

Consiste en el desembosque con un camión rígido todoterreno con grúa de la madera reunida a pie de pista hasta el cargadero situado a pie de carretera. Precisa, por tanto, de un desembosque previo hasta la pista. Este desembosque se puede realizar con tractor agrícola, *skidder* o autocargador. Es la combinación más adecuada cuando la distancia del desembosque por pista es elevada, es decir, mayor de 2 km. Las limitaciones de este procedimiento, teniendo en cuenta que el camión se desplaza por la pista, son las propias del trazado de la misma para las dimensiones del camión. El equipo consiste en un camión rígido, normalmente todoterreno con configuraciones 4x4 ó 6x4, provisto de una grúa para la realización de las operaciones de carga en pista y descarga en cargadero. La capacidad de carga del camión viene impuesta por el reglamento general de vehículos a las que habrá que añadir las impuestas por las pistas forestales (tabla 8.19).

Tabla 8.19. Limitaciones de pesos y longitudes según el Reglamento General de Vehículos (RD. 282/98).

Vehículo	Número de ejes	Peso máximo autorizado (t)	Longitud (m)
Rígido	2	18	12
	3	25 a 26	12
	4	31 a 32	12

El camión lleva como elemento característico la grúa con la que realiza las operaciones de carga y descarga. Aunque algunas de las características generales de las grúas ya han sido descritas al hablar del autocargador. Las características técnicas de la grúa a instalar en el camión pueden ser muy diferentes según los modelos (tabla 8.20).

Tabla 8.20. Características de algunos modelos de grúa de la marca KESLA.

Modelo	Capacidad carga (kNm)	Alcance (mm)	Longitud brazo telescópico (mm)	Capacidad de giro (°)	Presión de trabajo (Mpa)	Potencia requerida (kw)	Peso (kg)
1395H	109	9 500	2 200	260	23	38-46	1 900
13105H	91	10 500	2 200	260	23	38-46	2 980
1608H	128	7 885		260	23	75	2 200
1609H	138	9 043	1 200	260	26	75	2 200
1610H	118	1 020	1 200	260	23	75	2 200
1611H	98	1 110	1 200	260	23	75	2 300

El proceso de desembosque con este sistema es muy sencillo. A pie de pista, el camión irá cargando la madera que corresponda a un mismo tipo de producto hasta completar la capacidad de carga de su caja. Una vez completada se desplazará al cargadero donde podrá descargarla sobre el suelo o directamente sobre el vehículo de transporte (figura 8.42).

Figura 8.42. Desembosque con camión rígido todoterreno para trasladar la madera de pista a cargadero (izquierda) y descarga del camión rígido en el vehículo articulado estacionado en el cargadero, a pie de carretera, para realizar el transporte a la industria (derecha) (Fotos: J. Pemán).

3.3.5.1 Uso de la carroceta en la saca de madera en el norte de España

3.3.5.1.1. Breve historia de su aparición y evolución

A mediados del siglo pasado, el sector forestal de la zona norte de España inició una continua modernización gracias a pequeños talleres locales repartidos en varios puntos de la geografía gallega, que comenzaron con la transformación de diferentes vehículos en pequeños camiones para el desembosque de madera. Una de las zonas con más actividad en este sentido fue la localidad de lucense de A Pontenova. En ella, una serie de empresarios locales adaptaron al uso forestal un conjunto de vehículos adquiridos en las subastas del ejército. Los vehículos en cuestión eran pequeños camiones O.M. 35 (figura 8.43, derecha), diseñados por FIAT para su utilización por parte del ejercito italiano en la invasión de Abisinia (actual Etiopía) y que llego a España como ayuda al bando sublevado durante la Guerra Civil.

Figura 8.43. Camión todoterreno 4x4 (carroceta) (izquierda) y O.M. modificado (derecha) (Fotos: M. Fernández Rodil y M. Foteiro, A Fonsagrada Grupo Amigos Das Carrocetas Facebook).

Estos mismos empresarios fundarían posteriormente en 1963 la compañía MAFSA (Miranda, Alonso y Fernández S.A.) que estandarizaría la fabricación de estos pequeños camiones, cumpliendo las normativas impuestas por el Ministerio de Industria y dotando al mercado español, durante la década de los sesenta, de un vehículo homologado de peso máximo autorizado de entre 5 a 11 t (en función del modelo y año), una anchura máxima de los ejes de 1,65 a 1,77 m, tracción integral con reductora y cabrestante mecánico sincronizado con la caja de cambios. A estos pequeños camiones rígidos todoterreno (4x4) se les empezó a denominar vulgarmente como "carrocetas", término que se sigue usando en la actualidad.

Inicialmente la carga de las carrocetas se realizaba por medios manuales, de manera que un operario se situaba en la caja, encima de la carga con un hacha, mientras que otro u otros dos operarios le impulsaban la madera desde el suelo (figura 8.44). En el caso de que las piezas tuviesen una dimensión considerable (figura 8.43, izquierda), la carga se realizaba con el cabrestante del camión. Estos vehículos tenían la posibilidad de cargarse tanto longitudinal como transversalmente, en función del tipo de madera a desemboscar y del estado de las vías de saca. Si la carga era longitudinal, se servían exclusivamente del basculante para realizar la descarga. Sin embargo, cuando la carga era transversal, se preparaban dos teleros con piezas de madera, se realizaba la carga del vehículo y, una vez llegado al cargadero, el maquinista realizaba unos cortes en los mismos con la motosierra, de forma que al accionar el basculante la carga forzaba la rotura de los teleros y quedaba apilada en el parque.

Durante aquellos años, y a la vista de la dureza de estos trabajos, otros talleres especializados comenzaron a preparar equipos para mejorar la carga de los vehículos. Inicialmente, se empezó a utilizar una sencilla grúa fija que se servía del propio cabrestante de la carroceta para cargar el vehículo (figura 8.45, izquierda). Posteriormente aparecieron grúas de un solo brazo extensible y cabrestante propio (figura 8.45), para finalmente, equipar a estos vehículos con grúas articuladas muy similares a las que actualmente monta la maquinaria forestal, las cuales suelen incorporar adicionalmente un cabrestante auxiliar de accionamiento hidráulico (ver figura 8.47).

Figura 8.44. Carga manual de madera corta de eucalipto (2 m) en el concejo de Villaviciosa (Asturias) (Fotos: Manuel Graciano Martín Campa, M. Figaredo y M. Martínez Rodríguez).

Figura 8.45. Detalle de una grúa sin botellas hidráulicas (izquierda) y carroceta cargando con pluma rígida (derecha) (Fotos: Hilo Carrocetas IPV Forocoches.com).

La antigua MAFSA estableció una serie de talleres colaboradores en la zona norte de España durante los años setenta, pasando en años posteriores a denominarse IPV (Investigación y Proyectos de Vehículos Especiales). Otras empresas fueron completando la oferta de maquinaria forestal: talleres especializados en grúas y en la adaptación de tractores agrícolas como Paz Palmeiro y Guerra; UROVESA, fundada por antiguos empleados de la IPV y dedicada a la fabricación de vehículos todoterreno especiales (camiones, vehículos militares, etc.); Forestal Cardelle (Bergondo, A Coruña, Galicia) fabricante del primer autocargador gallego "FORCAR" o DINGOMASA (Jarrio, Asturias), fabricante del autocargador "DINGO", pensado para los aprovechamientos madereros de montes asturianos. La firma IPV desaparece en 2006 como fabricante de este tipo de vehículos, aunque actualmente en sus instalaciones se sigue con la producción de camiones 4x2 bajo la marca Buxo Trucks S.L. (http://www.buxotrucks.com).

Las carrocetas han tenido un gran impacto en la memoria colectiva y en la sociedad rural de zonas montañosas del norte de España. Para muchas gentes de estas zonas, la aparición de este singular vehículo supuso una mejora significativa de su calidad de vida; puesto que marcaron el inicio en la zona de la mecanización, tanto agrícola como forestal (figura 8.46).

Figura 8.46. Mallando cereal con una carroceta de fabricación artesanal (izquierda) y guardando hierba durante la época de siega (Fotos: P.M. López Pernas (izquierda) y J. Roza (derecha), Grupo Amigos das Carrocetas).

3.3.5.1.2. Razones del uso de la carroceta en aprovechamientos madereros. Uso actual

En el norte de España existen zonas en las cuales la producción de madera no proviene de grandes masas arboladas continuas de especies productivas como eucaliptos o pinos (imagen más típica). Estas zonas están pobladas por pequeños rodales arbolados (muchas veces de frondosas) y no disponen de una infraestructura viaria adecuada para realizar la saca de la madera con tractores o autocargadores forestales. Se trata de áreas con orografía compleja, en las cuales existe una red viaria escasa y de trazado muy antiguo, con pistas muy estrechas y distancias de desembosque hasta cargadero de varios kilómetros. Estas circunstancias limitan enormemente las opciones para la elección del tipo de vehículo a usar en la saca de la madera, quedando restringido únicamente al uso de la carroceta (siempre y cuando no se pretenda mejorar las pistas existentes).

Por tanto, el uso de carrocetas como medio de saca de madera en la Cornisa Cantábrica surgió como respuesta a la necesidad de disponer de un vehículo que cumpliera con tres requisitos básicos que permitiera su uso en zonas de orografía compleja y con una oferta de madera en pequeños lotes: i) tener tracción integral que le posibilitara la circulación por pistas forestales en mal estado y con mucha pendiente, ii) tener un ancho de vía pequeño (no exceder un ancho máximo de 1,80 m) y altura de despeje grande y iii) alcanzar velocidades de transporte por carretera superiores a los 40 km h^{-1}.

Actualmente, algunos maderistas de la cornisa Cantábrica siguen utilizando estas carrocetas tradicionales (completamente reformadas en muchos casos) para el desembosque de pequeños lotes de madera en las zonas más abruptas. Se trata de aprovechamientos que no tendrían viabilidad técnico-económica en caso de no disponer de estos equipos. Además, las carrocetas tienen la ventaja de alcanzar en carretera velocidades de unos 80 km h^{-1}, lo que permite su desplazamiento de un monte a otro por sus propios medios. A mayores, debido a los pequeños volúmenes manejados en este tipo de aprovechamientos y que el destinatario de estos suele

ser local, puede utilizarse también para transportar los productos directamente al destino (comprador, aserradero, etc.) (figura 8.47).

Por tanto, la utilidad de la carroceta es múltiple, ya que se puede usar para: i) cablear madera con el cabrestante mecánico y posterior carga de esta con la grúa que incorpora, ii) cablear madera con el cabrestante mecánico y carga posterior con el cabrestante mecánico y/o el hidráulico adicional de la pluma en el caso de piezas muy grandes (ver figura 8.51) y iii) transportar la madera a destino.

Figura 8.47. Detalle del uso actual de las carrocetas. A la izquierda, uso en el transporte de leñas y a la derecha uso en la saca y transporte de madera de frondosa (amarrada para su transporte por carretera) hasta aserradero (Fotos: R. González Fernández).

Sin embargo, es muy importante señalar que debido a su ancho de vía reducido y la gran altura de despeje, para sortear obstáculos, estos vehículos presentan una baja estabilidad al vuelco, tanto lateral como frontal. Por ello, su uso actual está limitado a los aprovechamientos madereros en circunstancias especiales en los que no se pueden utilizar otros medios.

Uno de los aspectos más importante de la carroceta, además de incorporar grúa de carga hidráulica, junto con cabrestante hidráulico adicional, ha sido la incorporación de un cabrestante de accionamiento mecánico. Este cabrestante, se encuentra sincronizado con la caja de cambios, de tal manera que en cada velocidad recoge el cable de forma proporcional al avance del vehículo; y, aunque inicialmente el cable se pasaba por medio de la cabina hacia adelante (abatiendo el parabrisas), cuando era necesario desatascar el vehículo, rápidamente se incorporaron una serie de poleas para evitar esta tarea tan engorrosa y peligrosa.

En el esquema de la figura 8.48. (izquierda) se puede ver en color rojo la salida del cable por la parte trasera del camión, que sirve tanto para cablear madera, como para cargar piezas de gran envergadura. En el mismo esquema, en color azul, se observa la forma de pasar el cable por las poleas para cablear por la parte frontal o desatascar el vehículo. En ambos casos la zona de acción del cable es limitada a la parte anterior y posterior como se puede observar en la figura 8.49, derecha.

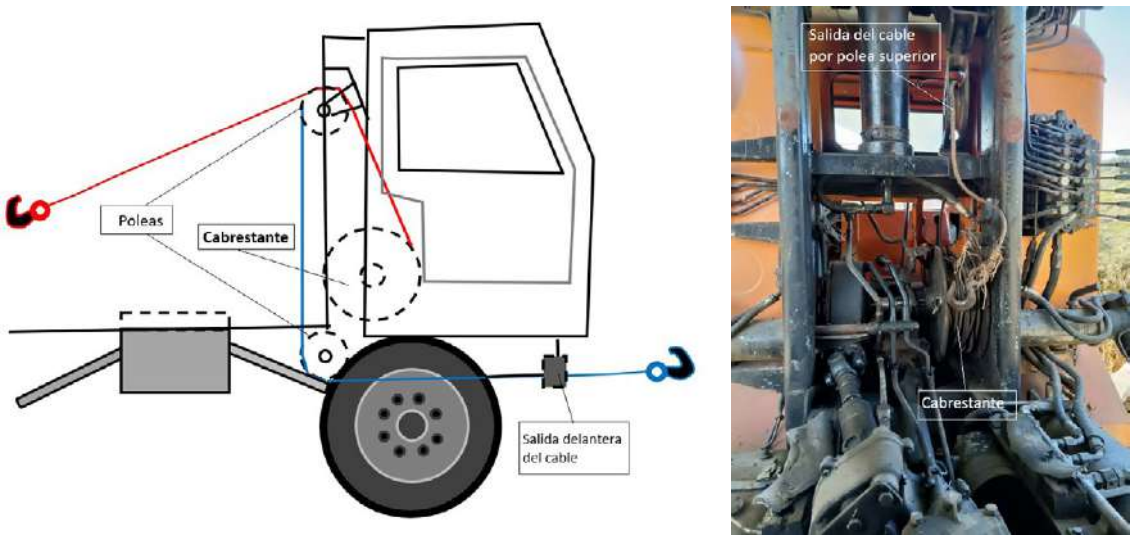


Figura 8.48. Esquema de la salida del cable (izquierda) y detalle del cabrestante (derecha) (Foto: I. Teijido).

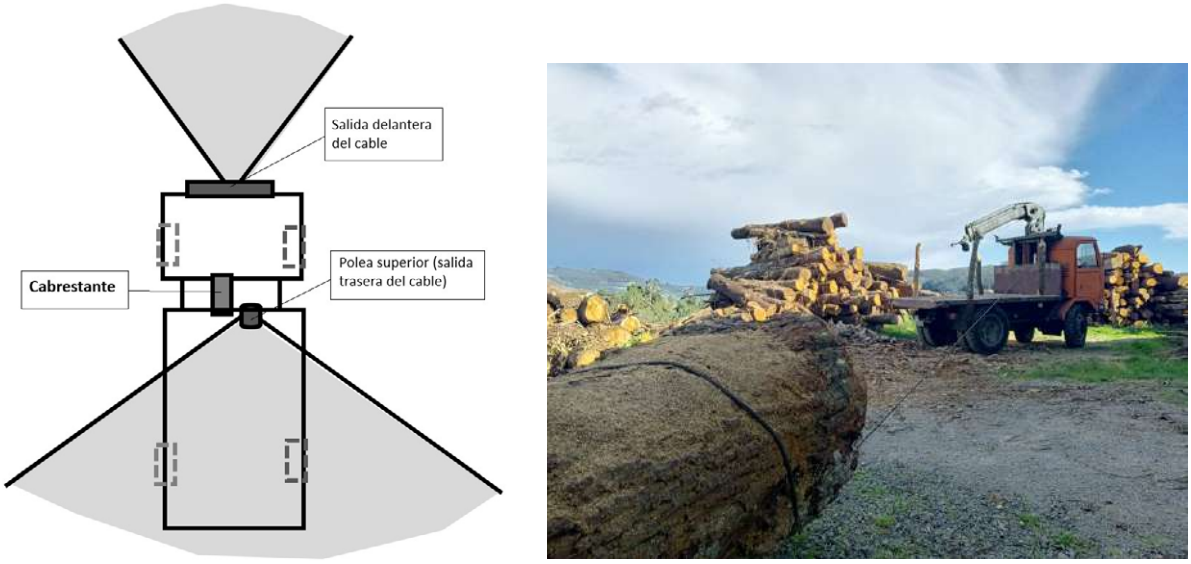


Figura 8.49. Esquema del campo de acción del cable en su salida delantera y trasera (izquierda). Carroceta arrastrando una pieza con el cabrestante de accionamiento mecánico en salida trasera (izquierda) (Foto: I. Teijido).

El cable mecánico acoplado a la caja de cambios tiene una serie de ventajas: i) está sincronizado con todas las velocidades, la longitud de cable recogida es proporcional a la longitud de avance del vehículo, ii) transmite toda la potencia del motor disponible a los engranajes del cabrestante (al ser mecánico los rendimientos son mayores), iii) funciona en ambos sentidos de marcha, tanto con el vehículo en movimiento, como estacionado.

Por el contrario, sus principales inconvenientes radican en: i) la complejidad de transmisiones y engranajes que intervienen para la transmisión del movimiento hasta el mismo, y ii) la imposibilidad de controlarlo remotamente a distancia.

En la figura siguiente se observa en detalle el cabrestante mecánico instalado en las carrocetas (figura 50, derecha) y su salida frontal (figura 8.50, izquierda arriba) mediante el paso del cable por la polea inferior (figura 8.50, izquierda abajo).

Figura 8.50. Detalles cabrestante de la carroceta: salida frontal del cabrestante (izquierda arriba), polea inferior (izquierda abajo) y conjunto cabrestante (derecha) (Fotos: I. Teijido).

Como ya se ha comentado, otra de las utilidades del cabrestante, además de cablear madera, es la de cargar piezas de gran tamaño en la caja. Ello se consigue pasando el cable por la coz de la pieza a cargar, colocando el gancho del cable por la parte inferior de la misma, manteniéndolo en esa posición con la ayuda de una palanca de madera para evitar el giro de la pieza, como se puede observar en la figura 8.51. Esta operación se facilitaba en algunas carrocetas al incorporar la parte trasera de la caja en forma de chaflán.

En las figuras 8.51. y 8.52. puede observarse una carroceta equipada con una grúa de un solo brazo, extensible y con cable en la punta, que no se ha utilizado en la operación de carga, pero que podría realizar esta función de forma similar. Este tipo de grúa se utilizaba, entre otras cosas, para cargar paquetes de troncos en la caja y colocar piezas de longitudes superiores a 5 m en el vehículo, sobresaliendo por delante de la cabina y por detrás. Su uso forestal fue reducido ya que rápidamente se incorporaron grúas con un segundo brazo y pinza, quedando estas relegadas al sector de la construcción (figura 8.53).

Figura 8.51. Operación de carga por la parte trasera de la carroceta de una troza de gran tamaño con ayuda del cabrestante mecánico (Fotos: I. Teijido).

Figura 8.52. Detalle de la grúa extensible de un solo brazo que incorpora un cable accionado por un pequeño cabrestante hidráulico auxiliar (ver polea en punta de pluma (Fotos: I. Teijido).

No obstante, el cabrestante en la grúa (actualmente de dos brazos) se sigue conservando hoy en día, tanto en carrocetas, como tractores y autocargadores (figura 8.53), ya que permite realizar una serie de trabajos como: i) ayuda en el apeo de los árboles, ii) arrastre de paquetes de madera, iii) carga posterior de los mismos y iv) auxilio en las operaciones de carga de piezas de gran tamaño.

Figura 8.53. Cabrestante instalado en el brazo de elevación de la grúa (izquierda) y rotura provocada en el brazo de la grúa por un mal uso del cabrestante (Fotos: P. Palmeiro e I. Teijido).

Carga de la carroceta con cable

La descarga de la madera transportada por las carrocetas se ha venido realizando mediante el empleo del basculante hidráulico de la caja, como ya se comentó anteriormente (figura 8.54).

Figura 8.54. Descarga de madera utilizando el basculante de la caja de la carroceta (Fotos: I. Teijido).

Actualmente, solo la empresa española UROVESA fabrica camiones todoterreno con características similares bajo la marca Uro. No obstante, estos vehículos no se encuentran tan adaptados a las condiciones desfavorables mencionadas anteriormente (pistas muy angostas y en mal estado) como las carrocetas tradicionales. Ello se debe al aumento del tamaño de las cabinas (para aumentar la comodidad) y también al incremento del ancho de vía para poder utilizarlos en otro tipo de cometidos como el trabajo en canteras, en colocación de tendidos eléctricos, etc.

Además, la eliminación del cabrestante mecánico y recolocación de un cabrestante de accionamiento hidráulico en la zona frontal del vehículo (figura 8.55, izquierda) hace que se pierdan varias de las utilidades vistas anteriormente.

Además, el precio de adquisición es elevado, similar al de un autocargador forestal nacional (DINGO o FORCAR) y su rendimiento y versatilidad menores, lo que limita mucho el uso forestal de los pequeños camiones todoterreno de fabricación actual.

Figura 8.55. Empleo de camión todoterreno 4x4 Uro de fabricación actual en el desembosque de madera de eucalipto (izquierda) y de pino (derecha) (Fotos: UROVESA).

Ejercicio

Se va a planificar la realización del desembosque de una masa de 1 350 pies ha^{-1} de Pinus halepensis sobre la que se va a realizar una primera clara en la que se pretende extraer el 30% del volumen por hectárea. La planificación realizada del aprovechamiento ha previsto la realización de pistas de desembosque cada 20 m. Las pistas tendrán una anchura media de 4 m y una longitud media de 350 m hasta llegar a la pista forestal. El volumen medio del árbol es de 0,15 m^3 c.c. Se ha determinado que del aprovechamiento solo se va a obtener un tipo de producto. Determine:

i) El número de pilas que tendrá que realizar si el medio de desembosque es un skidder que realizará el mismo de forma suspendida, no llevando más de 4 estéreos en cada uno de los ciclos. ¿Suponiendo que la masa es homogénea en toda la superficie, cuántos ciclos deberá hacer el skidder por cada unidad de corta comprendida entre dos pistas de desembosque?

ii) El número de pilas que tendrá que realizar si el medio de desembosque es un autocargador con una grúa cuya grapa puede recoger un volumen medio de 0,4 m^3 c.c ¿Cuántos ciclos tendrá que hacer el autocargador para desemboscar la madera de cada unidad de corta si su capacidad de carga es de 12,2 m^3?

Considere un coeficiente de apilamiento de 0,635.

Solución: *Skidder* 17 ciclos, autocargador 4 ciclos

4. Bibliografía

Ambrosio Y, Laína R, Martínez de Rojas I, et al. (2012) Apeo de árboles con motosierra. Paraninfo, Madrid.

Ambrosio Y, Tolosana E, Vignote S (2001) Rendimientos y costes de los aprovechamientos en claras sobre repoblaciones de pino silvestre (Pinus sylvestris). 3 Congreso Forestal Español

Arnó J (2016) Apuntes de maquinaria forestal.

Canga E, Fanjul A, Sanchez-Garcia S, et al. (2014) Replacement of steel cable with synthetic rope in mountain logging operations in castanea sativa mill. coppice stands. For Syst 23:461-469.

González-González de Linares V, Tolosana E, Ambrosio Y, et al. (2014) Manual de mecanización de los aprovechamientos forestales. Mundi-Prensa, Madrid.

Grupo Tragsa (2019) Tarifas 2019 para encomiendas al Grupo Tragsa sujetas a impuestos. http://www.tragsa.es/es/el-grupo/regimen-juridico/Paginas/tarifas.aspx.

Junta de Extremadura (2019) Tarifas precios forestales. http://extremambiente.gobex.es/index.php?option=com_content&view=article&id=3311&Itemid=278.

Lliró O, López I (2014a) La maquinaria forestal a Catalunya: els tractor arrossegadors o skidders. Catalunya For 119:25-26.

Lliró O, López I (2014b) La maquinària forestal a Catalunya: el tractor autocargador. Catalunya For 120:26-27.

Loftalian M, Moafi M, Sotoudeh Foumani B, Ali Akbari R (2008) Time study and skidding capacity of the wheeled skidder Timberjack 450C in Caspian forests. J For Sci 54:183-188.

Mancomunitat de municipis Berguedans per a la biomassa (2015) Tarifas 2015. (www.mmb-biomassa.cat).

ONF (2009) La traction animale en debusquage forestier.

Peraza C (1964) Técnica de desembosque. Desembosque con tracción animal. AITIM 9:5.

Rodriguez J, Juanati C, Piqué M, Tolosana E (2005) Tècniques de desembosc en l'aprofitament forestal. Centre Propietat Forestal, Barcelona.

Spinelli R, Magagnotti N (2012) Wood Extraction with Farm Tractor and Sulky: Estimating Productivity, Cost and Energy Consumption. Small-scale For 11:73-85.

Tolosana E, González V, Vignote S (2000) Aprovechamiento maderero. Fundación Conde del Valle de Salazar y Mundi Prensa, Madrid.

Valladares A (1975) Manual de explotación forestal. Madrid.

Vignote S, Martos J, González-Álvarez M (1993) Los tractores en la explotación forestal. Mundi-Prensa, Madrid.

Vignote S, Tolosana E, Ambrosio Y, et al. (2001) Manual para la ejecución del aprovechamiento maderero en primeras claras sobre repoblaciones de coníferas. AITIM, Madrid.

Capítulo 9
La saca de la madera (II). El cable grúa

Jesús Pemán García, Nil Bacardit Tudela, Gianni Picchi

1. Antecedentes

El uso de la técnica de desembosque que hoy conocemos por cable aéreo o cable grúa ha sido usada en España desde hace un centenar de años. Las primeras reseñas que se conocen son de la segunda década del siglo XX. La primera en los Ancares lucenses, en el municipio de Cervantes, hace referencia a la existencia de un teleférico de 8 km de longitud, el más largo de Europa en la época. Fue construido por la Sociedad Explotación Maderera de Ancares y unía el lugar de Os Cabaniños con O Portelo mediante 10 torretas instaladas en su trayecto. Se cree que estuvo en activo 15 años y sirvió para el aprovechamiento de los robledales con destino a la fabricación de traviesas. La segunda en Asturias, en 1916, en el concejo asturiano de Ponga, que discurría entre la Casa del Río (Semeldón) y el Puente Urbiellos, a lo largo de 663 m de longitud (Mato 2018). Más conocido fue el llamado tranvía aéreo que estuvo en funcionamiento desde 1922 a 1932 en el mismo concejo asturiano. Fue introducido por la Sociedad Forestal Asturiana y se basaba en una tecnología innovadora, para la época, diseñada por el ingeniero de montes español Fernando Baró y desarrollada por la empresa alemana Pohlig. El tranvía contaba con una estación de carga en la Llambría y después de recorrer 2 470 m y superar un desnivel de 441 m, descargaba en la estación de los Prados del Semeldón. Contaba con cinco soportes intermedios, castilletes de madera, y una estación intermedia en los Espinadales, que dividía la instalación en dos partes claramente diferenciadas en cuanto a su pendiente. La instalación era un sistema tricable de movimiento continuo con enganche automático en el que las vagonetas cargadas impulsaban a las vacías. Disponía de ocho vagonetas en circulación simultánea que permitía un rendimiento de 100 m^3 $día^{-1}$. El teleférico enlazaba con un ferrocarril con locomotora a vapor que, después de 4 km, descargaba la madera en Sellañu (Mato 2018) (figura 9.1).

En 1923, con algo más de bombo y platillo se inauguró en Uña, en la Serranía de Cuenca, el denominado cable de Torner, en honor a Jorge Torner, el ingeniero de montes que lo proyectó (Olarrieta 1923). Su primer vano tenía una longitud de 900 m y formaba parte de un ambicioso proyecto de construcción de vías saca para la realización de los aprovechamientos forestales en 60 000 ha de masas de *Pinus nigra* y *P. sylvestris* (figura 9.2).

En 1942, con el comienzo de los trabajos del Servicio de Explotaciones Forestales de RENFE, se extendió el uso de los teleféricos forestales por el Pirineo Navarro, Montes de León, Cuenca,

el Protectorado de Marruecos o la Sierra de Cazorla. Solo en el Pirineo navarro, y para el periodo 1955-64, el volumen de madera desemboscada por este sistema alcanzó casi las 400 000 t y supuso la instalación de cerca de 160 km de líneas (Rubio 1968). Los modelos más utilizados eran teleféricos tricables automotrices, cuando se usaba en fuertes pendientes, con una longitud media de la línea entre 500 y 800 m (Maza de la 1964a; Maza de la 1964b; Maza de la 1965). La principal limitación de estas instalaciones era que los puntos de carga tenían que ser fijos por lo que el sistema no tenían la autonomía necesaria, debiéndose combinar con otras técnicas de desembosque. Los rendimientos obtenidos oscilaban entre 50 y 100 t día^{-1}. Como alternativa a estos modelos de teleféricos, empiezan a surgir a mediados de los años sesenta los actuales cables grúas. Este sistema, también conocido como sistema Wyssen en su origen, consistía en un cable fijo por el cual circulaba una grúa móvil, el carro. Este carro podía detenerse en cualquier punto de la línea gracias a un tope o bloqueador que podía desplazarse a lo largo del cable fijo o portador (Rodríguez Arregui 1964). Como consecuencia de la experiencia adquirida durante estos años en el uso de los teleféricos por el Servicio de Explotaciones Forestales de RENFE, y de los cursos impartidos por técnicos suizos en este ámbito, Valladares publicó en 1970 un extenso monográfico sobre teleféricos forestales (Valladares 1970). En la década de los años 80 se encuentran referencias del uso del cable aéreo por diferentes empresas forestales, aunque sin una continuidad en el tiempo (figura 9.3).

Figura 9.1. Estación de descarga en Semeldón, con la línea de ferrocarril en la parte inferior (Fuente: Mato 2018, foto coloreada artificialmente).

En 1996 la empresa pública TRAGSA, conjuntamente con el servicio forestal de la Diputación Foral de Guipúzcoa, utilizó en Leizarán una estación motriz tricable modelo V600 de Valentini y un carro de la empresa Mayr-Melnhof Saurau modelo SHERPA UIII (Ascasibar y Carrascosa 1997). Las longitudes de las instalaciones eran de 400 a 500 m y los rendimientos obtenidos fueron de 9,1 t $h_{efectiva}^{-1}$. Se justificó su uso por las elevadas pendientes, la accesibilidad restringida y la marcada fragilidad del espacio.

Hasta el día de hoy se han sucedido diferentes experiencias en Asturias, Aragón, Cataluña, País Vasco o La Rioja, aunque solo se conoce de dos empresas forestales que lo tengan en propiedad.

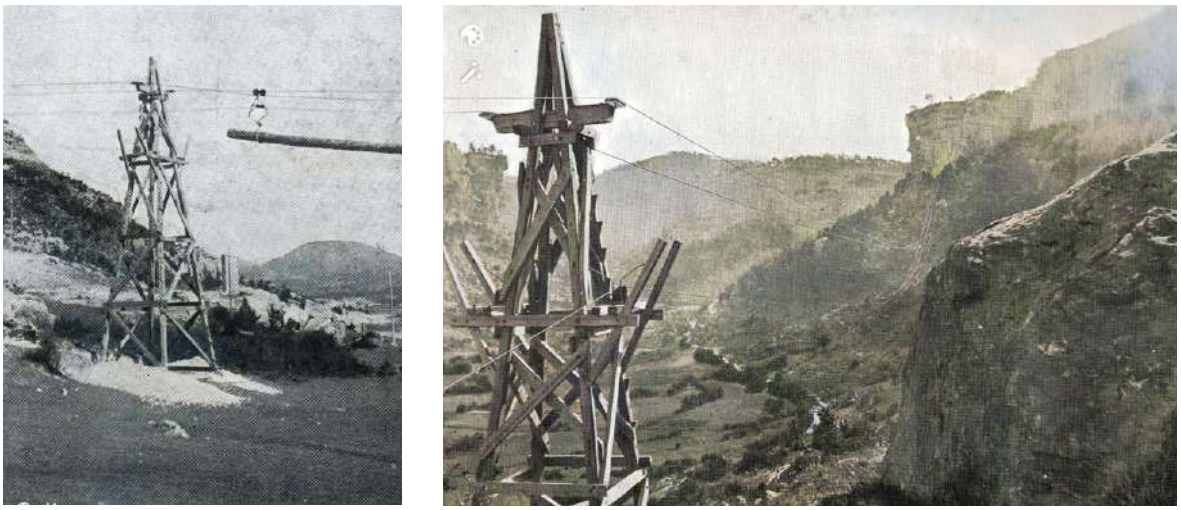


Figura 9.2. Cable forestal en Uña (Fuente: Olarrieta 1923, fotos coloreadas artificialmente).

Figura 9.3. Estación de trineo que se usó por la empresa Gil en aprovechamientos forestales realizados en Castellón, Tarragona y Teruel en la década de los años ochenta (Foto: Gil Forestal).

2. Definición

Procedimiento de desembosque que consiste en la extracción de la madera del área de corta, generalmente de forma suspendida, aunque puede ser arrastrada o de forma semisuspendida, mediante el uso de un cable grúa, es decir, mediante un cable instalando a varios metros de altura sobre la superficie del suelo por la que circula una grúa. Las fases del proceso de desembosque con cable grúa se han descrito mediante un diagrama de flujo que permite visualizar y agrupar el mismo en cinco grandes funciones (figura 9.4).

1. Funciones de transporte (dirección eje x). Consisten en: i) Movimiento del carretón vacío desde la estación de descarga o cargadero hasta el área de corta, ii) Parada, iii) Recogida del cable, iv) Movimiento de la carga al cargadero o parque, v) Parada.

2. Funciones de elevación (dirección eje z). Consisten en: i) Descenso del gancho de carga al suelo, ii) Elevado de la carga, iii) Descenso de la carga en la estación de descarga o cargadero, iv) Ascenso del gancho vacío.

3. Funciones de arrastre (dirección eje y). Consisten en: i) Movimiento lateral del cable desde la calle de desembosque hasta el pie del tocón, ii) Recogida lateral del cable, en carga, desde el pie del tocón a la calle de desembosque.

4. Funciones manipulación de la carga (dirección eje y). Consisten en: i) Sujeción de las trozas o fustes al cable, ii) Liberación de las trozas del cable, iii) Movimiento de los fustes en la estación de descarga o cargadero.

5. Funciones de transferencia de energía. Suministro de energía, recuperación y almacenamiento.

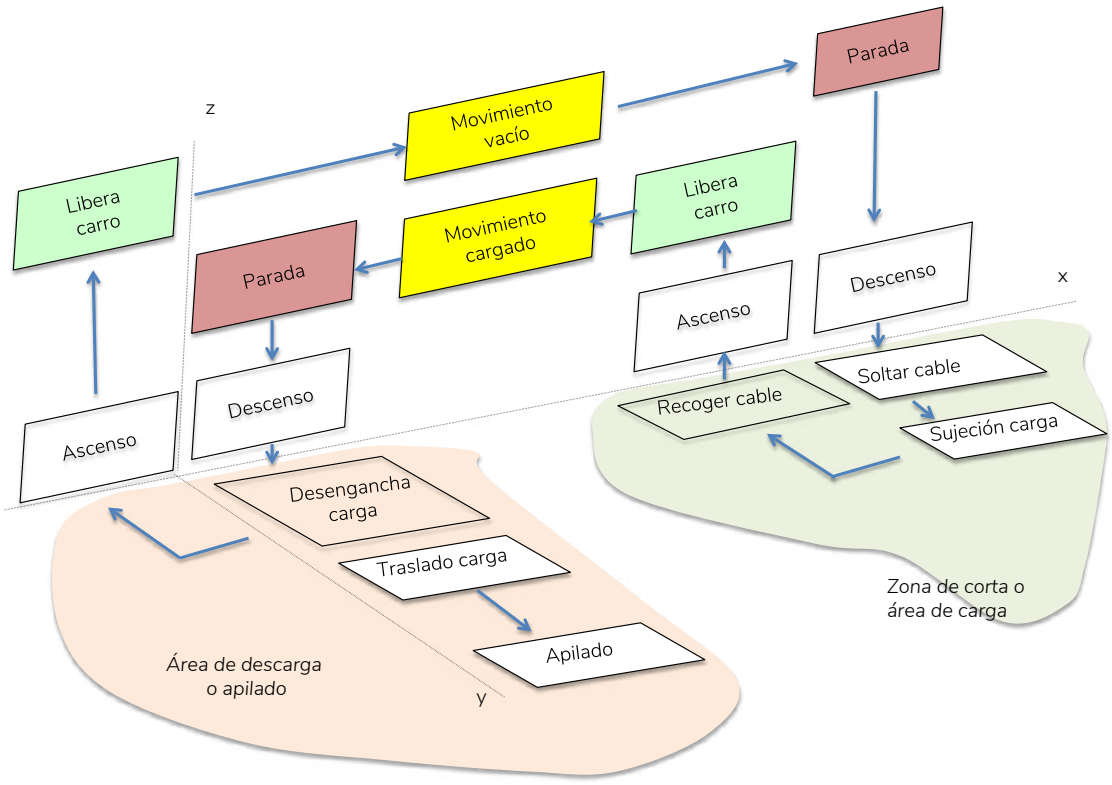


Figura 9.4. Esquema de las funciones de desembosque mediante cable grúa (Adaptado de Heinimann *et al.* 2001).

Perspectives on Central European Cable Yarding Systems

Heinimann H, Stampfer K, Loschek J, Caminada L (2001) Perspectives on Central european cable yarding systems. Int. Mt. Logging 11 th Pacific Northwest skyline Symp. Seattle

In Europe ***transportation functions*** rely on skylines as the main component of the cable structure. Loads are moved on the skylines by main lines that have in some cases to be combined with haulback lines for valley mounted yarders and downhill extraction. Originally, mechanical gears transmitted power from an engine to the winches what required shifting and breaking

operations. Kurt Vyplel, the most important pioneer of European mobile tower yarder technology, developed a new mobile tower yarder in 1972 with all winches powered hydraulically (LOSCHEK, 2001, VYPLEL, 1992). Advantages of this solution were: (1) infinitively variable gear, (2) high horsepower - low weight ratio of hydraulic components, (3) simplification of the man-machine interface design due to multifunction control. The use of fluid power was the starting point to a new generation of Austrian mobile cable yarders. Hinteregger who built his first mobile tower yarder in 1966 developed several types of URUS yarders (1976 to 1980). KOLLER started in 1975 with the K-800, a big yarder that was followed by one of the most successful machines, the K-300 in 1977. STEYR introduced the biggest European yarder, the KSK-16, in 1977, and other manufacturers followed later, such as BACO in 1982 with its MS-500 (TRZESNIOWSKI, 1997). Again, Vyplel improved the carriage movement by automation. In 1983 he introduced the MAYR-MELNHOF HY- DRO CRANE 80 (LOSCHEK, 2001). This yarder had an automatic control device for carriage movement and stop. The operator has to preset the locations of intermediate supports and to determine the exact take up position at the felling site for each load cycle. The control device moves the carriage out at maximum speed, slows it down for passing intermediate supports, accelerates it again to maximum speed, and stops it at the desired location of the felling site. The choker setter then takes over control, attaches the load, and transfers the control again to the system. The automatic control device moves the load along the skyline, slows its down for passing intermediate supports, moves it to the landing where it stops the carriage. The yarder operator lowers and releases the load before the next yarding cycle starts. Automatic control of moving and stopping the carriage has reached maturity, and is now offered by the all manufacturers of mobile tower yarders.

Hoisting and skidding functions enable taking up a load from the ground. For fixed skyline configurations, as they are common in Central Europe, the hook has to be lowered by a skidding line. There are ***several slack pulling mechanisms*** used to achieve lowering and lifting of the skidding line. European slack pulling mechanisms have its origin in an invention of Jakob WYSSEN, Switzerland, in 1939. He used the main line for both, the moving and the skidding function. A stopping catch that could be moved to any point of the skyline was used to hold the carriage in a fixed position and to release the main line with the hook from the carriage at the same time. After pulling in the load, the hook catches to the carriage and releases at the same time the carriage from the stopping catch. The use of a skyline clamp that could be triggered remotely was the next step of improvement. BÜTTIKOFER (Switzerland) invented a hydraulic - mechanic clamping mechanism in 1948 that was the beginning of the automatic BACO carriages in Switzerland. Stopping the carriage and reversing the travel direction for a short distance triggers the mechanism (***reverse movement triggered***). BACO redesigned this carriage in 1956, bringing it to the market as the BK-20 type. Approximately at the same time, in 1955, WYSSEN (Switzerland) developed a carriage that triggered the clamping mechanism by stopping the carriage and holding it for a specific time interval (***time triggered***). In 1964 KOLLER (Austria) developed the first automatic Austrian carriage, the KOLLER SKA 2.5 (TRZESNIOWSKI, 1997). In 1989, MAYR-MELNHOF launched the SHERPA carriage. It had two clamps, a main line clamp, and a skyline clamp. Both clamps could be operated simultaneously by radio control, clamping the first clamp while releasing the second clamp, and vice versa. Other manufacturers introduced radio controlled clamping mechanisms by the beginning of the 1990s.

Passive slack pulling mechanisms are only working if the yarder is mounted uphill the cable road, and if the cord slope of cable segments is bigger than about 15%. Down- hill and flat-terrain yarding require a mechanism that pulls the skidding line actively slack. This requirement came into discussion with the introduction of mobile tower yarders in Central Europe in 1963. In 1964, Vyplel of MAYR-MELNHOF used a drum that was mounted together with a sheave on a shaft in the carriage (VYPLEL, 1992). Unwinding the auxiliary line (slack pulling line) from the drum pulls slack the main line by using the sheave as the capstan. Active slack pulling mechanisms have positive effects on on the choker setter's workload, and on the efficiency of the lateral yarding process. This slack pulling principle is still widely used. There has been a recent trend to improve ***active slack pulling mechanisms***, aiming to provide power supply integrated into the carriage. MAYR-MELNHOF and KOLLER developed carriages that used combustion engines as a power source (1998). GANTNER launched a slack pulling carriage (2001) that uses an electric motor to drive the sheave while the battery is charged by a small alternator coupled to one of the skyline sheaves. STUEFER uses a hydraulic accumulator as a power source for a fluid motor. One of the skyline sheaves is coupled with a hydraulic pump that charges the accumulator while moving along the skyline. The electric driven slack puller has a big potential for future development because of its low self-weight. Energy efficiency of a yarder depends on how the so called ***interlock problems*** is solved. The interlock- problem is the need to recover energy potentially wasted at one drum (e.g., in the haulback drum during inhaul) and to make it available as a power supply to other drums (main line) (CARSON and JORGENSEN, 1974). Fluid power transmission simplified the achievement of interlock by using direct drive interlocks. A new interlock device, the TRÖSTL INTERLOCK, was patented, and implemented into the SYNCROFALKE yarder in 1994. The main characteristic of the TRÖSTL INTERLOCK mechanism is the coaxial arrangement of the following components: (1) main fluid motor, (2) main line drum, (3) interlock fluid motor, and (4) haulback line drum. The fluid motor is driving a shaft on which the main line drum is fixed. The main line drum is connected to a second fluid motor, the interlock motor. The shaft of the interlock motor is connected to the haul- back line drum. Main line and haulback line are winded in opposite directions. Turning the mainline drum and the haulback line drum into the same direction winds up to the main line while unwinding the haulback line, and vice versa. The two drums are of large diameter (1 m), resulting in similar speed of the two lines. The interlock motor has to balance only the force difference between the main line and haulback line, caused by different winding diameters. This specific coaxial arrangement results in a simple fluid power control scheme and a compact type of construction.

El estudio e investigación sobre este método de desembosque es constante en el tiempo y abarca diferentes ámbitos disciplinares, como son (Harrill 2014): i) Tipos de instalación, ii) Seguimiento en campo de las tensiones, iii) Cálculo de tensiones, iv) Seguridad y ergonomía y v) Productividad y costes.

3. Equipo

Los elementos más característicos de una instalación de cable aéreo para el desembosque son (figura 9.5): 1) Equipo motriz, 2) Carro o carretón, 3) Cables, 4) Elementos complementarios (soportes principales, soportes intermedios y anclajes) y 5) Accesorios (poleas, eslingas, pipa y tensores).

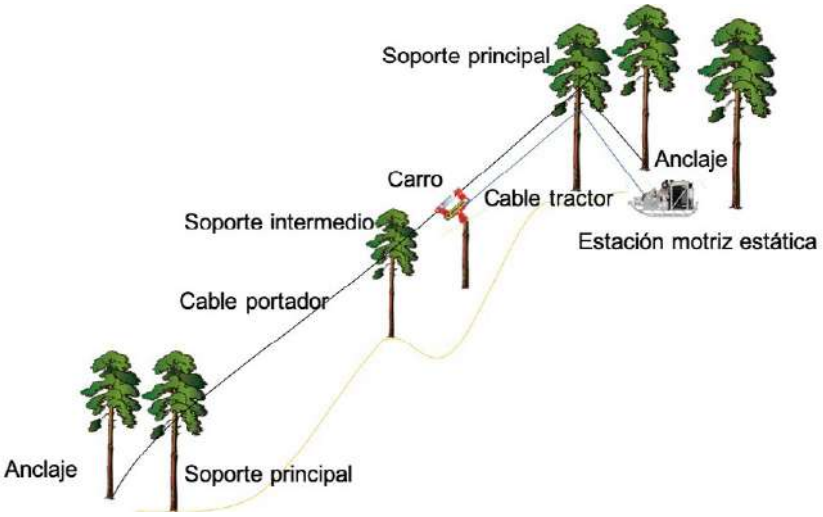


Figura 9.5. Esquema general de una instalación de cable aéreo.

3.1. Estación o equipo motriz

Máquina, dotada con freno, utilizada para generar la fuerza necesaria para la elevación y tracción de un cuerpo, constituido por uno o más tambores sobre el que se enrollan uno o más cables. Es probablemente el elemento principal de la instalación. En una clasificación muy sencilla se pueden distinguir dos tipos (Marchi 1998a; Marchi 1998b; FITEC 2005):1) Estación motriz estática, 2) Estación motriz móvil.

3.1.1. Estación motriz estática

El grupo motor y el cabrestante va montado sobre un chasis de trineo o patín que le permite su desplazamiento de forma arrastrada sobre la superficie del monte (figura 9.6). Son los cabrestantes llamados tradicionales. La ubicación de la estación se realiza en medio del monte, en la zona más alta de la línea de desembosque. Se utiliza en instalaciones de cable de larga distancia (1 a 1,5 km) y para desembosques en sentido descendente.

Figura 9.6. Estación motriz estática modelo WYSSEN W40. 1: Motor; 2: Tambor; 3: Freno de aire; 4: Bastidor de trineo; 5: Cable tractor; 6: Mando cabrestante; 7: Freno de mano tambor.

Los elementos característicos de este tipo de estación motriz son: i) Motor, ii) Transmisión, iii) Tambor y iv) Freno (tabla 9.1). Para trabajar con seguridad es preciso que el operador pueda manejar todos los mandos principales del cabrestante (acelerador, embrague, freno del tambor, etc.) y pueda controlar el correcto enrollamiento del cable tractor en el tambor. Solo dispone de un tambor en donde se enrolla el cable tractor. El cable portador es fijo y se instala de forma independiente.

Los frenos pueden ser de: i) Disco o de zapatas, en muchos modelos son automáticos como medida de seguridad en el caso de fallos en la transmisión, ii) Aire conectados al tambor, iii) Bomba centrífuga o iv) Corrientes de Foucault (campos electromagnéticos).

Tabla 9.1. Características de los modelos comerciales de estación motriz estática.

	GANTNER HSW80	GANTNER HSW100	WYSSEN W10	WYSSEN W40	GREIFENBERG VFE 1200	GREIFENBERG VFE 2000
Motor / Transmisión	Diesel/ hidrostática	Diesel / hidrostática	Gasolina / hidrostática	Diesel / hidrostática	Diesel / hidrostática	Diesel / hidrostática
Potencia (kw / HP)	73 /100	119 / 162	13 / 18	55 / 75	/ 64	/ 109
Máxima fuerza tracción (tambor lleno / vacío) (kN)	30 / 60	39,5 / 63	7,27 / 11,00	30,14 / 48 23	18/26	35/59
Máxima velocidad cable (tambor vacío / lleno) ($m\ s^{-1}$)	4,5 / 8 6	4 / 6,5	1,01 / 1,56	6,02 / 9,62	5	8
Capacidad tambor (m)	1 350 Ø 12 mm	1 300 Ø 14 mm	400 Ø 8 mm	1 250 Ø 14 mm	1 200 Ø 10 mm	1 500 Ø 14 mm
Dimensiones (cm)	250 x 160x125	295 x 166x 155	170 x 75 x 70	290 x 117 x 122	230x132x120	275x145x120
Peso (t)	1,950	2,650	0,345	1,680	0,9	2,3

Los modelos más avanzados permiten la parametrización de la línea, almacenando los puntos de carga, descarga y de ralentización en el paso de los puntos intermedios. Una clasificación de estos equipos se realiza en función de la potencia del motor (tabla 9.2).

Tabla 9.2. Clasificación de las estaciones motrices tradicionales (Marchi 2016).

Tipo	Potencia del motor (kw)	Capacidad tambor (m)	Diámetro del cable (mm)	Máxima fuerza de tracción (kN)	Velocidad máxima (m s-1)	Peso (t)
Ligera	20-30	500-1 000	8-9	20	4-5	0,8-1,0
Mediana	30-40	1 000-1 500	9-10	40	5-6	1,0-1,5
Pesada	>50	1 500-2 000	11-12	60	6-8	1,5-2,0

La estación motriz precisa ser trasladada a su ubicación final por medios terrestres o aéreos (helicóptero) o puede utilizar su propio cable para trasladarse a lo largo de la ladera. Ubicado en su destino, el equipo motriz debe estar nivelado y correctamente anclado (figura 9.6). Aunque existen modelos con control remoto, es recomendable la utilización de un operador que pueda manejar todos los elementos del cabrestante y controlar el correcto enrollamiento del cable y el accionamiento de los frenos cuando sea necesario.

3.1.2. Estación motriz móvil

El grupo motor va montado sobre un vehículo o remolque que le proporciona la fuerza motriz. Hay modelos más sencillos, que no llevan motor propio y se acoplan a la toma de fuerza de un tractor. Los elementos más significativos del mismo son (figura 9.7): i) Motor (no está presente en los modelos que se enganchan al tractor), ii) Transmisión, iii) Tambores para los cables principales (portador, tractor, de retorno y en el caso de algunos modelos el cable para la instalación), iv) Mástil o torre telescópica y v) Tambores para los vientos que sujetan el mástil una vez desplegado (tabla 9.3). El mástil se pliega sobre su base para poder circular y puede ser telescópico. Su altura, según modelos, puede variar entre 7 y 18 m. En la parte superior se encuentran las poleas para los cables principales y los vientos.

A diferencia de las estaciones tradicionales, que se pueden situar sobre la ladera natural, estas estaciones se ubican en pista. Según los modelos y el número de tambores la ubicación de la estación se podrá realizar en la parte alta (instalaciones bicables) o baja de la ladera (instalaciones tricables).

Figura 9.7. Modelos de estación motriz móvil tipo remolque. Modelo SYNCROFALKE 4t de la casa austriaca SYNCROFALKE (izquierda) (Foto: V. Dorronsoro) y modelo Siberian de la casa italiana GREIFENBERG (derecha) (Foto: J. Pemán). 1: Tambor cable portador; 2: Tambores cable tractor y retorno; 3: Tambores de los vientos; 4: Articulación mástil; 5: Mástil; 6: Vientos; 7: Cable tractor; 8: Cable portador.

Tabla 9.3. Características de modelos comerciales de estaciones motrices móviles tipo remolque.

	KOLLER K300H	GREIFENBERG SIBERIAN	VALENTINI V550	KOLLER K602GH	VALENTINI V850	GREIFENBERG T3 1100
Motor / Transmisión	Diessel – hidrostática	Diessel – hidrostática	Diessel – hidrostática	Diessel – hidrostática	Diessel – hidrostática	Diessel – hidrostática
Potencia (kw / HP)	75 / 102	42 / 57	104 / 140	147 / 197	177 / 238	186 / 250
Cable portador						
Capacidad tambor (m)	500 Ø 14 mm	540 Ø 18 mm	550 Ø 18 mm	830 Ø 20 mm	850 Ø 22 mm	1.100 Ø 22 mm
Máxima fuerza tracción (kN)	44	70	84	95	130	137
Cable tractor						
Capacidad tambor (m)	550 Ø 8 mm	540 Ø 9 mm	550 Ø 10 mm	730 Ø 12 mm	850 Ø 12 mm	1.100 Ø 11 mm
Máxima fuerza tracción (kN)	18	18	22 a 34	50	39 a 58,4	51
Máxima velocidad cable (m s^{-1})	5,6	4,5	4 / 5	10	6,3 / 8,6	5,6
Cable retorno						
Capacidad tambor (m)	980 Ø 9 mm			1350 Ø 12 mm	850 Ø 12 mm	2.200 Ø 11 mm
Máxima fuerza tracción (kN)	18			43	39 a 58,4	
Máxima velocidad cable (m s^{-1})	3 8 a 7 7			6,3 / 8,3	6,3 / 8,6	
Altura torre (m)	7,2 a 8,4	9,5	9	10,5 a 13,5	12,5 a 17	10 a 13
Número vientos	4	4	4	4	5	4
Capacidad tambor (m)	30 Ø 16 mm		60 Ø 14 mm	70 Ø 20 mm	80 Ø 18 mm	80 Ø 18 mm
Peso (t)	4,8	5	8	14,8		17

Pueden ir montadas sobre diferentes chasis y carrozados: remolques, orugas, camiones (figura 9.8).

3.2. Carro

Es el dispositivo en el que se engancha la carga y circula, gracias a unas garruchas o roldanas, a lo largo del cable portador. Es, en definitiva, la grúa de esta instalación. Traslada la carga desde el área de corta al cargadero o parque. La diversidad de modelos existentes ha propiciado la existencia de numerosas clasificaciones (Cavalli y Mezzaro 1996a; Cavalli y Mezzaro 1996b; FITEC 2005; Varch et al. 2021) (tabla 9.3). Fabiano et al. (2014) proponen la siguiente clasificación: 1) Polipasto, 2) Automáticos, 3) Motorizados.

Figura 9.8. Modelos de estaciones motrices móviles sobre chasis automotrices. Modelo Valentini V600 sobre orugas (izquierda), modelo Valentini V1000 sobre camión de 4 ejes (centro) y modelo Koller K602 sobre camión de 3 ejes con brazo procesador integrado (derecha) (Fotos: catálogos VALENTINI y KOLLER).

3.2.1. Polipasto

Es el modelo más sencillo de carro. Consiste, básicamente, en un sistema de poleas móviles, unidas con una o varias poleas fijas (figura 9.9). Se utilizan para desembosque ladera arriba. Deben usarse con pendientes superiores al 30% y, preferentemente, mayores del 50%. El desembosque se realiza por la línea de la máxima pendiente. Normalmente la carga útil es de 1 a 1,5 t. Los componentes principales de este tipo de carro son (figura 9.9): i) Roldanas del cable portador, ii) Roldana del cable tractor, iii) Polea móvil de elevación por la que discurre el cable tractor que, en su extremo final, está unido al carro, iv) Gancho de carga que está unido a la polea de elevación.

Su funcionamiento es muy sencillo. El carro desciende por gravedad, lo que justifica trabajar en fuertes pendientes, deteniéndose en el punto de carga mediante un bloqueo de línea que se acciona manualmente. En este sistema el gancho de carga no queda fijo al carro y puede subir y bajar al trasladar la carga. Su coste es menor a los 4 000 € con una vida útil de 9 000 h.

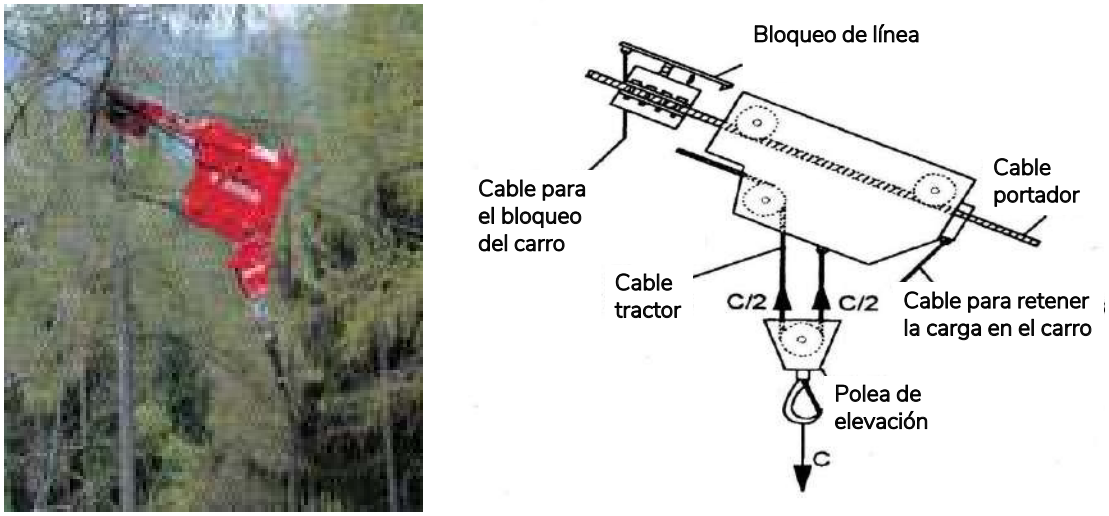


Figura 9.9. Carro polipasto de la casa comercial MAXWALD (izquierda) (Foto: MAXWALD) y esquema de un carro polipasto (derecha) (Fabiano *et al.* 2014).

3.2.2. Automáticos

El carro dispone de un sistema interno de bloqueo de línea que se puede accionar por distintos dispositivos en cualquier punto de la línea. Además, dispone de un sistema de bloqueo del gancho de carga sobre el carro que libera el bloqueo y permite el desplazamiento del carro. La capacidad de carga de estos carros varía entre 1 y 3 t. En este tipo de carros se pueden distinguir los que trabajan (Fabiano et *al*. 2014): i) Por gravedad (bicables), ii) Todo tipo de terrenos (tricables).

- Trabajan por gravedad. Se diferenciarían según cual sea el sistema de bloqueo del carro. Estos sistemas pueden ser por: i) Inversión de la marcha, ii) Tiempo y iii) Control remoto (figura 9.10).

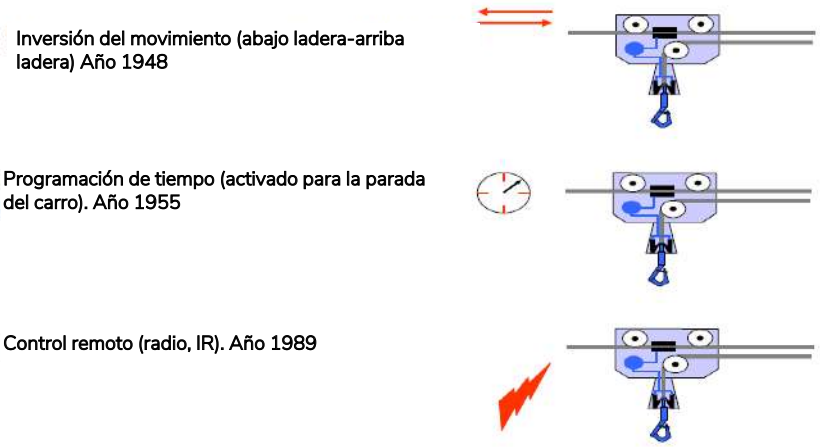


Figura 9.10. Evolución de los sistemas de accionamiento del bloqueo del carro sobre el cable portador (adaptado de Marchi 2016).

Los componentes principales de estos modelos son: i) Sistema de bloqueo del cable portador, ii) Sistema de bloqueo del cable tractor. En el funcionamiento de estos carros, una vez que se ha producido el bloqueo sobre el cable portador se libera el cable tractor para proceder a la carga y a la descarga (figura 9.11). Un modelo como el CRG15 de GREIFENBERG tiene un coste de 15 000 € con una vida útil de 10 000 h.

- Trabajan en todo tipo de terreno. Para trabajar en terrenos llanos o ligeramente inclinados, estos carros precisan de un sistema para desenrollar el cable tractor y poder bajar el gancho de carga, dado que el peso del mismo no es suficiente para hacerlo descender. Según cual sea el sistema se pueden distinguir diferentes modelos. Los hay dotados con un motor integrado, que permiten el descenso del cable tractor o de un cable de elevación de la carga independiente, que los incluiríamos en los carros motorizados, y lo hay con un cable auxiliar accionado por la estación motriz que permite el descenso de un cable de elevación (Fabiano et al. 2014).

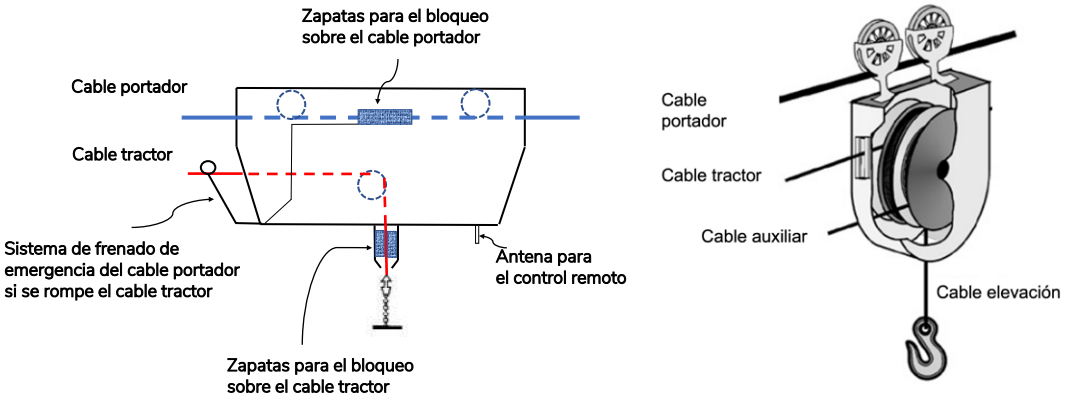


Figura 9.11. Esquema del carro automático CRG 15 de GREIFENBERG que trabaja por gravedad (izquierda) y carro con cable auxiliar para trabajar en todo tipo de terrenos (derecha).

3.2.3. Motorizado

El cable de elevación lo llevan integrado enrollado sobre un tambor que es accionado por un motor interno, controlado de forma remota (figura 9.12).

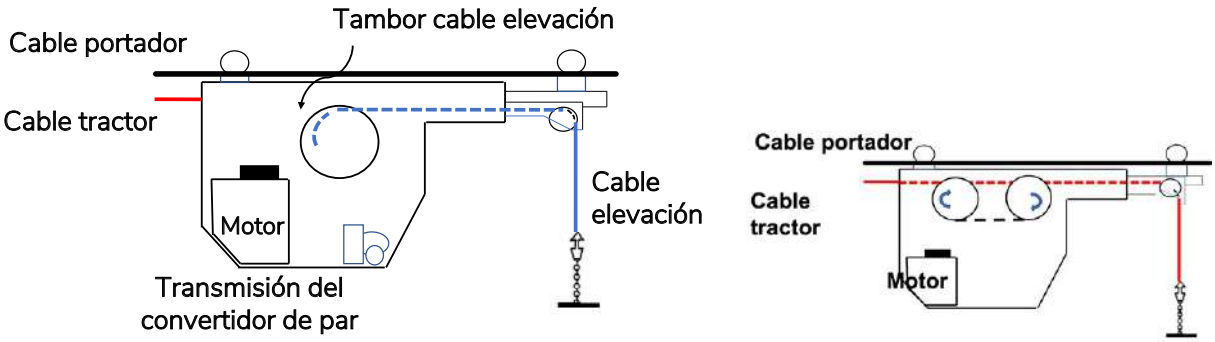


Figura 9.12. Esquema de un carro que lleva un motor interno para el movimiento del cable de elevación que es independiente del cable tractor (FITEC 2005) y carro motorizado que permite el descenso del cable tractor para trabajar en todo tipo de terrenos (derecha).

Un carro especial es el automotriz, en el que la potencia generada por su motor interno le permite su desplazamiento a lo largo del cable portador (figura 9.13). No precisan de cable tractor. Hay que tener en cuenta que estos carros generan un mayor desgaste en el cable portador y su mayor peso limitan la capacidad de carga. Su coste puede oscilar entre 50 000 y 150 000 €.

La vida útil esperable de los carros está entre 9 000 y 10 000 h.

Aunque se está pendiente de una directiva europea que normalice y regule la saca por cable aéreo, la Directiva 2006/42/CE relativa a las máquinas establece alguna de las medidas de seguridad que tienen que tener las máquinas que se dediquen a la elevación de cargas y circulen por guías o pistas de rodadura. Estas medidas son:

- Deben ir provistas de dispositivos que actúen sobre las guías o pistas de rodadura, con el fin de evitar los descarrilamientos. Si, a pesar de tales dispositivos, sigue habiendo riesgo de descarrilamiento o de fallo de los elementos de guiado o de rodadura, se deben prever dispositivos que impidan la caída de equipos, de elementos o de la carga o el vuelco de la máquina. En este sentido, los carros llevan dispositivos que en el caso de rotura del cable tractor el carro se detiene de forma automática.

- Las máquinas, los accesorios de elevación y sus elementos deben poder resistir los esfuerzos a los que estén sometidos durante el funcionamiento y, si procede, cuando no funcionen, en las condiciones de instalación y de funcionamiento previstas y en todas las configuraciones pertinentes, teniendo en cuenta, en su caso, los efectos producidos por los factores atmosféricos y por las fuerzas ejercidas por las personas. Este requisito debe cumplirse, igualmente, durante el transporte, montaje y desmontaje.

- Los diámetros de las poleas, tambores y rodillos deberán ser compatibles y adecuarse a las dimensiones de los cables o de las cadenas con los que puedan estar equipados.

- Los tambores y rodillos se deben diseñar, fabricar e instalar de forma que los cables o las cadenas con los que están equipados puedan enrollarse sin salirse del emplazamiento previsto.

- Los cables utilizados directamente para levantar o soportar la carga no deben llevar ningún empalme excepto el de sus extremos. No obstante, se tolerarán los empalmes en aquellas instalaciones destinadas, por su diseño, a modificarse regularmente en función de las necesidades de uso.

Estas medidas son del todo aplicables a cada uno de los elementos del carro.

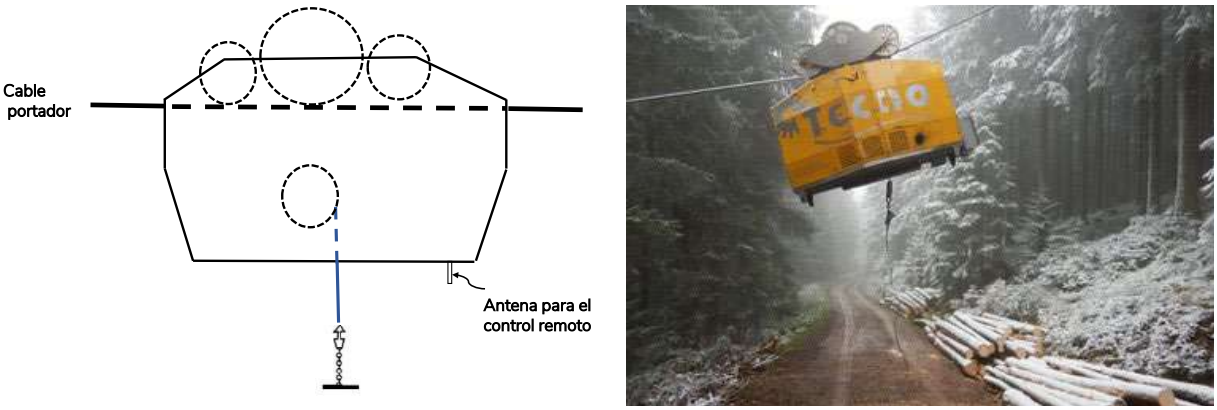


Figura 9.13. Esquema de carro automotriz que se desplaza a lo largo del cable portador (izquierda) (adaptado de FITEC 2005),carro automotriz modelo Tecno de la casa comercial GREIFENBERG (Foto: G. Picchi).

Tabla 9.4. Características técnicas de diferentes modelos de carros.

	Inclinación linea (°)	Ø cable portador (mm)	Ø cable tractor (mm)	Ø cable retorno (mm)	Capacidad de carga (kg)	Peso (kg)	Motor (CV)	Velocidad (m s^{-1})
Polipasto								
MAXWALD		14	8		1 000	40		
Automáticos								
CRG15 GREIFENBERG	>15	16/22	8/13		1 500	145		4
HT30 GREIFENBERG	> 15	20/28	9/13		3 200	290		4
SKA2,5 KOLLER		18/28	10/14			310		
HY2 WYSSEN		14/32	9/13		3 000	385		
UNIVERSAL WYSSEN		20/36	9/13	8/13	3 000	680		
Motorizados								
MSK10 KOLLER		8/25	10/16			600	10,5	
Automotrices								
Tecno GREIFENBERG	<40				1 300	1.200	51	2,5
Tecno extreme GREIFENBERG	<40				3 200	1.850	160	6

3.3. *Cables*

La mayoría de las instalaciones disponen del cable portador y del cable tractor. En otras existen, además, otros cables como son el de retorno y el de elevación (figura 9.14).

Según el número de cables, las instalaciones se denominan: i) Monocables, ii) Bicables y iii) Tricables (tabla 9.5).

Tabla 9.5. Tipos de instalaciones según el número de cables.

Tipo Instalación	Características
Monocable	Cable portador y carro automotriz. Permite un desembosque en los dos sentidos
Bicable	Cable portador y cable tractor. Generalmente, el desembosque es en sentido ascendente. En determinadas circunstancias el desembosque puede ser en los dos sentidos.
Tricable	Cable portador, tractor y de retorno. Permite un desembosque en los dos sentidos

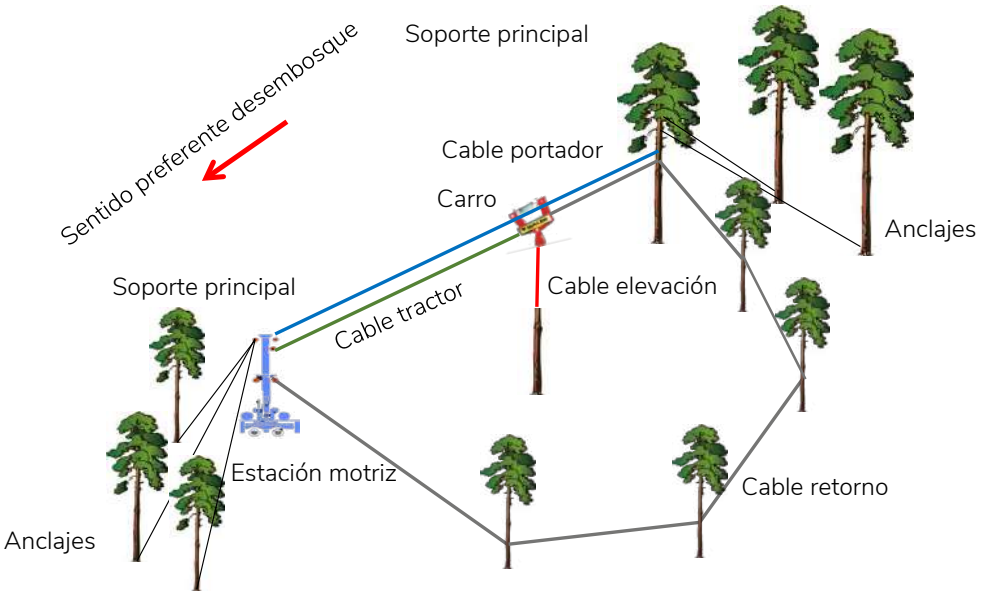


Figura 9.14. Esquema con los diferentes cables que pueden tener una instalación.

1. Cable portador, guía o vía. Define la línea o dirección del desembosque de la madera y a lo largo de él se mueve el carro que transporta la carga. El cable portador se puede clasificar según (figura 9.15): i) Estructura o grado de fijación de sus extremos, ii) Movimiento (Juanati et al. 2004). Según su estructura:

1.a. Estacionario. Sus dos extremos están fijos.

1.b. Vivo. Un extremo está conectado al tambor que permite su tensado y el otro está fijo o unido al carro, utilizando una polea, para permitir su movimiento.

Según su desplazamiento:

1.a. Fijo. Corresponde al tipo estacionario, según la estructura, o al vivo cuando el extremo móvil está conectado al tambor.

1.b. Móvil. Es el caso del cable vivo unido al carretón.

Las características técnicas que se recomiendan para este cable (tabla 9.6), están en relación a los esfuerzos que tienen que soportar (Juanati et al. 2004): i) Tracción debido al tensionado del mismo, ii) Flexión, para soportar el peso de las cargas y del carro y su paso por las poleas iii) Abrasión, por el rozamiento en su paso por las poleas hasta los anclajes, iv) Aplastamiento, en el caso de cables de gran diámetro y longitud, por la compresión que sufren cuando se enrollan en el tambor (figura 9.16).

Para evitar el aplastamiento del cable que queda en el tambor, este suele llevar una extensión donde se enrollan las vueltas del cable portador cuando está en tensión (figura 9.17).

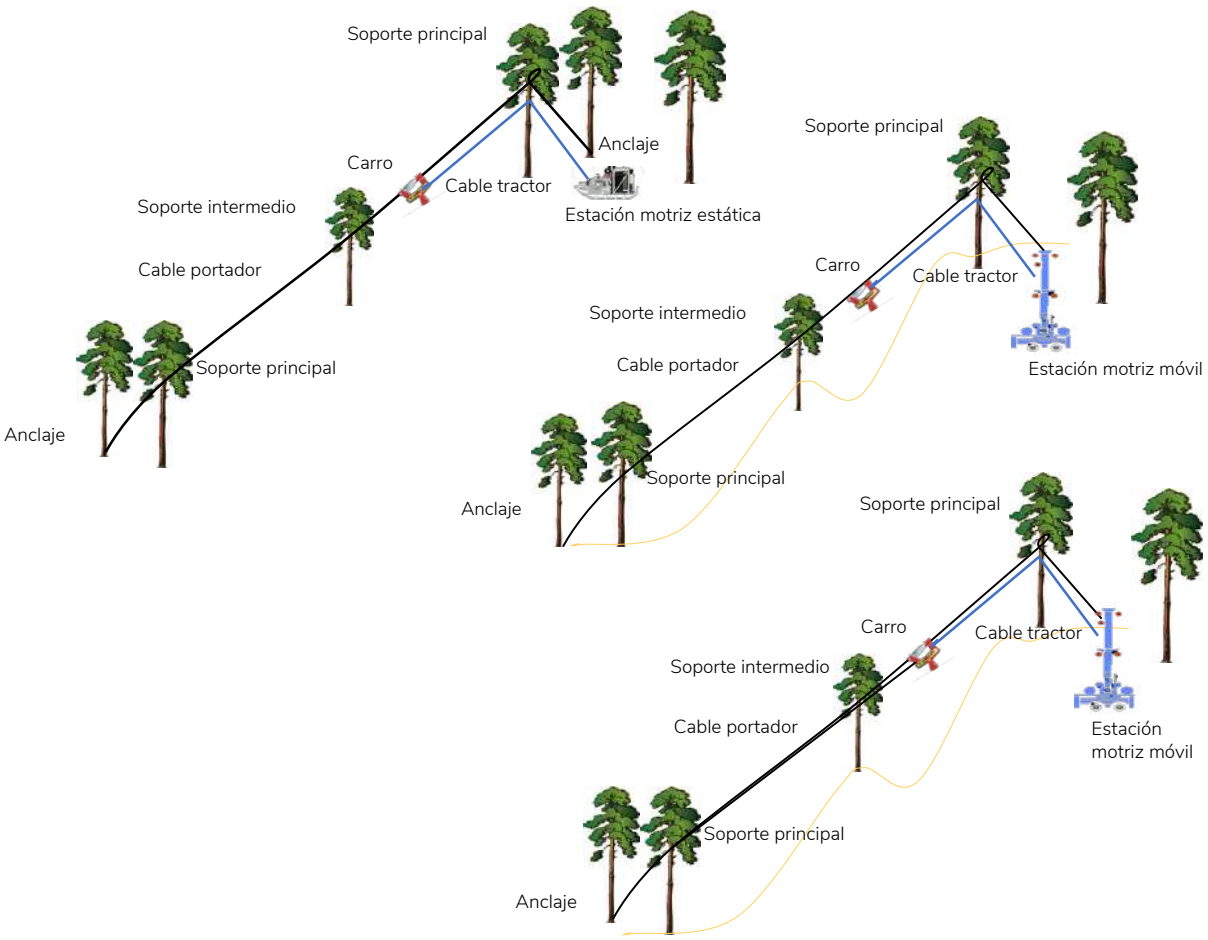


Figura 9.15. Tipos de cable portador. Cable estacionario (izquierda), cable vivo por su estructura y fijo por su desplazamiento (centro) y cable vivo por su estructura y móvil por su desplazamiento (derecha).

Figura 9.16. Principales esfuerzos que soporta el cable portador. Al pasar por la pipa soporta abrasión por el rozamiento con la misma (1) y flexión (2) (superior izquierda), en el carro soporta ambos esfuerzos también (superior derecha) y en el tambor soporta tracción (3) y aplastamiento (4). (Fotos: J. Pemán).

Figura 9.17. Extensión del tambor del cable portador donde se enrolla este último cuando está en tensión (izquierda) y palanca que sirve para conseguir que el cable portador se enrolle en la extensión de su tambor (derecha) (Fotos: J. Pemán).

Tabla 9.6. Recomendaciones técnicas para el cable portador.

	(Juanati et al. 2004)	(Fabiano et al. 2014)	
Diámetro (mm)	12 a 25	14 a 28	
Alma	Textil o metálica en equipos pesados		
Número de hilos		114	186 a 216
Enrollamiento	Lang o alterno	Lang	
Tipo	Seale, Filler	Seale, Warrington	Warrington- Seale
Resistencia unitaria de los hilos de alambre (N mm^{-2})	1 770	1 800 a 2 000 (1960)	

Su vida útil puede estar alrededor de 4 000 h.

2. Cable tractor. Es el responsable del movimiento del carro, mediante el esfuerzo de tracción que realiza sobre el mismo. Uno de sus extremos está enrollado en la estación motriz y el otro va unido mediante una polea al carro que, según los modelos, le permite la realización de: i) Desembosque, desplazando la carga desde el pie del árbol hasta el cargadero, ii) Elevación de la carga y arrastre lateral. Las características técnicas que se recomiendan para estos cables (tabla 9.7 y figura 9.18), están en relación a los esfuerzos que tienen que soportar (Juanati et al. 2004): i) Flexión, por el peso de las cargas y el paso por la polea del carro y de la torre, ii) Abrasión, cuando recoge lateralmente las cargas y iii) Tracción, en el movimiento del carro y en el arrastre lateral de la carga.

Tabla 9.7. Recomendaciones técnicas para el cable tractor.

	(Juanati et al. 2004)	(Fabiano et al. 2014)
Diámetro (mm)	> 8	7 a 12, más común 10
Alma	Textil	
Número de hilos		114
Enrollamiento	Lang	
Tipo	Seale, Warrington- Seale	
Resistencia unitaria de los hilos de alambre (N mm^{-2})	1 770	1 800 a 2 000 (1960)

Figura 9.18. Principales esfuerzos que soporta el cable tractor. Flexión en la roldana del mástil (1) (superior izquierda), flexión y tracción (2) en el carro (superior derecha), aplastamiento (3) y abrasión en el arrastre (4) (Fotos: J. Pemán).

Su vida útil está alrededor de 1 000 h.

3. Cable de retorno. Algunos modelos de carro automático permiten su movimiento de forma independiente a la pendiente. Este movimiento lo pueden realizar mediante la instalación de un cable de retorno, que gracias a otro tambor instalado en la estación motriz y mediante una instalación auxiliar del cable, se une al carro en el lado contrario al que lo hace el cable tractor, permitiendo su desplazamiento en sentido contrario. A las instalaciones que incorporan un cable de retorno se les denomina genéricamente tricables. Las características técnicas para este tipo de cable son las mismas que para el cable tractor.

4. Cable de elevación. Es el cable que permite la elevación de la carga desde el punto de enganche, al pie del árbol, hasta el carro. En algunos modelos de carro esta función la realiza el cable tractor, pero otros disponen de un tambor en el interior del carro accionado por un motor independiente que permite el almacenamiento del mismo. Son los carros llamados motorizados. Cuando el carro se para en el punto deseado para hacer la carga o descarga, el cable de elevación se libera o baja de manera automática. Su diámetro suele ser más pequeño que el cable tractor, el alma puede ser textil y el tipo de cordón suele ser Seale.

Además de estos cables, que permiten el movimiento del carro y la carga, están los cables de los vientos que permiten el anclaje de los soportes principales e intermedios.

3.4. Elementos complementarios

Merecen destacarse: i) Soportes principales, ii) Soportes intermedios y iii) Anclajes.

3.4.1. Soportes principales

Proporcionan la altura necesaria al cable portador respecto del terreno y se encuentran al principio y al final de la línea. El carro se desplaza en la longitud del cable portador comprendida entre los soportes principales. Pueden ser artificiales, como en el caso que se utilice una estación motriz móvil, o naturales (figura 9.19). Para la elección de los soportes naturales se deben elegir árboles altos, sanos y con un sistema radical profundo. Sobre el mismo se coloca una polea por el que pasa el cable portador hasta el dispositivo de anclado. Las dimensiones del arbolado que se utilice para dicho soporte pueden deducirse a partir de la altura y las cargas que tiene que soportar (tabla 9.8).

Tabla 9.8. Valores indicativos del diámetro sin corteza (cm) en *Picea abies* según la carga que soporta y la altura donde esta se aplica (Fabiano et al. 2014).

	Altura (m) de soporte de la carga							
Carga (kg)	6	8	10	12	14	16	18	20
1 000	12	13	14	15	16	16	17	17
2 000	15	17	18	19	19	21	22	22
3 000	17	19	20	22	23	24	25	26
4 000	18	20	22	24	25	26	27	28
5 000	19	22	24	25	27	28	29	30
6 000	20	23	25	27	29	30	31	32
7 000	21	24	26	28	30	31	33	34
8 000	22	25	27	29	31	33	34	36
9 000	23	26	28	30	32	34	36	37
10 000	24	27	29	31	33	35	37	38
12 000	25	28	31	33	35	37	39	40
14 000	27	29	32	35	37	39	41	42

Figura 9.19. Soporte principal natural (izquierda), artificial (centro) (Fotos: N. Bacardit) y detalle de la polea para soporte final (Foto: J. Pemán).

3.4.2. Soportes intermedios

Son artificiales o naturales y se utilizan para mantener el cable a la altura necesaria sobre el terreno. Se utilizan cuando en la traza del cable aparecen obstáculos o perfiles convexos o cuando es necesario limitar la deflexión del cable en trazados muy largos (figura 9.20). La ubicación de los soportes intermedios respecto de los soportes principales debe verificar siempre que la línea que une los soportes principales quede por debajo del trazado del cable, en caso contrario se someterían estos soportes a tensiones que tenderían a levantar el cable hasta alcanzar la cuerda.

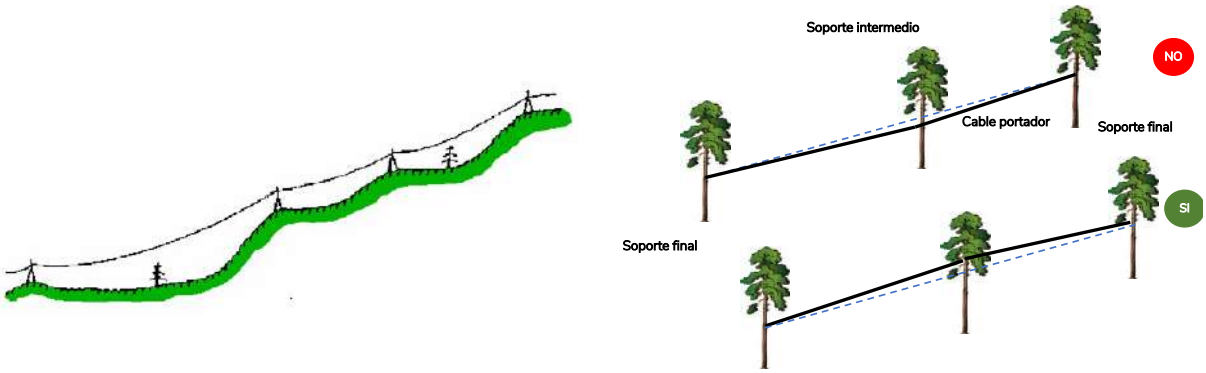


Figura 9.20. Ubicación de los soportes intermedios en los cambios del perfil del terreno (izquierda). Colocación incorrecta del soporte intermedio (superior derecha) y correcta (inferior derecha) (Fuente: Marchi, 2016).

En los soportes intermedios el cable portador es soportado por un gancho, asiento o zapata llamada pipa o silleta, que se encuentra colgada. Los soportes intermedios se pueden clasificar por su naturaleza en naturales y artificiales, y, por su verticalidad, en verticales e inclinados (figura 9.21).

Figura 9.21. Pipa (izquierda), acanaladura superior de la pipa para el paso del cable portador (centro izquierda) (Fotos: J. Pemán), soporte intermedio natural. Obsérvese que debido a la falta de un diámetro suficiente se han unido dos árboles próximos (centro derecha) y soporte intermedio artificial (derecha) (Fotos: N. Bacardit).

El caso más frecuente es utilizar un único árbol recto en pie. En este caso, la pipa se coloca anclada por dos cables a otros árboles para impedir su movimiento. Sobre el árbol recto que sirve de soporte una polea permite el paso del cable auxiliar que sustenta la pipa (figura 9.22).

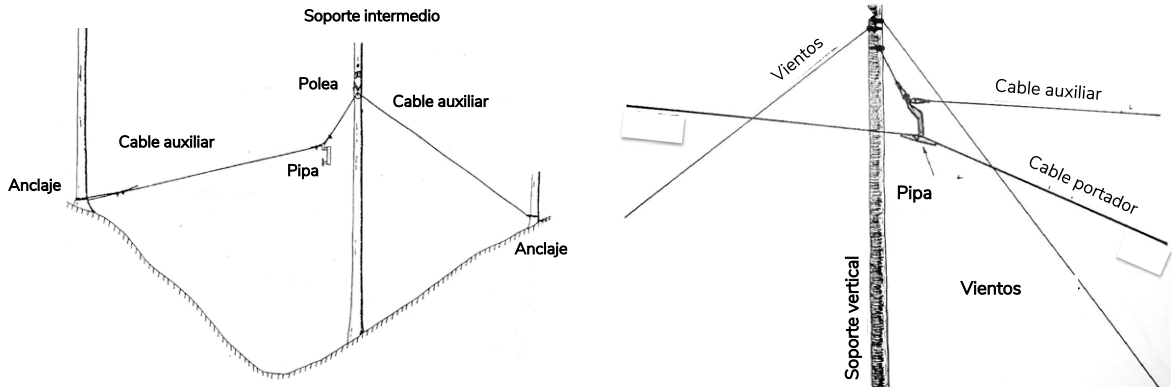


Figura 9.22. Soporte intermedio mediante un solo árbol en pie (izquierda) y detalle de colocación de la pipa (derecha) (adaptado de Marchi (2016)).

También puede darse el caso de utilizar dos árboles situados a la misma distancia del cable portador (figura 9.23).

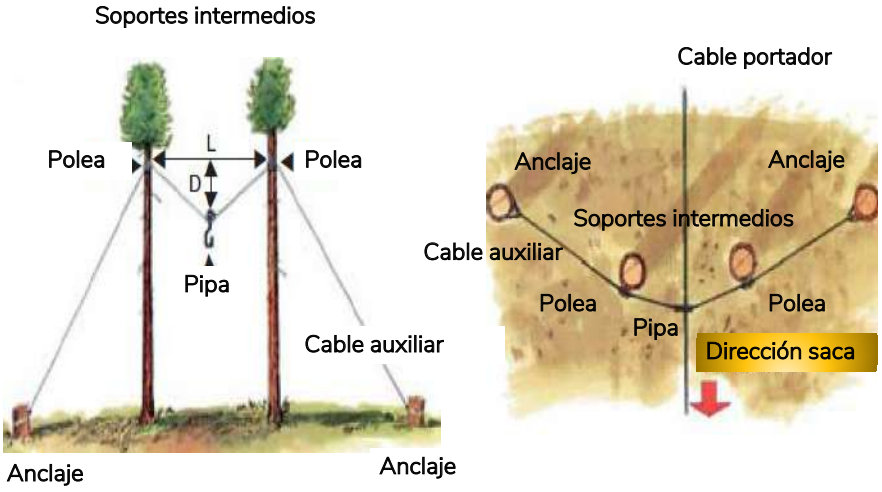


Figura 9.23. Soportes intermedios formados por dos árboles en pie situados a la misma distancia del cable portador (adaptado de Worksafe 1993).

Otra alternativa es la utilización de soportes intermedios inclinados en los que la pipa no precisa de un cable auxiliar para separarlo del soporte vertical. También se puede utilizar un único árbol si este está inclinado y debidamente anclado mediante sus correspondientes vientos (figura 9.24).

Figura 9.24. Soporte intermedio constituido por un árbol inclinado y anclado con vientos (adaptado de Worksafe 1993) (izquierda) y detalle del corte en el árbol para inclinarlo (derecha) (Foto: N. Bacardit).

3.4.3. Anclajes

Son los elementos de fijación al terreno de los diferentes elementos que integran la instalación: el cable portador, los soportes principales y los soportes intermedios. Por la tensión que soportan los anclajes más robustos deben ser los del cable portador. Los anclajes se clasifican en: i) Naturales y ii) Artificiales.

1. Naturales. Normalmente son árboles en pie, bien formados y vigorosos, con sistemas radicales profundos (figura 9.25). Dependiendo de la especie, del estado del árbol y de su diámetro se puede estimar la tensión máxima que puede tolerar en su base (tabla 9.9).

$$T_{max} \text{ orientativa (kg) (valor empírico)} = (d^2 * 10)/ 3$$

Figura 9.25. Anclaje natural para el cable portador. Obsérvese como el cable se enlaza sobre una raíz gruesa para evitar que se desplace a lo largo del fuste (Fotos: N. Bacardit).

Tabla 9.9. Tensión máxima admisible según el diámetro de los árboles (*Picea abies*) utilizados para anclaje(*: en condiciones favorables como especie con sistema radical profundo, sistema radical muy desarrollado, ángulo entre el terreno y el cable muy pequeño; estos valores pueden ser aumentados cerca del 50%) (Fabiano et *al*. 2014).

Diámetro normal (cm)	Tensión máxima orientativa (kg)*	Diámetro normal (cm)	Tensión máxima orientativa (kg)*
20	1 000	45	6 500
25	2 000	50	8 000
30	3 000	55	10 000
35	4 000	60	12 000
40	5 000	65	14 000

Si los árboles que sirven de anclaje no tienen suficiente diámetro habrá que utilizar más árboles. Debido a que el reparto de tensiones es diferente según como se ubiquen los árboles, se distingue entre: i) Árboles alineados y ii) No alineados.

- Árboles alineados. En el caso de que se utilicen tres árboles la distribución de tensiones que soportan cada uno de ellos es 2/3, 2/9 y 1/9 (figura 9.26).

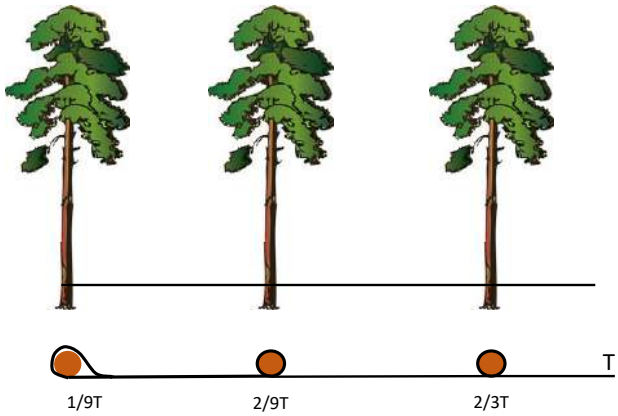


Figura 9.26. Anclaje natural y reparto de tensiones, utilizando árboles alineados (adaptado de Fabiano et *al*. (2014)).

- Árboles no alineados. En este caso se precisa de una abrazadera y de un cable de anclaje (figura 9.27).

En el caso de árboles en pendiente, el árbol que sirve de anclaje debe estar, a su vez, fijado con vientos (figura 9.28).

2. Artificiales. Pueden ser: i) Troncos clavados con un ángulo de inclinación sobre el suelo y ii) Troncos enterrados en posición horizontal.

- Clavados con un ángulo de inclinación. Troncos de 4 m de largo se clavan de 2,5 a 3 m con un ángulo de inclinación que el ángulo que forma con el cable portador es de 90° o inferior para

evitar cortarlo (figura 9.29). En la zanja se deben colocar troncos en la parte inferior y superior para repartir el esfuerzo. Según la profundidad y diámetro del tronco varía la tensión máxima capaz de soportar (tabla 9.10). Asimismo, el tronco debe estar anclado con un viento en la parte superior del mismo. La pendiente del tirante debe ser superior, o al menos igual, a la que forma el cable portador. En caso de anclaje en contrapendiente el tronco debe tener una longitud superior, 6 m, para que el tirante pueda mantener la pendiente adecuada.

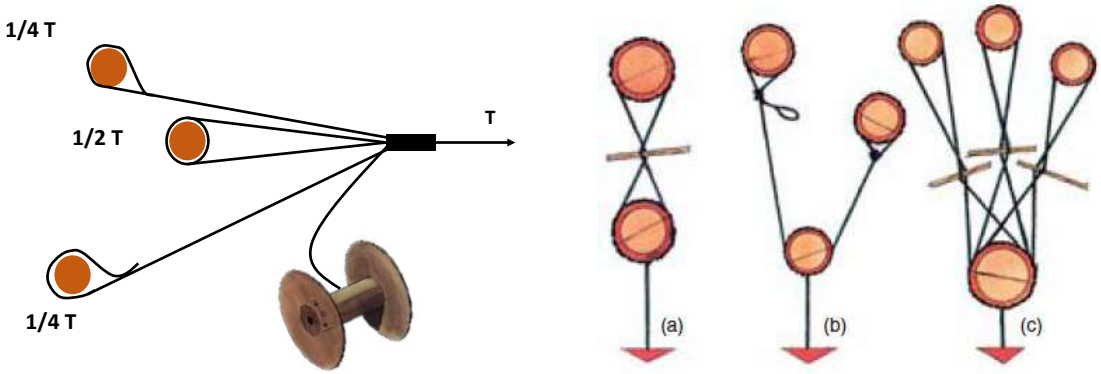


Figura 9.27. Anclaje natural y reparto de tensiones, utilizando árboles no alineados (Worksafe 1993; Fabiano et al. 2014).

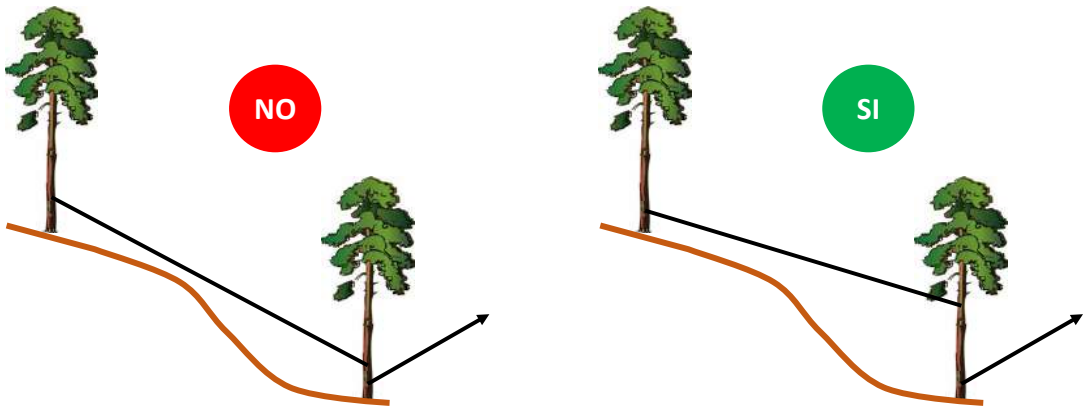


Figura 9.28. Anclaje en árboles en pendiente. A la izquierda un anclaje incorrecto y correcto a la derecha (adaptado de Fabiano et *al.* (2014)).

Figura 9.29. Anclaje a un árbol clavado inclinado (Fabiano et al. 2014).

Tabla 9.10. Tensión máxima que soporta el anclaje del cable tractor según las dimensiones del árbol clavado de forma inclinada (Fabiano et al. 2014).

Tensión máxima (kg)	Profundidad enterrada (m)	Diámetro tronco (cm)
5 000	2 a 2,5	40
6 000	2 a 2,5	45
8 000	2 a 2,5	50
10 000	2 a 2,5	55
12 000	2 a 2,5	60
14 000	2,5 a 3	65
16 000	2,5 a 3	70

- Enterrados horizontalmente. Se entierra perpendicularmente a la dirección del cable portador (figura 9.30). Según la longitud del tronco, su diámetro y profundidad (tabla 9.11) varía la tensión que es capaz de soportar.

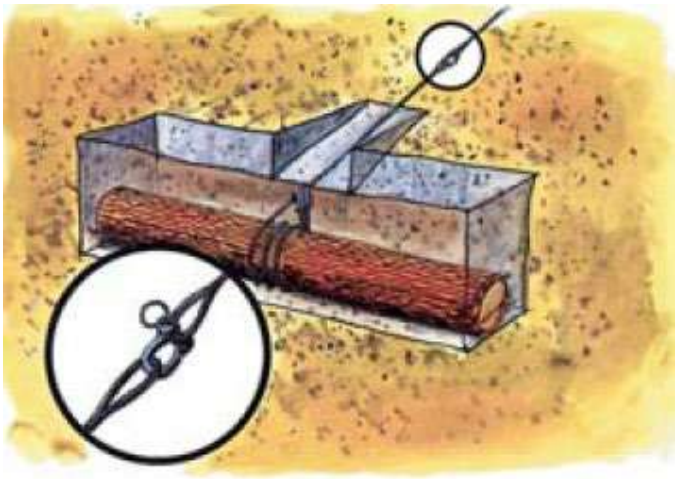


Figura 9.30. Anclaje a un árbol enterrado horizontalmente. Se utiliza un grillete para la unión entre los cables (Worksafe 1993).

Tabla 9.11. Tensión máxima que soporta el anclaje del cable tractor según las dimensiones del árbol enterrado horizontalmente (Fabiano et al. 2014).

Tensión máxima (kg)	Profundidad enterrada (m)	Longitud tronco (m)	Diámetro tronco (cm)
4 000	1,5	4	30
7 000	1,5	4	35
10 000	2	4	40
12 000	2	4	45
14 000	2	4	50
16 000	2,5	4	55
18 000	2,5	4	60

En el caso del anclaje de la torre de una estación móvil, el número de anclajes puede variar de 2 a 8. El número y ángulo de los vientos suele venir indicado por el fabricante. Un aspecto muy importante, para garantizar la máxima resistencia del anclaje, es el ángulo del cable respecto del elemento que sirve de anclaje. No debe superar los 45°, siendo el óptimo 10°. Entre 10 y 25° se considera normal (figura 9.34).

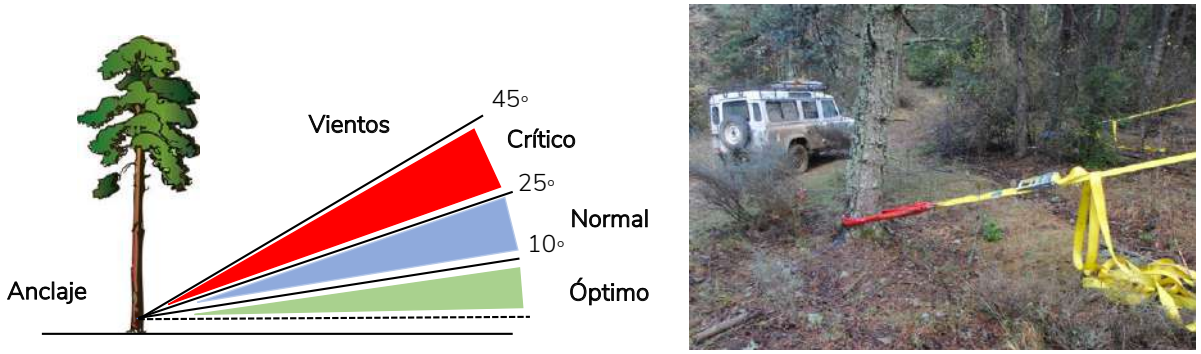
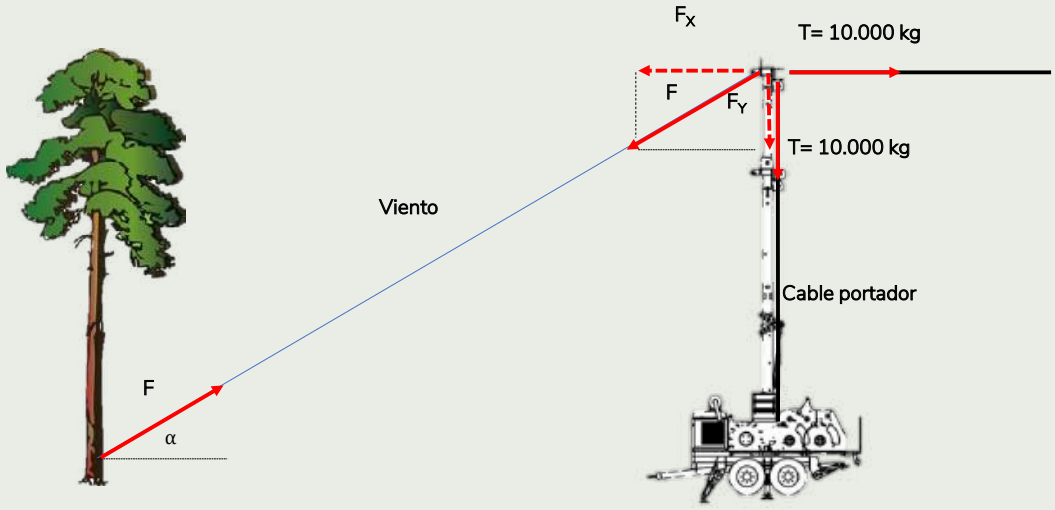


Figura 9.31. Ángulos óptimos para el anclaje (izquierda) (adaptado de Fabiano et al. 2014) y ángulos de anclaje de los contravientos textiles de la estación motriz Siberian de Greifenberg (derecha) (Foto: J. Pemán).

Ejercicio

Interesa estimar las tensiones que tienen que soportar los vientos de una estación motriz móvil cuyo cable portador está a una tensión de 10 000 kg, dependiendo de que el ángulo que forma el viento con su anclaje sea 10°, 25°, 30°, 45° ó 60°.



Solución:

		10°	25°	30°	45°	60°
F (kg)	T / cos α	10 154,27	11 033,78	11 547,01	14 142,14	20 000
F_y (kg)	T tg α	1 763,27	4 663,08	5 773,50	10 000	17 320,51
F axil (kg)	T + F_y	11 763,27	14 663,08	15 773,50	20 000	27 320,51
d (cm)		45 - 50	45 - 50	45 - 50	55	>65

3.5. Accesorios

Los más relevantes son: i) Poleas, ii) Eslingas, iii) Pipa y iv) Tensores.

1. Polea. Pieza que consta de una rueda metálica acanalada a lo largo de su perímetro que permite la circulación del cable por su interior (figura 9.33). Consta de una pieza guarda-cable que evita que el mismo se salga. La sección del canal de la rueda debe ser tal que el cable debe estar soportado por la polea sobre un arco comprendido entre 120 y 150° (figura 9.32 y 10.34). En una instalación de cable se pueden utilizar:

- En el circuito del cable tractor y de retorno.
- Para el cable portador en los soportes principales.
- Durante el montaje.

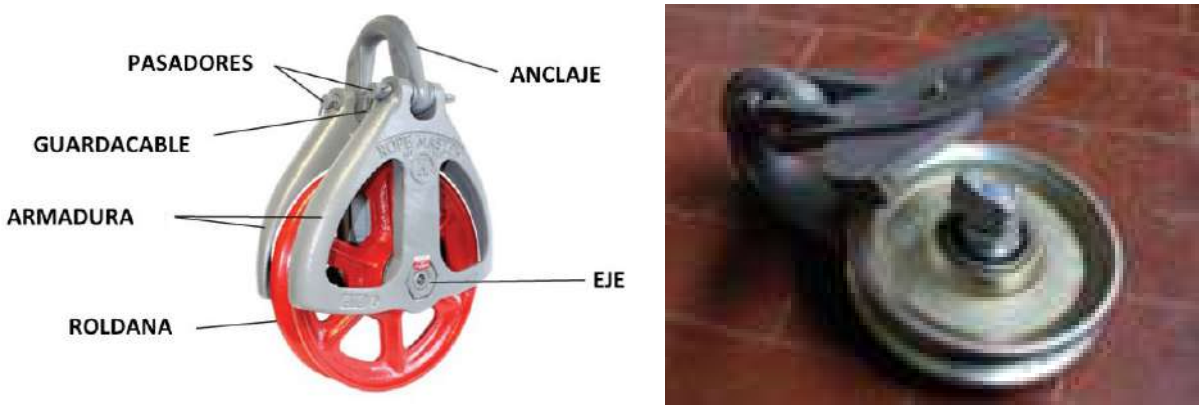


Figura 9.32. Partes de la polea (izquierda) y polea abierta (derecha) (Fabiano et al. 2014).

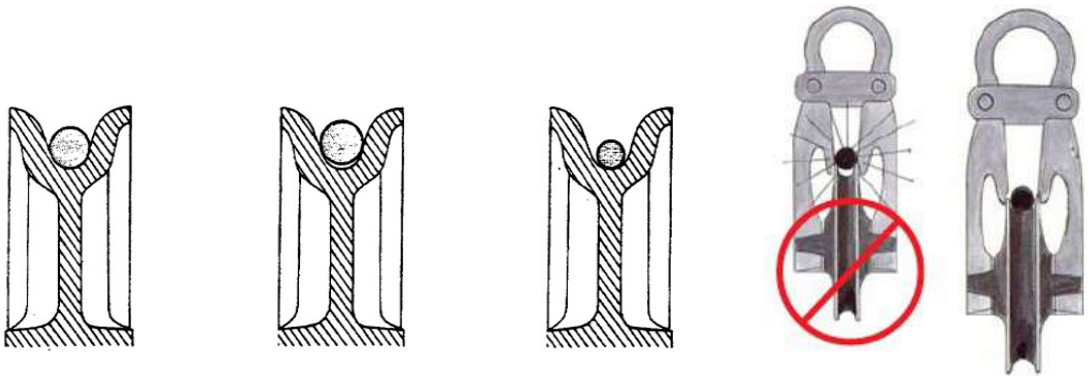


Figura 9.33. Secciones de la garganta de la polea en relación al diámetro del cable. Relación correcta (izquierda), garganta muy pequeña, el cable será pellizcado (centro) y garganta muy grande, el cable será aplastado (derecha).

El dimensionamiento de la polea debe estar en función del esfuerzo máximo previsto (tabla 9.12).

Tabla 9.12. Características de unos modelos de poleas de la marca WYSSEN.

Modelo	Diámetro roldana (mm)	Roldana	Máxima tensión anclaje (kg)	Máxima tensión cable 180° (kg)	Diámetro cable hasta máxima anchura (mm)	Peso (kg)
34.600B	180	aluminio	4 000	2 000	11 30	8
34.100A	240	aluminio	5 000	2 500	12 40	8,5
34.200B	320	aluminio	10 000	5 000	16 50	31
34.300B	400	aluminio	20 000	10 000	24 70	59

Figura 9.34. Polea sin guardacable con el cable fuera de la roldana (izquierda), polea con guardacable (centro) y polea de derivación (derecha) (Fotos: N. Bacardit).

La tensión que tiene que soportar la polea variará en función del ángulo que forme el cable portador en la misma (figura 9.35) (tabla 9.13).

Tabla 9.13. Tensión que tiene que soportar una polea en función del ángulo que forma el cable portador en la misma (T = 10 000 kg).

	5°	10°	25°	30°	45°	60°
F(kg)	872	1 743	4 329	5 176	7 654	10 000

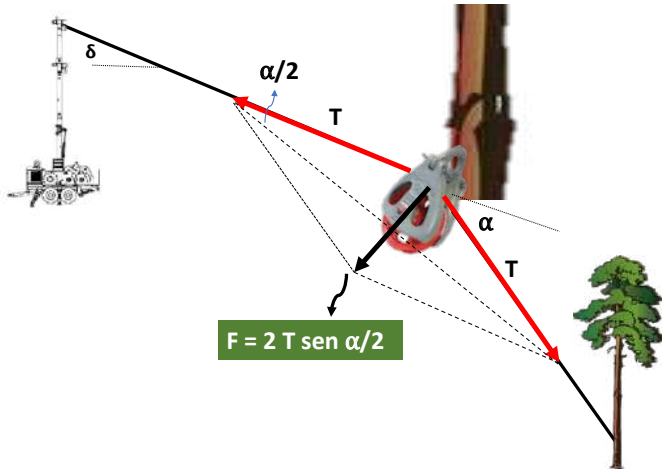


Figura 9.35. Esquema de fuerzas en una polea que soporta el cable portador.

2. Eslingas. Sirven para unir las poleas y pipas a los árboles o a los soportes intermedios. Las que normalmente se utilizan son de fibras sintéticas, tradicionalmente usadas en el izado o amarre de cargas. Tienen como ventaja, frente a las cadenas o eslingas de acero, su menor peso, su resistencia a los ácidos y que pueden trabajar mojadas sin pérdida de resistencia. Las más utilizadas son (figura 9.36, tabla 9.14):

- Planas. Son las básicas y económicas. Pueden ser con acabados para el amarre o sin fin.

- Redondas. Son las más avanzadas. Están compuestas de múltiples fibras de poliéster y de una funda doble para proteger a las fibras internas de la abrasión y, así, evitar que entren en contacto con la carga o los anclajes. Se puede utilizar toda la superficie y tienen una vida más larga.

Figura 9.36. Eslingas sintéticas redondas (izquierda y derecha) y planas (centro) (imagen izquierda, N. Barcadit) y eslinga con etiqueta que indica su capacidad de carga según como se utilice (derecha) (Foto: J. Pemán).

Tabla 9.14. Características técnicas de las eslingas tubulares de la marca KÜPFER

Carga segura de trabajo WLL (t)	Color	Capacidad de carga (kg)				
		Vertical	Doble	Lazo	Cesto< 45°	Cesto < 60°
1	Lila	1 000	2 000	800	1 400	1 000
2	Verde	2 000	4 000	1 600	2 800	2 000
3	Amarillo	3 000	6 000	2 400	4 200	3 000
4	Gris	4 000	8 000	3 200	5 600	4 000
5	Rojo	5 000	10 000	4 000	7 000	5 000
6	Marrón	6 000	12 000	4 800	8 400	6 000
8	Azul	8 000	16 000	6 400	11 200	8 000
10	Naranja	10 000	20 000	8 000	14 000	10 000
12	Naranja	12 000	24 000	9 600	16 800	12 000
15	Naranja	15 000	30 000	12 000	21 000	15 000

3. Pipa. Zapata de soporte que, colgada del soporte intermedio, permite el apoyo del cable portador y el paso del carro o carretón (figura 9.37).

Figura 9.37. Pipa que soporta al cable portador en uno de los soportes intermedios de la instalación (Foto: J. Pemán).

4. Tensores. Se utilizan para tensar el cable portador o los vientos. Los tensores que más comúnmente se usan son:

- Tensores de palanca. El más común es el modelo Tirfor® de la casa comercial Tractel. Existen modelos para tensiones de trabajo que varían de 8 a 32 kN. La misma casa comercial, comercializa el modelo Tirvit® utilizado para la tensión de cables pequeños. Estos modelos permiten tensiones de trabajo de 4 a 8 kN (figura 9.38).

Figura 9.38. Tensores Tirfor (izquierda) y Tirvit (derecha) de la marca comercial TRACTEL.

- Polipastos. Son usados para el tensionado y fijación del cable portador a los anclajes (figura 9.39). Existen numerosos modelos para cables de 12 a 60 mm de diámetro y que pueden soportar una tensión de carga de 8 a 48 t.

Figura 9.39. Modelo de polipasto utilizado para el tensionado y fijación a los anclajes del cable portador (Foto: J.Pemán).

4. Limitaciones

Las condiciones del monte para las que puede ser idónea esta técnica de desembosque son generalmente las más extremas, en donde o la falta de acceso, la accidentabilidad del monte, la pendiente o la longitud del desembosque imposibilitan la apertura de nuevas pistas o el movimiento de la maquinaria. En este sentido, montes con pendientes superiores al 20-30% y distancias de arrastre superiores a 100-500 m puede ser aptas para este tipo de desembosque (Juanati et al. 2004). A estas características se pueden añadir situaciones en las que la técnica de desembosque tiene que tener un bajo impacto sobre el medio, impuesto por el interés ecológico del espacio (figura 9.40).

Tabla 9.15. Limitaciones del desembosque con cable grúa.

Factor	Limitaciones	Factor	Limitaciones
Pendiente (%)	Sin limitaciones, aunque determinará la tipología de la instalación	Separación entre vías (m)	Variable según el tipo de cable, de 200 a 400 m para cables ligeros y > 400 m para cables pesados
Pedregosidad	Sin limitaciones	Tipo de corta	Condicionará el tipo de producto a obtener, su valor, el daño a la masa remanente y la facilidad de desembosque lateral.
Vegetación	Sin limitaciones	Densidad de caminos (m ha^{-1})	Cables ligeros: 45-110 Cables medianos: 24-45 Cables pesados: < 24
Clima	El viento y la niebla durante el aprovechamiento pueden comprometer la seguridad por lo que deberán extremarse las medidas	Accesibilidad	Tiene que estar garantizada a la estación de descarga
Pedregosidad	Sin limitaciones	Disponibilidad	Puede ser la limitación principal

Figura 9.40. Imagen aérea, tomada desde un dron, del trazado de un cable grúa en donde apenas se observa la calle de desembosque (izquierda) (Foto: I. Lázaro) y hayedo en donde no se perciben las calles de desembosque del aprovechamiento realizado con cable grúa (G. Picchi).

Entre las principales ventajas que se citan para el uso del cable grúa destacan (Rodríguez et al., 2005): i) Puede utilizarse prácticamente en cualquier situación meteorológica (nieve, hielo, etc.), u orográfica en la zona de corta, ii) El impacto sobre el terreno, la masa remanente o la madera transportada es bajo (mínimo en el transporte de madera suspendida), iii) Los costes son equiparables a los métodos clásicos que exigen apertura de pistas en zonas de orografía difíciles, iv) La relativa rapidez de instalación en el caso de aprovechamientos urgentes tras temporales, incendios o afección de plagas y enfermedades.

Por su parte los principales inconvenientes son (Rodríguez et al., 2005): i) Los costes elevados en general, particularmente en el caso de aprovechamientos de pequeños volúmenes de madera, que pueden inducir a la sobreexplotación si no se controlan las intervenciones, ii) El requerimiento de un equipo humano muy especializado, iii) La necesidad de medidas de seguridad especiales debido a la gravedad de los accidentes que puede ocasionar una utilización inapropiada de este tipo de instalaciones y iv) La exigencia de tareas de mantenimiento permanentes en los equipos.

5. Tipos de instalaciones

Son numerosas las clasificaciones que existen de los cables aéreos, según los criterios que se utilicen (Juanati et al. 2004; FITEC 2005; Fabiano et al. 2014). Entre estos criterios están: i) Tipo de clave portador (fijo o móvil), ii) Longitud de la instalación (tabla 9.16), iii) Número de cables (monocables, bicables, tricables), iv) Estación motriz (estática, móvil), v) Modo de desplazamiento del carro para descarga (gravedad, independiente de la pendiente).

Según el diseño que se realice de la instalación, y de sus diferentes componentes, se encuentran una variedad amplia de tipos. Los más característicos son: i) Instalación bicable, con estación motriz estática que funciona por gravedad, ii) Instalación bicable con estación motriz móvil que funciona por gravedad, iii) Instalación tricable con estación motriz móvil que funciona para todo

tipo de terreno, independiente de la pendiente, iv) Instalación monocable con carro automotriz que funciona para todo tipo de terreno y v) Instalación mini-cable que funciona por gravedad.

Tabla 9.16. Tipos de cable aéreo según la longitud de la instalación (adaptado de (Juanati et al. 2004).

	Ligero	Mediano	Pesado
Longitud (m)	100 / 300	300 / 700	> 700
Arrastre madera	Semisuspendida	Suspendida / semisuspendida	Suspendida
Soportes intermedios	No	Generalmente	Siempre
Altura soportes principales (m)	2 / 5	Elevada	Elevada
Dirección desembosque	Unidireccional. Ladera arriba	Bidireccional	Bidireccional. Ladera abajo
Montaje	Sencillo	Complejo	Más Complejo
Costes	Bajos	Medios	Altos
Tipo de madera	Pequeña dimensión		Grandes dimensiones

5.1. Instalación bicable con estación motriz estática que funciona por gravedad

La instalación consta de dos cables, portador y tractor. El cable portador es estacionario. La estación motriz es estática, tipo trineo, y se coloca en la parte superior de la ladera (figura 9.41). No es necesaria la existencia de pistas de acceso para la ubicación de la estación motriz. El carro suele ser automático, controlado de forma remota. El desembosque es en sentido descendente y el carro se desplaza cargado por acción de la gravedad hasta la zona de descarga. Generalmente, son instalaciones pesadas, diseñadas para largas distancias y maderas de grandes dimensiones. Suele ser una instalación frecuente en el centro y norte de Europa para líneas que superan los mil metros. Se recomienda un índice de extracción de 1 m^3 de madera por metro de línea.

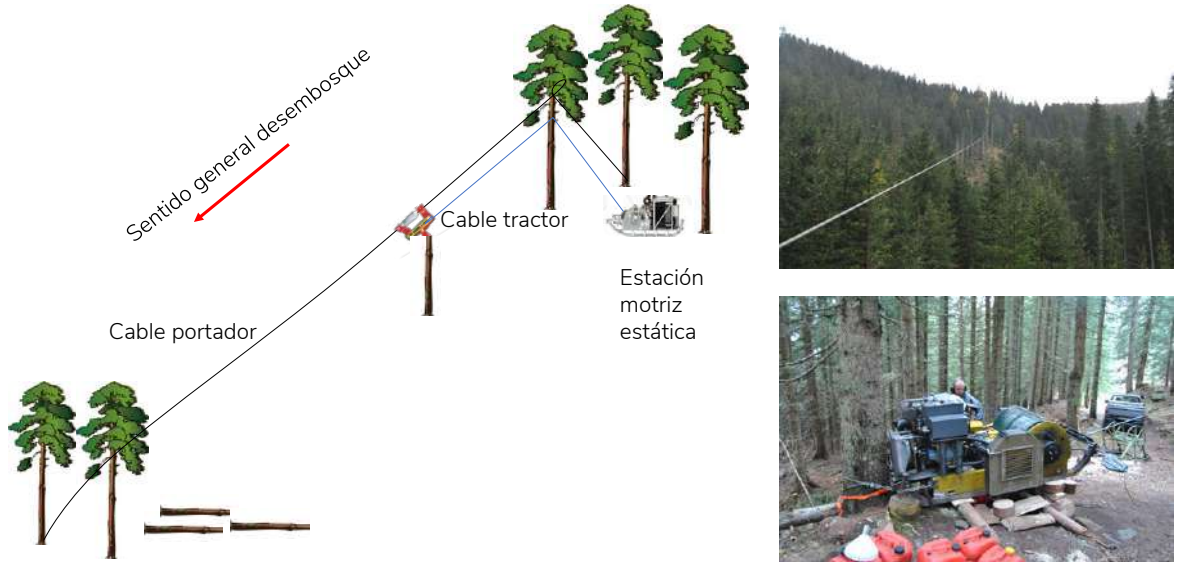


Figura 9.41. Esquema de una instalación bicable con estación motriz estática que funciona por gravedad (izquierda), cable portador en una línea de 1,5 km (derecha superior) y estación motriz WYSSEN W40 (derecha inferior) (Fotos: J. Pemán).

Instalación bicable con estación motriz estática que funciona por gravedad

5.2. *Instalación bicable con estación motriz móvil que funciona por gravedad*

La instalación consta de dos cables, el portador y el tractor. El cable portador es vivo, conectado uno de sus extremos a la estación motriz que regula su tensión. La estación motriz es móvil, en torre, y se coloca en la parte superior de la ladera, para lo cual debe existir una pista de acceso (figura 9.42). Donde se ubique la estación motriz se precisa adecuar una zona para la descarga y/o procesado de la madera, según cual sea el método de aprovechamiento seguido, árbol o fuste entero. El carro suele ser automático, controlado por radio comando. El desembosque se realiza normalmente en sentido ascendente, hacia la estación motriz. El carro se desplaza vacío por acción de la gravedad y asciende la ladera cargado. Si el desembosque es descendente, posible en el caso de fuertes pendientes, el carro se desplaza cargado por la acción de la gravedad y asciende vacío por la acción del cable tractor. En este caso, el cable portador debe estar más tensado que en el primero. Generalmente son instalaciones medianas o ligeras.

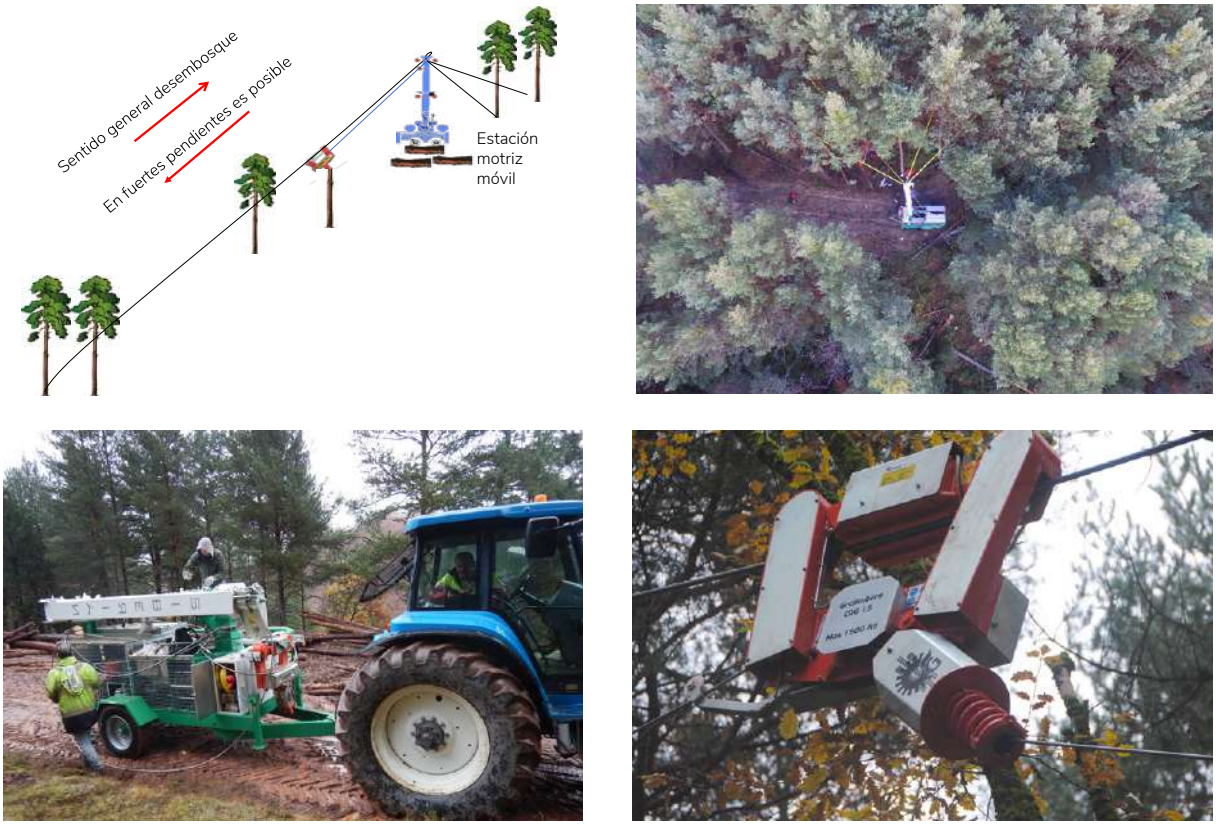


Figura 9.42. Esquema de una instalación bicable con estación motriz móvil (izquierda superior), estación motriz de remolque ubicada en la parte superior de la ladera y anclada (derecha superior) (Foto: I. Lázaro), transporte con tractor del remolque de la estación motriz (inferior izquierda) (Foto: G. Picchi) y carro suspendido del cable portador y accionado por el tractor (modelo CRG 15 de Greifenberg) (inferior derecha) (Foto: J. Pemán).

Instalación bicable con estación motriz móvil y desembosque descendente

5.3. *Instalación tricable con estación motriz móvil que funciona para todo tipo de terreno, independiente de la pendiente*

La instalación consta de tres cables, el portador, el tractor y el de retorno. El cable portador es vivo, conectado uno de sus extremos a la estación motriz que regula su tensión. Precisa de un tercer cable, el de retorno, para mover el carro a lo largo de toda la línea. La instalación de este cable precisará de una línea auxiliar, con poleas, para que pueda engancharse al carro. La estación motriz es móvil, de torre (figura 9.43). Donde se ubique se precisa adecuar una zona para la descarga y/o procesado de la madera, según cual sea el método de aprovechamiento seguido, árbol o fuste entero. El carro suele ser automático, controlado por control remoto. La saca se realiza en el sentido donde se ubica la estación motriz. Dependiendo de la altura de la torre la madera se arrastra de forma suspendida o semisuspendida. Generalmente son instalaciones medianas o ligeras. El elemento más complejo de estas instalaciones suele ser la instalación del cable de retorno, que puede llevar varios días, dado que hay que realizarla fuera del área de corta para evitar interferencias en el trabajo. Este tipo de instalaciones se hace, generalmente, para ubicar la estación motriz en la parte baja de la ladera.

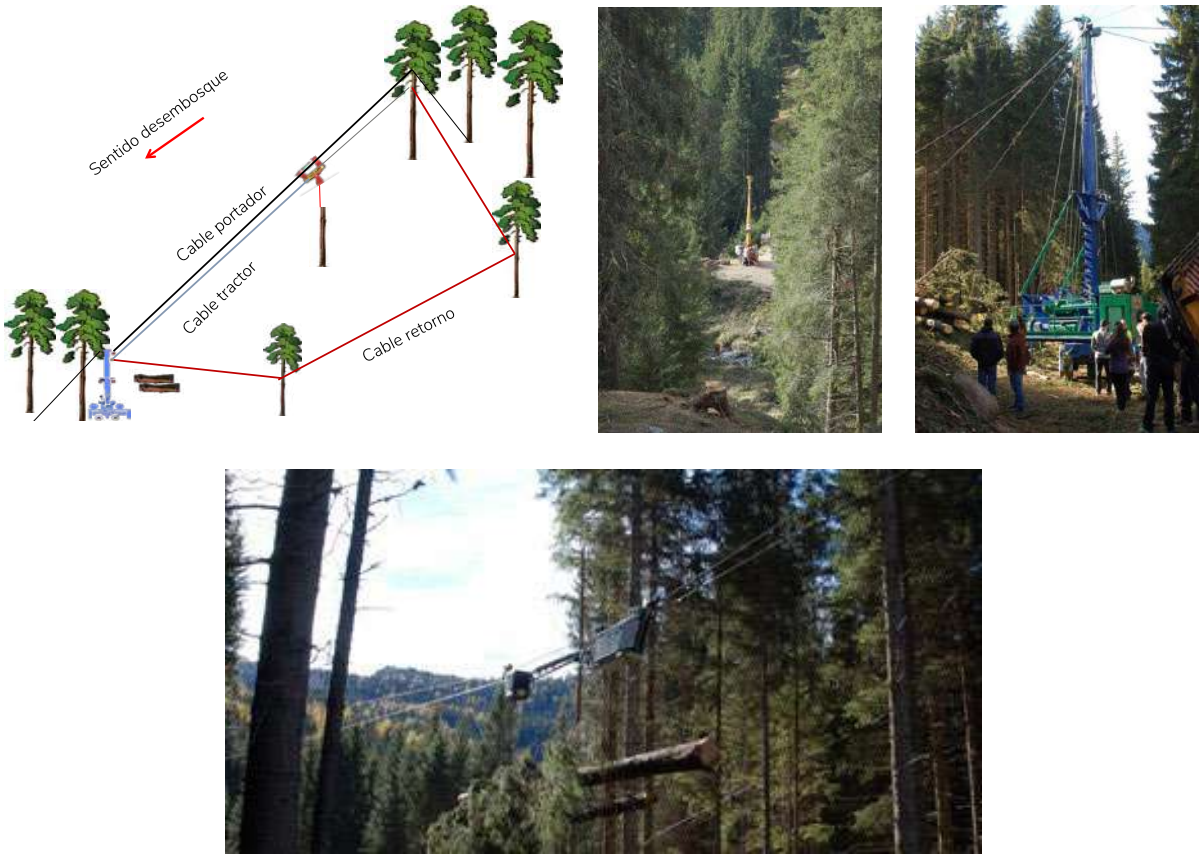


Figura 9.43. Esquema de una instalación tricable con estación motriz móvil que funciona independientemente de la pendiente. Ubicación de la estación en la parte inferior (superior izquierda), estación motriz móvil tipo remolque, tricable, modelo T3 1100 de Greifenberg (superior derecha), carro de una instalación tricable con doble enganche para llevar la carga horizontal (Fotos: G. Picchi).

5.4. Instalación monocable con carro automotriz que funciona para todo tipo de terreno, independiente de la pendiente

La instalación consta solamente del cable portador, que es estacionario. No hay estación motriz y consta de un carro automotriz (figura 9.44). El desembosque se realiza en los dos sentidos. El carro se controla por control remoto.

Figura 9.44. Esquema de una instalación monocable con carro automotriz que funciona independientemente de la pendiente (izquierda), instalación monocable (superior centro), control del carro automotriz (superior derecha) y carro automotriz modelo TECNO de Greifenberg (inferior) (Fotos: G. Picchi).

5.5. Instalación mini-cable que funciona por gravedad

Es una instalación bicable con cables portador y tractor. El cable portador es estacionario. La estación motriz es un cabrestante acoplado a la toma de fuerza del tractor (figura 9.45). El carro puede ser semiautomático, precisando un bloqueo de línea en el cable portador, o automático. Son instalaciones ligeras.

En experiencias realizadas con estos equipos, en montes con un índice de extracción de 0,18 a 0,23 m^{-3} m^{-1} línea, se han estimado costes entre 24,1 y 32,7 € m^{-3}, con rendimientos entre 2,42 y 4,15 m^3 $h_{productiva}^{-1}$ (tabla 9.17) (Spinelli et al. 2010).

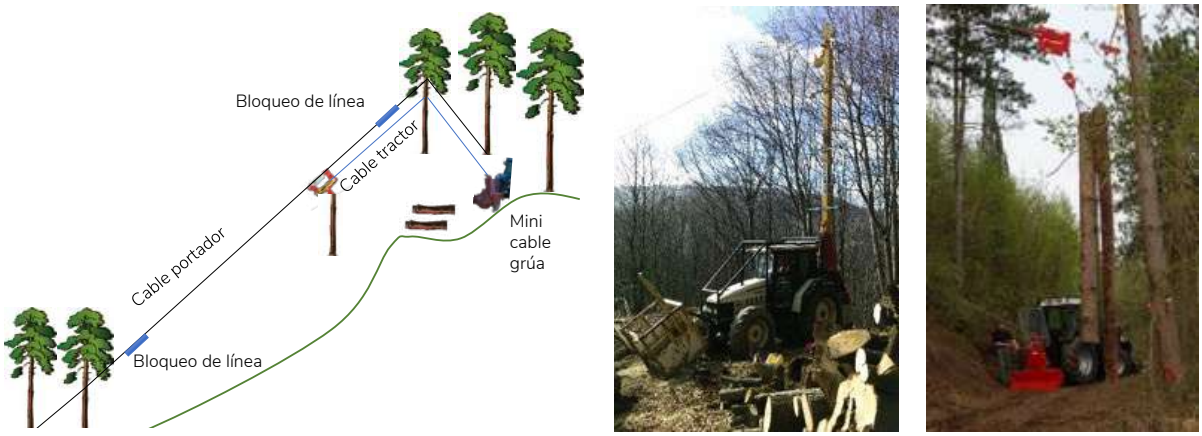


Figura 9.45. Esquema de una instalación de mini-cable grúa (izquierda), mini-cable grúa (centro) y cabrestante de tractor utilizado para instalación de cable aéreo (derecha) (Fotos: G. Picchi).

Se pueden consultar otras tipologías de instalaciones en FITEC (2005) y Wimmer et al.

Tabla 9.17. Resultados de un ensayo con dos mini-cables en Italia (Spinelli et al. 2010)

	Savall 1500	Miniliner
Capacidad tambor cable portador (m)	300	300
Φ cable portador (mm)	14	10
Tensión cable portador (kg)	2 500	2 000
Capacidad tambor cable tractor (m)	300	
Φ cable tractor (mm)	8	
Tensión cable portador (kg)	5 000	
Capacidad tambor cable elevación (m)		50
Φ cable elevación (mm)		5
Tensión máxima cable elevación (kg)		450
Tipo carro	Semiautomático	Automotriz
Capacidad carga (kg)	1 500	500
Coste horario (€ h^{-1})	39,83*	58,23
Distancia extracción (m)	118	67
Índice extracción (m^3 m^{-1})	0,18	0,23
Productividad (m^3 $hproductiva^{-1}$)	2,42	4,15
Productividad (m^3 $htrabajo^{-1}$)	1,52	2,42
Coste (€ m^{-3})	32,7	24,1

6. Planificación y cálculo

6.1. *Trazado de calles de desembosque*

El trazado de las calles de desembosque del cable pueden obedecer a tres tipologías, según las características físicas del monte y las infraestructuras existentes de acceso (figura 9.46) (Juanati et al. 2004): i) Calles paralelas, ii) Calles convergentes en la parte baja de la ladera y iii) Calles convergentes en la parta alta de la ladera.

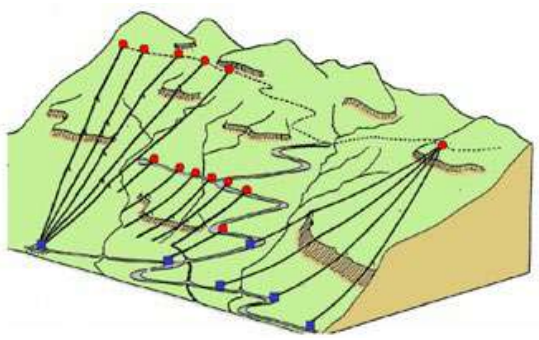


Figura 9.46. Trazado de las diferentes calles de desembosque (Marchi 2016). Símbolo cuadrado en azul ubicación de los cargaderos y símbolo circular en rojo ubicación de la estación motriz.

1. Calles paralelas. Pueden ser interesantes en laderas con pendientes homogéneas y con una red viaria en la parte superior e inferior que permita el movimiento por ambos extremos. Exige el desplazamiento de la estación motriz y de las zonas de descarga. Por ello, la tipología de la instalación que se elija deberá poderse montar y desmontar con cierta rapidez. Estas serán de menor capacidad que en los tipos convergentes.

2. Calles convergentes en la parta baja de la ladera. Las calles de desembosque coinciden en el punto más bajo de la instalación. La ladera tiene un perfil preferentemente cóncavo. Normalmente el desembosque se realizará en sentido descendente precisándose la instalación de una zona de descarga amplia donde se realizará también el procesado de la madera según el método de aprovechamiento elegido. El cargadero, ubicado en la parte baja, no se desplaza, por lo que el sistema es muy eficiente.

3. Calles convergentes en la parte alta de la ladera. Las calles de desembosque coinciden en el punto más alto de la instalación. La ladera tiene un perfil preferentemente convexo. La estación motriz se coloca en la parte superior de la ladera para aumentar la eficiencia. El desembosque puede realizarse en sentido descendente o ascendente.

En ninguno de estos modelos el trazado de las calles debe realizarse en la línea de máxima pendiente; debiendo diseñarse con una ligera inclinación para maximizar la capacidad de arrastre lateral en el área de corta y reducir el impacto visual de la calle (figura 9.47).

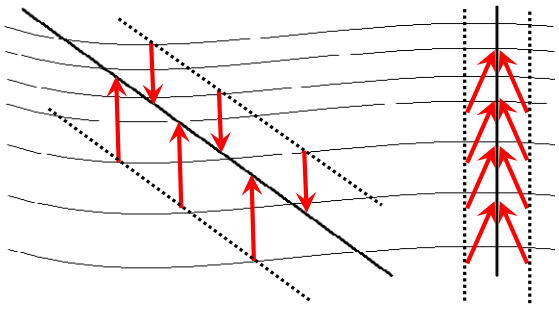


Figura 9.47. Orientación de las calles de desembosque respecto de la línea de máxima pendiente (Marchi 2016).

Un aspecto muy relevante en la planificación es la determinación del método de aprovechamiento y de cómo va a realizarse el procesado de la madera una vez llegue a la zona de descarga. Dependiendo del tipo de procesado que se realice, según los diferentes productos que se van a obtener, hay que elegir el sistema más eficiente (figura 9.48).

Figura 9.48. *Fuste entero tronzado manualmente en pista y desembosque posterior con skidder* (izquierda) (Foto: J. Pemán). Fuste entero tronzado manualmente en cargadero y desembosque con tractor agrícola con cabrestante (centro) (Foto: G. Picchi) y árbol completo, procesado con cabezal procesador sobre retroexcavadora y desembosque con autocargador (Foto: J. Pemán). El sistema que se mostró más eficiente fue el de la derecha.

6.2. Perfiles del terreno

El tipo de instalación del cable aéreo está muy condicionada por el perfil del terreno, pudiéndose distinguir, en general, las siguientes tipologías (Valladares 1970; Marchi 2016): i) Elevada concavidad, ii) Moderadamente cóncavo, iii) Rectilíneo, iv) Convexo y v) Mixto.

1. Perfil de elevada concavidad. Por lo general, es uno de los perfiles más favorables, no precisando de soportes intermedios (figura 9.49). No obstante, si la distancia entre los soportes principales es muy elevada, que no puede realizarse con un solo vano, es muy difícil encontrar una solución favorable.

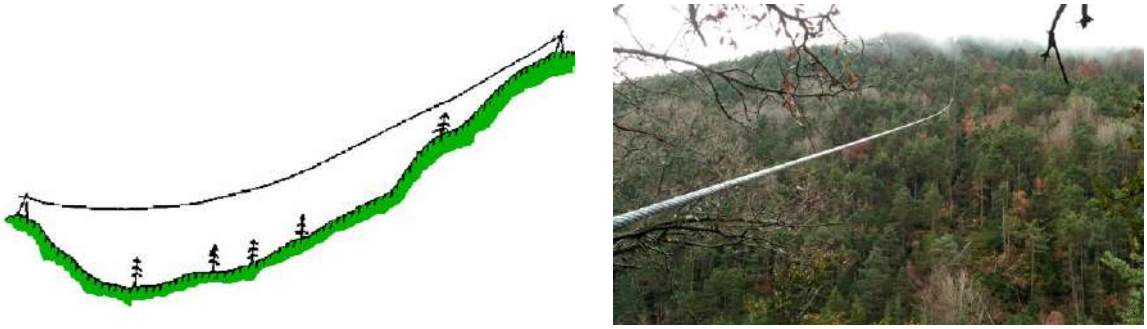


Figura 9.49. Perfil de elevada concavidad (izquierda) (Marchi 2016), e instalación de 450 m con un solo vano en un perfil marcadamente cóncavo. (Foto: N. Bacardit).

2. Perfil moderadamente cóncavo. Es una de las configuraciones más difíciles o imposibles (figura 9.50). En el caso de un vano único, hay que tensar excesivamente el cable portador y si se ponen soportes intermedios la tensión que estos tienen que soportar pueden comprometer su estabilidad.

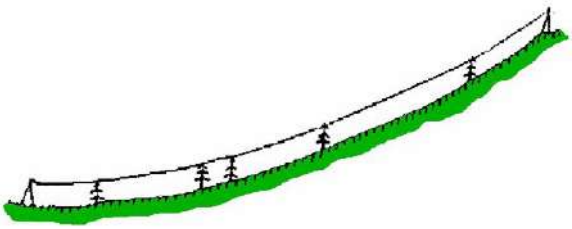


Figura 9.50. Perfil moderadamente cóncavo (Marchi 2016).

3. Perfil rectilíneo. Es un perfil complejo que precisa de numerosos soportes intermedios que garanticen una altura mínima sobre el suelo (figura 9.51). Estos apoyos deberán ser suficientemente altos.

4. Perfil convexo. Es un perfil muy complejo, que precisará de numerosos soportes intermedios (figura 9.52). En estos soportes habrá que vigilar el ángulo que forme el cable con las pipas. Este aspecto puede exigir la colocación de soportes muy próximos entre sí para conseguir que el cable portador tenga una inclinación progresiva.

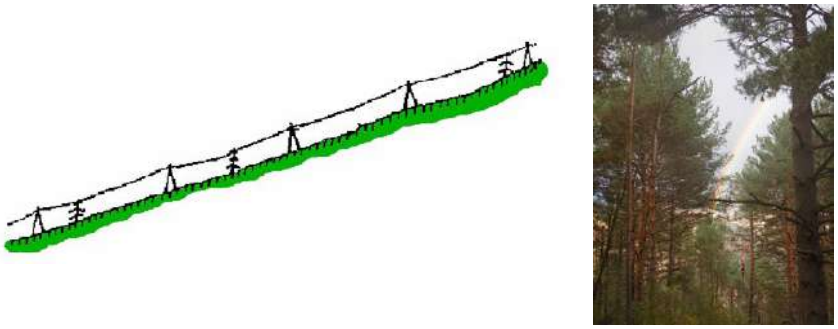


Figura 9.51. Perfil rectilíneo (izquierda) (Marchi 2016) e instalación de tipo rectilíneo con tres apoyos intermedios (derecha) (Foto: G. Picchi).

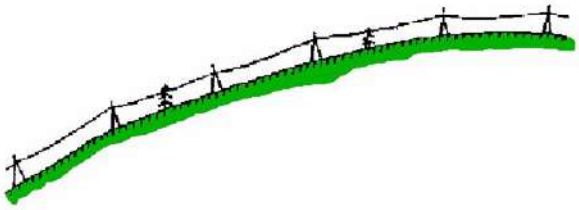


Figura 9.52. Perfil convexo (Marchi 2016).

5. Perfil mixto. Es uno de los perfiles más sencillos, ya que permite determinar fácilmente el emplazamiento de los soportes intermedios (figura 9.53).

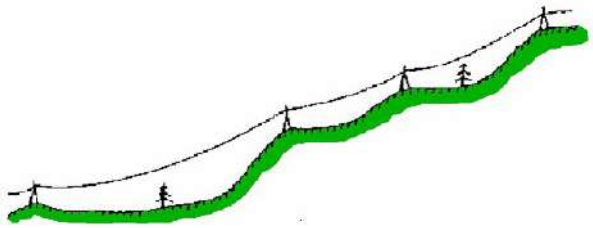


Figura 9.53. Perfil mixto (Marchi 2016).

6.3. *Distancia al suelo o altura del cable portador*

Otro de los aspectos básicos de la instalación que se proyecte es que garantice una altura mínima del cable portador sobre el suelo. Esta altura dependerá de si la carga se traslada de forma suspendida o semisuspendida.

1. Carga transportada de forma suspendida. Es el tipo de arrastre usual en las instalaciones medianas y pesadas (figura 9.54). A la longitud de los árboles o fustes a transportar, entre 4 y 8 m generalmente, hay que añadir 2 m de seguridad en la parte inferior, para evitar el choque con obstáculos que se puedan encontrar sobre la superficie del suelo y 2 m en la parte superior, que se corresponden con la altura del carro y la longitud del gancho y eslinga de carga.

Figura 9.54. Altura del cable portador para el arrastre de forma suspendida (izquierda) (Marchi 2016) y carga transportada de forma suspendida a 40 m de altura (derecha) (Foto: J. Pemán).

2. Carga de forma semisuspendida. Tipo de arrastre usual en las instalaciones ligeras y medianas (figura 9.55). Hay que garantizar una altura del orden de 5 m, para preservar los 2 m que se corresponden con las dimensiones del carro y la longitud del gancho y eslinga de carga y 1 m en la parte inferior libre para evitar el contacto de la sección suspendida de las trozas con el suelo.

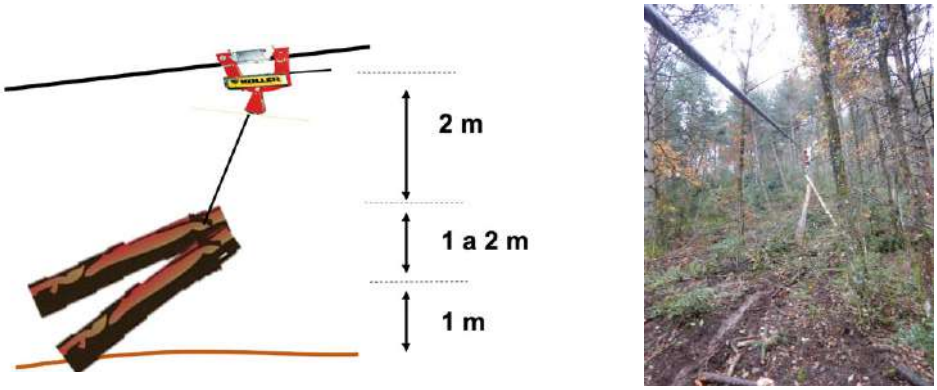


Figura 9.55. Altura del cable portador para el arrastre de forma semisuspendida (izquierda) (Marchi 2016) y arrastre de forma suspendida de fuste enteros. Obsérvese la compactación en la calle (derecha) (Foto: G. Picchi).

6.4. Levantamiento del perfil

El trazado del cable se determinará mediante un análisis del terreno que determine el perfil longitudinal más favorable, la ubicación de la estación motriz y de los soportes principales e intermedios. En el caso de las instalaciones tricable se precisará, también, determinar el recorrido del cable de retorno. Para ello, se necesita de una cartografía detallada que permita determinar los perfiles longitudinales de los trazados previstos (figura 9.56). A partir de ella, en el campo se validará y se determinará el trazado definitivo.

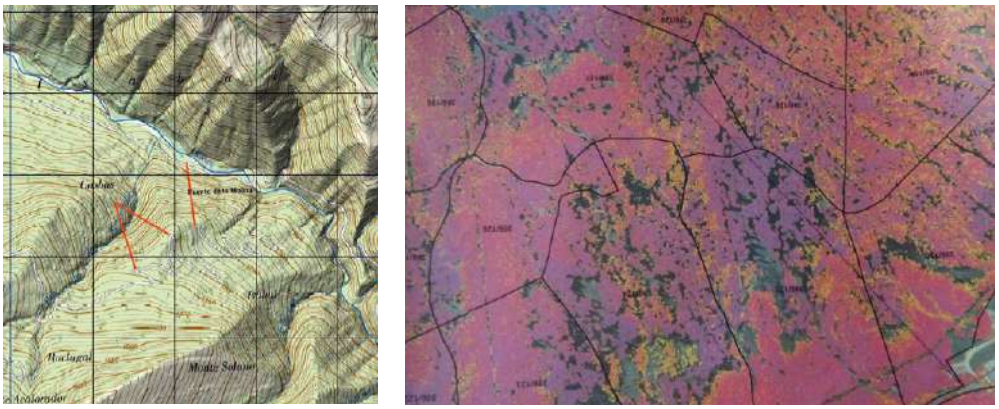


Figura 9.56. Determinación de posibles trazados del perfil sobre un plano altimétrico (izquierda) e imagen LIDAR que permite analizar por donde trazar la calle en función de la madera disponible (derecha).

6.4.1. Trazado de la línea sobre el terreno

Existen diferentes opciones para trazar la línea sobre el terreno. La opción más rápida, práctica y precisa es mediante la brújula topográfica (tipo Wyssen) (figura 9.57).

Figura 9.57. Brújula tipo Wyssen (izquierda) y replanteo de la línea con brújula y cinta métrica y/o telémetro (derecha) (Foto: J. Pemán).

El objetivo de esta operación es trazar una línea que satisfaga las exigencias de la operación de desembosque con el cable grúa (perfil longitudinal, disponibilidad de anclajes, disponibilidad de árboles para la construcción de soportes intermedios, etc.). Posiblemente se necesitará de varios intentos hasta alcanzar el trazado ideal. Hay que tener presente que con la brújula tipo Wyssen se traza mejor hacia arriba que hacia abajo, por lo que es aconsejable proceder desde la parte baja de la ladera hacia la parte alta de la línea (figura 9.58).

Figura 9.58. Operarios realizando el trazado de la línea sobre el terreno con la brújula Wyssen (Fotos: N. Bacardit).

Con la ayuda de un mapa u otro sistema, se parte con un ángulo (azimut) desde el punto bajo de la línea (punto de partida) y se avanza dejando frecuentes señales en el terreno. A menudo, es necesario realizar correcciones en el trazado una vez terminado, incluso durante la operación, para compensar los errores de estima del ángulo y conseguir llegar al punto final esperado. Es importante ser preciso en esta operación. Para tener una referencia, con una desviación de 1° sexagesimal durante 100 m, la desviación del trazado es de 1,75 m. Con la brújula tipo Wyssen un operario con práctica consigue trabajar con una aproximación de medio grado.

Una vez definido el trazado definitivo, este tiene que quedar señalizado de manera evidente, usando piquetas y cintas y señalando todos los árboles que pueden ser útiles para el montaje de la línea (anclajes, soportes intermedios). Las señales tienen que ser visibles, también, en la dirección descendente, porque durante el montaje siempre se desciende (con el cable portador si hay una pista en la parte alta, o con el cable tractor si hay que tirar el cable portador hacia arriba).

6.4.2. *Perfil topográfico del terreno*

Definido el trazado definitivo de la línea sobre el terreno, se procede a realizar el perfil topográfico con el objetivo de estudiar la viabilidad del mismo. El perfil se puede obtener:

1. Mapa topográfico. Para estudios preliminares o para líneas que no presentan dificultades particulares, por ejemplo, líneas de un único tramo que no presentan problemas de concavidad. Se traza la línea definida sobre el terreno en el mapa topográfico y se seleccionan los puntos en los cuales la línea corta con las curvas de nivel. En el mapa se mide la distancia horizontal entre las curvas de nivel, tomando la distancia progresiva desde el origen. El desnivel entre dos puntos contiguos viene dado del valor de la equidistancia entre las curvas de nivel del mapa (tabla 9.18, figura 9.59).

Tabla 9.18. Ejemplo de tabla para realizar el perfil a partir del mapa topográfico (e: equidistancia entre curvas de nivel).

Punto	Desnivel desde el origen (m)	Distancia desde el origen (m)
0	0	0
1	e	d1
2	2e	d2
3	3e	d3
4	4e	d4
...	...	...

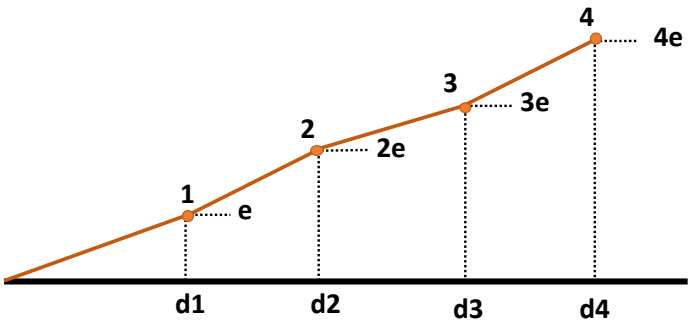


Figura 9.59. Ejemplo de perfil a partir del mapa topográfico.

2. Directamente sobre el terreno. Cuando sea necesario una mayor precisión, con líneas que presentan problemas de concavidades, saltos bruscos, cambios de pendientes o una mejor ubicación de los soportes intermedios. También se anota toda aquella información que puede ser útil para el estudio de la línea (ubicación de posibles árboles para construir soportes intermedios, especie, diámetro, distancia de la línea, etc.) (tabla 9.19, figura 9.60). Para la toma de datos se utilizan:

Tabla 9.19. Ejemplo de tabla para realizar el perfil a partir de medidas sobre el terreno.

Punto	Pendiente (%)	Distancia sobre el terreno (m)
1	p0-1	d0-1
2	p1-2	d1-2
3	p2-3	d2-3
4	p3-4	d3-4

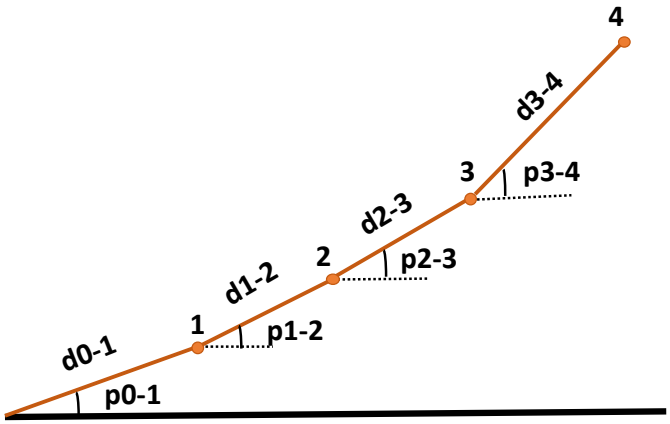


Figura 9.60. Ejemplo de perfil a partir de medidas sobre el terreno.

6.4.3. *Ajustes de la línea*

A partir del perfil del terreno se debe identificar el tipo de línea que se podrá realizar: Línea de un solo tramo o línea de dos o más tramos.

En los dos casos, si es necesario, se deberán definir las alturas mínimas de los soportes principales. En el segundo caso, además, se tendrá que definir la localización y altura mínima de cada soporte intermedio. Hay que recordar que los soportes intermedios tienen que localizarse en cambios de pendiente del terreno y deben tener una altura mínima que permita a la pipa igualar o superar la altura de la cuerda geométrica trazada entre los dos puntos (soporte principal y soporte intermedio) hacia el monte o hacia el valle del soporte intermedio en cuestión.

Los soportes intermedios son necesarios cuando, según los cálculos realizados, entre la trayectoria de la carga y el perfil del terreno no hay suficiente altura. Hay que tener en cuenta que

la altura libre hasta el terreno viene determinada por la longitud de los troncos, aumentando normalmente 2 m para la altura del carro y el gancho de carga y otros 2 m de espacio libre entre la carga y el terreno. Por lo que, para sacar troncos de 4 m, son necesarios por lo menos 8 m de altura libre bajo la línea. Estas distancias variarán en función del diseño de la línea que se realice.

6.5. *Cálculo de la instalación*

Para el proceso de cálculo seguimos el descrito por Fabiano y Marchi (2003), aunque hay que tener presente que existen diferentes programas que facilitan el mismo.

SKYLINE ANALYSIS: USFS PNW Forest Products Programs and Software

SkylineXL: (*Version 15.1*) **(.xlsm file)** SkylineXL is a Microsoft Excel Workbook used to analyze terrain profiles for skyline payload analysis, line tensions, rigging lengths and skyline feasibility. SkylineXL is able to analyze four different skyline configurations; Standing Skyline, Multispan Skyline, Running Skyline and Live Skyline in English or Metric measurement units. SkylineXL includes a database consisting of widely used yarder/tower combinations and carriages along with their respective line lengths, line sizes and other important data. The user has the option within SkylineXL to add custom designed yarders and/or carriages to the database for skyline analysis.

SkylineXL GIS Profile Tool Addin version 4.0 for ArcMap version 10.1: (.zip file) This is an ESRI Add-In utility for ArcMap version 10.1 which will convert your line layer representing skyline terrain profiles or deflection lines into a SkylineXL Profile with elevations taken from your underlying terrain raster layer (either Digital Elevation Model or Lidar are required in the ArcMap Table of Contents).

6.5.1. *Elementos de cálculo*

En el diseño de la instalación de un cable aéreo debemos determinar unos parámetros o elementos que hacen referencia a (figura 9.64) (Fabiano y Marchi 2006): 1) Línea, 2) Tramo o vano, 3) Cable, 4) Puesta en servicio.

1. Elementos de la línea

- Longitud (L')
- Distancia horizontal entre los extremos (L)
- Desnivel entre los extremos (D)

- Pendiente media (D/L)
- Tramos que forman la línea

2. Elementos del tramo o vano

- Cuerda geométrica (c)
- Distancia horizontal entre los extremos (l)
- Desnivel entre los extremos del vano (d)
- Pendiente media (d/l)
- Flecha en el medio con el cable portador descargado (f_{des})
- Flecha complementaria del cable portador en el medio del tramo por el efecto de la carga (a)
- Flecha en el medio del cable portador con la carga máxima (f_{des+a})

3. Elementos del cable

- Tensión de ruptura mínima garantizada del cable (CR)
- Peso del cable por metro (p)
- Elementos de ejercicio o puesta en servicio
- Coeficiente de seguridad (S)
- Factor de carga (f)
- Tensión máxima (T_{max})
- Tensión de montaje (sin carga) (T_{des})
- Peso de la carga máxima (P)

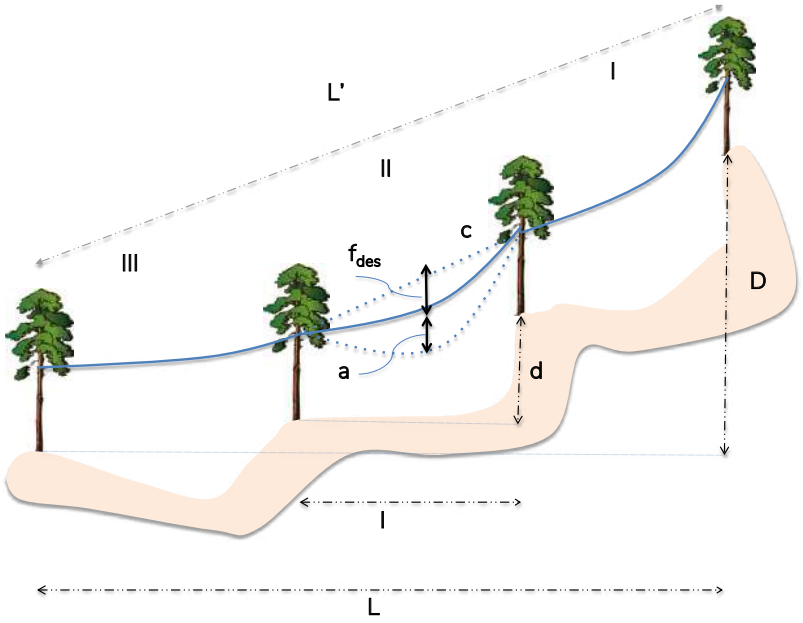


Figura 9.61. Elementos de la línea y de los tramos (modificado de Fabiano y Marchi (2006)).

6.5.2. *Procedimiento de cálculo*

El cálculo de la instalación conlleva la determinación de las siguientes variables: 1) Elección del coeficiente de seguridad (S) y cálculo de la tensión máxima (T_{max}), 2) Cálculo de la tensión de montaje (T_{des}), 3) Elección del factor de carga, 4) Cálculo de la flecha del cable portador en el medio sin carga, 5) Cálculo de la flecha complementaria del cable portador debido a la carga (a), 6) Cálculo de la flecha en el medio del cable portador con la carga máxima (f_{car}), 7) Determinación de la trayectoria del carro cargado y 8) Esfuerzos sobre los soportes.

1. Elección del coeficiente de seguridad (S) y cálculo de la tensión máxima (T_{max}). La tensión máxima determina la tensión que la instalación no debe superar. Se obtiene del coeficiente entre la tensión de ruptura mínima garantizada del cable (CR) y el coeficiente de seguridad. Normalmente se toma como coeficiente de seguridad un valor entre 2,5 y 3,5. Si la estación motriz es del tipo móvil, es probable que cuente con un sistema de seguridad que consiste en aflojar el cable portador cuando se supera una tensión predeterminada. En este caso, se puede usar un coeficiente de 2,5. En caso contrario, o bien, con estaciones motrices tradicionales (estáticas) las cuales no disponen de este sistema, se suele usar un coeficiente de 3.

$$T_{max} = CR / S$$

Para los otros cables utilizados en la instalación, a falta de indicaciones específicas del fabricante, los coeficientes de seguridad recomendados son:

- Cable tractor. Igual o superior a 3 respecto al CR y no inferior a 2 respeto a la fuerza de tracción máxima del motor.

- Cables contravientos. Igual o superior a 3 respeto al CR.

2. Cálculo de la tensión de montaje (T_{des}). Es la tensión que se le da al cable portador sin aplicarle la carga del carro ni la carga de la madera. Dependiendo del número de tramos que componen la línea y su longitud, se consideran unos coeficientes a aplicar respecto a la tensión máxima (tabla 9.20).

Tabla 9.20. Tensiones de montaje según número de tramos de la línea (Fabiano y Marchi 2006).

Número de tramos	Tensión de montaje (T_{des})	
1	3/5 a 2/3 T_{max}	(60-67%)
2 (iguales)	2/3 a 3/4 T_{max}	(67-75%)
≥3 (iguales)	3/4 a 4/5 T_{max}	(75-80%)
≥2 donde un tramo es mayor a >2/3 de la línea	3/5 a 2/3 T_{max}	(60-67%)

Tensiones demasiado bajas, aunque permiten aplicar una mayor carga a la instalación, conllevan inconvenientes desde el punto de vista operativo, en especial para las líneas de diversos tramos. Se desaconsejan tensiones de montaje inferiores a 1/2 T_{max} para líneas de un solo tramo y 2/3 T_{max} para líneas de más tramos.

3. Cálculo del factor de carga (f). De modo aproximado se puede estimar la carga que puede aplicarse a una instalación dependiendo del número de tramos que componen la línea y su longitud (tabla 9.21). La carga se relaciona con la tensión máxima de forma inversa; así, para tensiones menores corresponden cargas mayores. De manera general:

$$f = \left(\frac{1}{7} - \frac{1}{10}\right) \times Tmax$$

Tabla 9.21. Factor de carga según número de tramos de la línea (Fabiano y Marchi 2006).

Número de tramos	Factor de carga	
1	1/9 a 1/10 T_{max}	(0,100-0,110)
2 (iguales)	1/8 a 1/9 T_{max}	(0,110-0,125)
≥3 (iguales)	1/7 a 1/8 T_{max}	(0,125-0,143)
≥2 donde un tramo es mayor a >2/3 de la línea	1/8 a 1/9 T_{max}	(0,110-0,125)

Para conocer que cable es necesario para transportar una cierta carga P, el procedimiento de cálculo se realiza de forma inversa. Conociendo P se obtiene T_{max}. Aplicando el factor de seguridad previamente elegido obtenemos la CR que debe soportar el cable:

$$T_{max} = (7 \text{ a } 10) \times P$$

$$CR = T_{max} \times S$$

4. Cálculo de la flecha del cable portador en el medio sin carga (f_{des}). Una vez conocida la tensión de montaje y el peso de la carga que podemos aplicar a la instalación, se procede al cálculo de la flecha del cable en el punto medio del tramo respecto a la cuerda geométrica, sin carga. Esta información nos permite construir la trayectoria del carro con la carga en un perfil longitudinal.

$$fdes = \frac{p \times c^2}{8 \times Tdes}$$

f_{des} (m): flecha en el medio con el cable portador descargado.

p (kg m^{-1}): peso del cable portador.

c (m): longitud de la cuerda geométrica.

T_{des} (kg): tensión de montaje (sin carga).

Normalmente, la flecha del cable está comprendida:

- Tramos cortos (c=100-200 m). Inferior al 0,5-1% de la longitud del tramo.
- Tramos largos (c=600-1 200 m). Entre 2-4% de la longitud del tramo.

5. Cálculo de la flecha complementaria del cable portador debido a la carga (a). Se calcula a partir de la siguiente expresión:

$$a = \frac{P \times c}{4 \times Tmax}$$

P (kg): peso de la carga máxima.

c (m): longitud de la cuerda geométrica.

T_{max} (kg): tensión máxima (con la carga máxima, es decir, P).

Normalmente la flecha está comprendida:

- Cargas pequeñas (P=1/10 a 1/9T_{max}). Entre 2,5-3% de la longitud del tramo.
- Cargas elevadas (1/8 a 1/7 T_{max}). Entre el 3,5-4,5% de la longitud del tramo.

6. Cálculo de la flecha en el medio del cable portador con la carga máxima (f_{car}). Representa la suma de la flecha del cable portador descargado y la flecha complementaria del cable debido a la carga.

$$f\,car = f\,des + a$$

Normalmente, está comprendida entre el 8% para tramos cortos y cargas ligeras y el 6-8% para tramos largos y cargas elevadas.

7. Determinación de la trayectoria del carro cargado. Sobre el perfil longitudinal del terreno, y teniendo en cuenta la cuerda geométrica trazada entre los soportes principales e intermedios y considerando las alturas mínimas, se determina la trayectoria del carro cargado.

Para ello, con una escala igual para el desnivel y la distancia horizontal, se traza la cuerda geométrica del tramo AB y se obtiene el punto C en el medio. Desde el punto C se baja verticalmente la distancia que se ha calculado anteriormente para encontrar el punto más bajo del tramo D. Se baja otra vez esta distancia para definir E. A continuación, se une el punto E con los extremos del tramo. A partir de aquí, para construir la trayectoria de la carga hay dos métodos:

- Construcción de la trayectoria por puntos o método de la parábola (figura 9.62). Se definen los puntos F y G, puntos medios de los segmentos AE y EB, y se unen. El punto del medio D, que coincide con la flecha cargada, es uno de los puntos de la trayectoria. Se definen los puntos H y L, puntos medios de los segmentos AF y FD, y se unen. Se definen los puntos N y P, puntos medios del tramo DG y GB, y se unen. Los puntos medios de los segmentos HL (M) y NP (O), son los otros dos puntos de la trayectoria. Se puede continuar con este sistema hasta obtener la precisión adecuada.

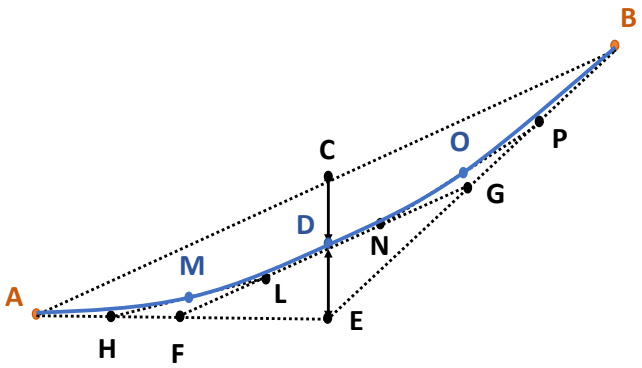


Figura 9.62. Ejemplo gráfico de la construcción de la trayectoria por puntos.

- Construcción de la trayectoria por envoltura (figura 9.63). Se dividen los tramos AE y EB en un número de partes iguales (en el ejemplo 4) y se juntan entre ellos los puntos correspondientes. La trayectoria es tangente al polígono resultante.

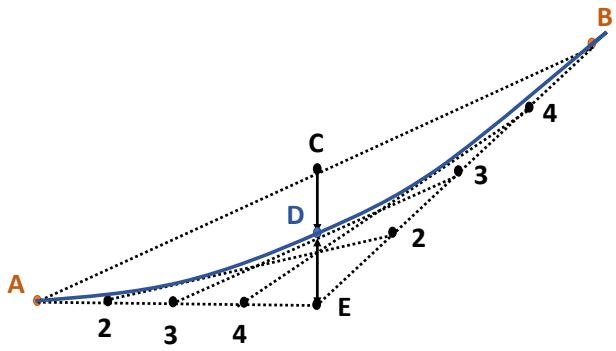


Figura 9.63. Ejemplo gráfico de la construcción de la trayectoria por envoltura.

El cálculo de la trayectoria del cable cargado también se puede realizar mediante la utilización de programas específicos (figura 9.64).

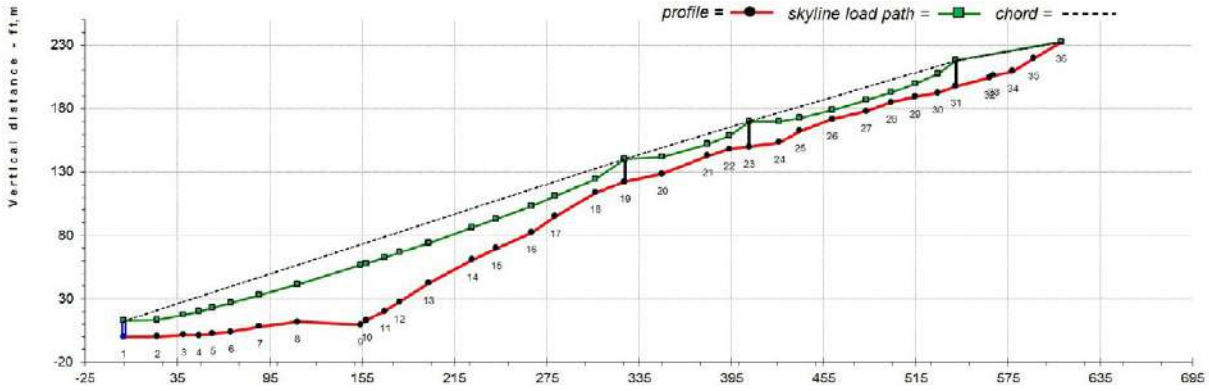


Figura 9.64. Ejemplo de cálculo de la trayectoria del carro cargado (línea verde) sobre el perfil del terreno (rojo). La cuerda geométrica de la línea se representa por la línea de puntos. Resultado obtenido con SkylineXL 15.1 del USDA Forest Service.

8) Esfuerzos sobre los soportes. La fuerza máxima (F) sobre la pipa del soporte intermedio viene dado por la suma de 3 componentes:

T: componente de la tensión de montaje (sin carga).

pf: el peso del cable portador desde la mitad de la longitud de los tramos adyacentes al soporte.

P: el peso de la carga.

- Componente de la tensión de montaje (T). Esta componente aumenta con el ángulo (α) que forman las dos tangentes del cable portador, sin carga, sobre la pipa. Dibujando sobre las dos tangentes la tensión de montaje en la misma escala, se obtiene la tensión sobre la pipa con la componente de la fuerza. El valor de esta tensión se determina mediante la siguiente ecuación: (figura 9.65, tabla 9.22):

$$T = 2 \times Tdes \times sin\ \alpha/2$$

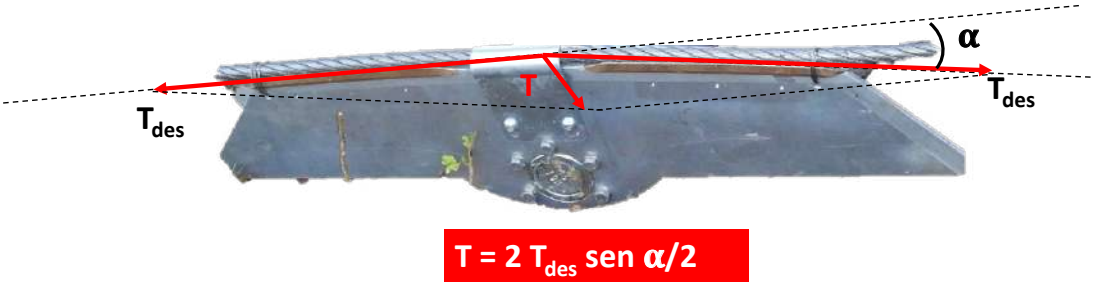


Figura 9.65. Ejemplo gráfico de obtención de la componente y la fuerza de la tensión de montaje sobre la pipa.

Tabla 9.22. Presión sobre la pipa (en kg) en función del ángulo del cable portador y de la tensión de montaje (Tdes).

Ángulo α sobre la pipa (°)	Tensión de montaje (kg)							
	2000	4000	6000	8000	10000	12000	14000	16000
2	70	140	209	279	349	419	489	559
4	140	279	419	559	698	838	978	1 117
6	210	419	629	838	1 048	1 257	1 467	1 676
8	279	559	838	1 118	1 397	1 677	1 956	2 236
10	350	699	1 049	1 398	1 748	2 097	2 447	2 796
12	420	839	1 259	1 679	2 098	2 518	2 938	3 357
14	490	980	1 470	1 960	2 450	2 939	3 429	3 919
16	560	1 121	1 681	2 241	2 802	3 362	3 922	4 483
18	631	1 262	1 893	2 524	3 155	3 785	4 416	5 047
20	702	1 403	2 105	2 807	3 508	4 210	4 912	5 613
25	880	1 759	2 639	3 518	4 398	5 278	6 157	7 037
30	1 059	2 118	3 178	4 237	5 296	6 355	7 414	8 474
35	1 241	2 482	3 722	4 963	6 204	7 445	8 686	9 927
40	1 425	2 850	4 274	5 699	7 124	8 549	9 974	11 398
45	1 611	3 223	4 834	6 446	8 057	9 669	11 280	12 892
50	1 801	3 602	5 404	7 205	9 006	1 0807	12 609	14 410
55	1994	3 989	5 983	7 978	9 972	11 967	13 961	15 955
60	2191	4 383	6 574	8 766	10 957	13 148	15 340	17 531

Los ángulos superiores a los 20° comprometen los soportes de los extremos.

- Peso del cable portador (pf). Corresponde al peso del cable que se apoya en el soporte. Se calcula multiplicando el peso unitario por metro del cable por la longitud desde la mitad de los tramos adyacentes. Para la longitud se puede tomar la de la cuerda geométrica, dado que varía de la longitud real menos del 1%.

- Peso de la carga (P). Corresponde al peso de la carga máxima prevista según el factor de carga previamente elegido. Este peso considera el peso del carro con todos los accesorios y el peso efectivo de la carga útil (troncos).

7. Montaje y desmontaje

De las fases de montaje y desmontaje de las instalaciones depende en gran parte el rendimiento final de las operaciones de desembosque. Para cables de gran dimensión esta fase es compleja, porque suelen ser instalaciones de movilidad reducida en las cuales el papel predominante de la seguridad implica un montaje preciso. Por otro lado, para cables ligeros o pequeños, la mayor relevancia de esta fase recae en el elevado porcentaje de tiempo que puede llegar a comportar, por lo que la organización y la experiencia son básicas, siendo fundamental la eficiencia en el montaje.

7.1. Montaje

El montaje se inicia una vez terminada la fase de planificación y antes o después de la fase de corta. Se puede dividir en dos fases:1) Preparación previa al montaje, 2) Instalación o montaje propiamente.

El procedimiento a seguir para la preparación previa al montaje está pautado y consiste en una serie de operaciones que deben respetarse (tabla 9.23).

Tabla 9.23. Fases de la preparación previa al montaje.

Fases	Características
Marcaje de la calle	Delimitación de la zona por donde debe pasar la calle de desembosque
Selección de soportes principales y elección de los anclajes	Determinación de los árboles o cepas de dimensiones suficientes y bien ancladas al terreno, o bien, planificación de anclajes artificiales
Elección de los soportes intermedios, si son necesarios	
Apertura de calles de desembosque y de la línea de retorno si conviene	Por parte del equipo de corta
Preparación de líneas auxiliares para el montaje	Colocación a lo largo de la línea prevista el cable auxiliar

Independientemente de la instalación del cable a utilizar, existen una serie de operaciones genéricas y comunes que hay que realizar para el montaje de un cable aéreo (tabla 9.24, figuras 10.66 y 10.67).

Tabla 9.24. Operaciones a realizar para el montaje de un cable aéreo. *En rojo, las fases que se pueden realizar durante o antes del montaje (conjuntamente con la preparación del cable) dependiendo de la operatividad del montaje según la medida del cable.

Procedimiento para el montaje*	Características
Estacionamiento y anclaje de la estación motriz	Colocación de los vientos. Extensión de la torre, si es debido.
Montaje y preparación de los anclajes y soportes principales	Colocación de las correas, poleas y otros elementos de sujeción.
Montaje y preparación de soportes intermedios	
Extendido del cable auxiliar o de montaje, si es necesario	En sistemas pesados, para poder después extender el cable principal con menor esfuerzo.
Extendido de los cables de la instalación (cable portador, cable de tracción y cable de retorno)	Se pasan los cables principales por los elementos de sujeción.
Anclajes y tensionado del cable portador	Enrollado del cable portador hasta tensarlo provisionalmente. Tensionado de los contravientos de los soportes intermedios.
Fijación de los cables de tracción y/o de retorno al carro	Montaje del carro.
Comprobaciones de la correcta posición de los cables de la instalación	Repaso para asegurarse que ningún cable se cruza o se engancha a lo largo de la instalación.
Ajustes de la tensión del cable portador	Tensionado definitivo del cable vía, según la tensión máxima admisible calculada en gabinete.
Control de accionamiento del equipo motor	Activación del sistema para mover el carro. Repaso para asegurarse el correcto paso del carro por la/s pipa/s.
Desplazamiento del carro	Emplazamiento del carro a la zona de carga.
Posicionamiento del personal	Emplazamiento del personal a las diferentes zonas del aprovechamiento para sus respectivas tareas.

El extendido de los cables se puede realizar de dos formas:

- Directa. La extensión del cable principal se realiza tirando manualmente por uno de sus extremos. Se usa para el montaje de cables ligeros y se hace de manera fácil y rápida.

- Indirecta. El cable principal se extiende utilizando un cable auxiliar de menor diámetro. Sirve para facilitar la extensión de los cables principales. Ahorran un esfuerzo físico considerable y una pérdida de tiempo importante para el equipo humano. Se caracterizan por tener un diámetro y un peso menor que el del cable principal que después se extiende. Pueden estar incorporados en las estaciones motrices. Existe la posibilidad de extenderlos mediante cabrestantes portátiles (figura 9.68).

Figura 9.66. Montaje de los soportes principales. Extendido del cable de montaje y extendido de los cables principales (Fotos: N. Bacardit).

Figura 9.67. Proceso de montaje del carro en el cable portador (Fotos: X. Piqué).

Figura 9.68. Cabrestante portátil utilizado extender el cable portador (Foto: J. Pemán).

7.2. Desmontaje

En el desmontaje de la instalación se pueden distinguir diferentes etapas (tabla 9.25).

Tabla 9.25. Procedimiento para el desmontaje.

Procedimiento para el desmontaje	Características
Emplazamiento del carro a la estación motriz	Colocación del carro cerca de la estación motriz y/o del punto de descarga, para desmontarlo posteriormente en una zona cercana y accesible, y evitar su desplazamiento manualmente
Destensionado de los cables principales	Se aflojan los cables y se retiran las poleas
Desmontaje del carro	Se desengancha el carro del cable portador
Enrollamiento de los cables	Se recogen los cables principales en los tambores correspondientes
Desmontaje de las poleas y anclajes	Se quitan las correas, vientos y poleas, etc. dispuestos a lo largo de la línea
Revisión de la zona	Se comprueba *in situ* recorriendo toda el área, para asegurar que se han retirado todos los elementos

8. Productividad y costes

Para el cálculo de costes horarios se pueden utilizar algunos tarifarios o bases de datos de maquinaria. Como ejemplo de coste de estaciones bicables de remolque se calcula el coste horario y el coste unitario de desembosque para el modelo Siberian, de la empresa Greifenberg, suponiendo 500 h de trabajo al año con un rendimiento de 3 400 m^3 extraídos (tabla 9.26).

Tabla 9.26. Coste horario y unitario del modelo de estación motriz Siberian de Greifenberg para diferentes años de amortización y suponiendo 500 h de trabajo al año con un rendimiento de 3 400 m^3 extraídos.

Costes	Años de amortización		
	3	5	8
Coste de adquisición (€)	76 000	76 000	76 000
Valor amortización anual (€)	10 333,33	8 200	6 375
Valor residual (€)	45 000	35 000	25 000
Coste mantenimiento anual (aceites y filtros) (€)	600	600	600
Coste carburante (gasoil 1,7 € l^{-1}; consumo 2,5 l h^{-1}) (€)	2 125	2 125	2 125
Coste cable portador (1 000 h) (€)	950	950	950
Coste cable tractor (3 000 h) (€)	735	735	735
Coste horario (€ h^{-1})	29,49	25,22	21,57
Coste unitario (€ m^{-3})	3,84	3,49	3,17

Al coste de la estación motriz hay que añadir el coste del carro que se elija. En el caso del ejemplo, se puede combinar el modelo Siberian con el carro CRG 15 de la misma casa comercial (tabla 9.27).

Tabla 9.27. Coste horario y unitario del carro CRG15 de Greifenberg y suponiendo 500 h de trabajo al año con un rendimiento de 3 400 m^3 extraídos.

Costes	Años de amortización		
	3	5	8
Valor de adquisición (€)	17 829	17 829	17 829
Valor amortización anual (€)	2 276,33	1 765,8	1 353,62
Valor residual (€)	11 000	9 000	7 000
Valor mantenimiento anual (aceites, filtros, etc) (€)	150	150	150
Coste horario (€ h^{-1})	4,85	3,83	3,01
Coste unitario (€ m^{-3})	0,71	0,56	0,44

La mayoría de los modelos de productividad utilizan la longitud del desembosque, pero también pueden considerar otras variables como el arrastre lateral o la carga media (Lindroos y Cavalli 2016). Algunos de los valores medios para las diferentes fases de la instalación son:

- Montaje. Para el caso de un sistema bicable con la estación motriz en la parte baja y una cuadrilla de 3 a 5 operarios, 2-3 y 4-5 días. Es función de la longitud de la línea, del tipo de instalación y de la ubicación de la estación motriz. Los valores oscilan entre 5 y 10 h para instalaciones de 150 m y de 13 a 22 h para una línea de 500 m. En una revisión realizada sobre 296 publicaciones científicas, Antonioli (2015) estima tiempos de montaje medios de 6 h para instalaciones de 200 m y de 12,5 h para instalaciones de 600 m.

- Servicio. La productividad del desembosque estará en función del número de viajes al día y de la carga media de cada uno de esos viajes. Esta carga media puede oscilar de 0,5 a 1 m^3 para madera de medianas dimensiones y entre 1 y 1,5 m^3, para madera de grandes dimensiones. Dependerá de la distancia de desembosque, de la distancia y dificultad de la concentración de la carga y de la eficiencia de los operarios. Un valor medio de viajes al día es de 30 a 50 con un mínimo de 20 y un máximo de 80.

- Desmontaje. El tiempo de desmontaje suele ser un tercio o un cuarto del montaje. Antonioli (2015) estima tiempos de desmontaje medios de 4 h para instalaciones de 200 m y de 6 h para instalaciones de 500 m.

En una prueba piloto de manejo de utilización de un cable ligero (modelo Mounty 4000 con un carro Liftliner 4000 y un cabezal procesador Woody 400) en un monte de la Garrotxa se realizó una instalación con las siguientes características (Domenjo 2011):

- Cable portador de 500 m (diámetro 12 mm).

- Cable tractor 650 m (diámetro 12 mm).

- Cable elevación 100 m (diámetro 12 mm).

- Peso carro 850 kg.

El volumen medio de cada árbol extraído fue de 0,4 a 0,5 m^3 y se realizó una corta sanitaria donde el método de apeo fue manual con motosierra. Se desemboscó mediante el cable el árbol entero y luego fue procesado con la procesadora integrada en la estación motriz móvil. Los rendimientos y costes obtenidos en la prueba fueron:

- Tiempo de montaje: 270 min $línea^{-1}$.

- Tiempo de desmontaje: 190 min $línea^{-1}$.

- Rendimiento productivo: 5 m^3 $hora\ productiva^{-1}$.

- Rendimiento general: 50 a 60 m^3 $día^{-1}$.

- Coste trabajos: 37 € t^{-1}.

- Coste desembosque: 5 € t^{-1}.

9. Bibliografía

Cavalli R, Mezzaro P (1996a) I carregli per gru a cavo: stato attuale e possibili evoluzioni (primera parte). Sherwood 12:23-27.

Cavalli R, Mezzaro P (1996b) I carregli per gru a cavo: stato attuale e possibili evoluzioni (seconda parte). Sherwood 13:23-28.

Domenjo I (2011) El cable aeri: un nou concepte dels aprofitaments forestals. Catalunya For 106:6-11.

Fabiano F, Marchi E (2006) Note pratiche sul dimensionamento di grua a cabo forestale. Compagnia delle Foreste, Florence.

Fabiano F, Neri F, Plegal F, et al. (2014) Filiera bosco-legno-energia, elementi di sicurezza sul lavoro: cippatrici, gru a cavo e harvester. Servizio Sanitario della Toscana, Todi.

FITEC (2005) Best practice guidelines for cable logging. New Zeland.

Harrill H (2014) Improving cable logging operations for New Zealand ' s steep terrain forest plantations. University of Canterbury.

Heinimann H, Stampfer K, Loschek J, Caminada L (2001) Perspectives on Central european cable yarding systems. Int. Mt. Logging 11 th Pacific Northwest skyline Symp. Seattle, p 9.

Juanati C, Rodriguez J, Piqué M, Tolosana E (2004) Desembosc amb cable aeri. Centre Propietat Forestal, Barcelona.

Marchi E (1998a) Caratteristiche tecniche degli argani per gru a cavo commercializzati o prodotti in Italia (Primera parte). Sherwood 34:41-47.

Marchi E (1998b) Caratteristiche tecniche degli argani per gru a cavo commercializzati o prodotti in Italia (Seconda parte). Sherwood 35:33-39.

Mato A (2018) El ferrocarril del Semeldón. Abomey Maquetrem, Madrid.

Maza de la J (1964a) El empleo del cable en las explotaciones forestales (I). Rev. AITIM 8.

Maza de la J (1964b) El empleo del cable en las explotaciones forestales (II). Rev. AITIM 9.

Maza de la J (1965) El empleo de los cables en las explotaciones forestales (IV). Rev. AITIM 12.

Olarrieta O (1923) El cable forestal de Cuenca. España For 91:105-107.

Rodríguez Arregui A (1964) Explotación forestal por medio de teleféricos. Montes 115:25-28.

Rubio J (1968) Las explotaciones forestales de la Red Nacional de Ferrocarriles Españoles. Montes 125:127-133.

Spinelli R, Magagnotti N, Lombardini C (2010) Performance, Capability and Costs of Small-Scale Cable Yarding Technology. Small-scale For 9:123-135. doi: 10.1007/s11842-009-9106-2.

Valladares A (1970) Manual de teleféricos forestales. Madrid.

Varch T, Erber G, Visser R, et al. (2021) Advances in Cable Yarding: A Review of Recent Developments in Skyline Carriage Technology. Curr For Reports 7:181-194. doi: 10.1007/s40725-021-00150-x.

Wimmer J, Hammond T, Fehrenbacher P, Lulay M (2010) Yarding and loading handbook. Oregon OSHA.

Worksafe (1993) Cable yarding systems handbook, 2006.ª ed. WorksafeBC.

Capítulo 10

Los residuos de la corta y del procesado del árbol

Jesús Pemán García

1. Introducción

Tradicionalmente, en los Pliegos de Condiciones de los aprovechamientos madereros en los montes gestionados por la Administración forestal se indicaba literalmente la necesidad de limpiar el área de corta de los despojos de corta. Para esta limpieza se contemplaba la quema o la trituración (BOE 1975). Este término, ya en desuso, actualmente ha sido sustituido por el de residuo, aunque también es frecuente el uso del término resto. En la actualidad, las disposiciones sobre los residuos de la corta y procesado se establecen en los Pliegos de Prescripciones Técnico-Facultativas Especiales o Particulares o en algunas normas elaboradas por las CC.AA.

Ejemplos de esta disposiciones se pueden encontrar en la Resolución de 16 de mayo de 2013, por la que se aprueba el Pliego Especial de Condiciones Técnico-Facultativas para la ejecución de aprovechamientos maderables en montes gestionados por el Departamento competente en materia de gestión forestal del Gobierno de Aragón, que establece (condición vigésimo octava):

- "En caso de procederse a la quema deberán respetarse todas las disposiciones en materia de prevención de incendios forestales. La quema de los mismos precisará de la eventual autorización de la Administración Forestal, no suponiendo en ningún caso la adjudicación, entrega del aprovechamiento o emisión de licencia de disfrute autorización respecto a la quema.

- Los restos no podrán acumularse en zonas pobladas de vegetación, especialmente en las proximidades de los márgenes de ríos, arroyos y acequias, o fuera de la superficie objeto del aprovechamiento.

- En ningún caso se apilarán sobre tocones, piedras u obstáculos duros, ni en puntos en los que exista regeneración de cualquier tamaño. Tampoco a tal distancia de los árboles más próximos que se dificulte su posterior trituración.

- Se tomarán las medidas establecidas por el personal del Servicio Provincial correspondiente para evitar posibles procesos erosivos.

- Los Servicios Provinciales correspondientes podrán determinar la obligación de realizar eliminaciones parciales de los residuos con anterioridad a la terminación del aprovechamiento en casos de riesgo de avenida o de plagas, con objeto de prevenir posibles daños a terceros o al propio monte por plagas o por el arrastre de los residuos por las aguas y para prevenir otro tipo de daños.

- El adjudicatario será responsable de los daños y afecciones producidos por residuos, trozas o leñas no retirados o eliminados y arrastrados por la avenida o que sean causa de plagas".

Otro ejemplo lo constituye la Orden 10/2015, de 8 de abril, de la Consellería de Infraestructuras, Territorio y Medio Ambiente, por la que se regulan los aprovechamientos forestales en la Comunitat Valenciana. En ella se establece que:

- "Los restos procedentes de trabajos selvícolas o aprovechamientos forestales no podrán, en ningún caso, depositarse en una franja de 10 metros de anchura a cada lado de los caminos forestales (art 30.2).

- Antes de dar por finalizado el aprovechamiento, se retirarán o eliminarán todos los restos vegetales que no hayan sido objeto del mismo cuando haya un riesgo manifiesto de plagas o incendios, o cualquier otro que pueda afectar negativamente a la estabilidad del ecosistema. De no desear su extracción, se podrán astillar o triturar, debiendo esparcirlos de acuerdo con las indicaciones que se den por parte de la dirección territorial competente (art.31)".

2. El residuo de la corta y del procesado del árbol

El residuo está constituido por las partes del árbol que quedan sobre el área de corta o sobre el cargadero una vez aprovechado el mismo, debido a que no tienen valor comercial. El residuo de corta lo suele componer (figura 10.1):

- Las ramas finas y gruesas. Separadas del fuste en la operación de desramado.

- El raberón. Es el residuo de la copa, separado del fuste en la operación de descopado. El raberón lo compone la parte del fuste que no tiene aprovechamiento comercial y viene determinado por el diámetro mínimo o diámetro en punta delgada, que delimita el fuste con aprovechamiento comercial.

Aunque la mayoría veces no se tiene presente, el tocón es otro residuo de la corta. Sobre el mismo, normalmente, no se establece ningún tipo de actuación, salvo que corresponda a una especie capaz de rebrotar de cepa y su rebrote no interese.

Según el método de aprovechamiento elegido depende la cantidad del residuo y su ubicación en el monte (tabla 10.1).

Figura 10.1. Residuos de corta en el aprovechamiento de una chopera de *Populus* x *euramericana* (Foto: A. Aunós).

Tabla 10.1. Tipo de resto de corta y lugar donde su ubica según el método de aprovechamiento

Método aprovechamiento	Tipo de residuo	Lugar
Árbol completo	Ninguno / Ramas y raberón	Cargadero o pista
Fuste entero	Ramas y raberón	Área de corta
Madera corta	Ramas y raberón	Área de corta

En los aprovechamientos de árbol completo cuyo destino es la producción de astilla no se genera ningún residuo forestal, aunque este aspecto puede tener en ocasiones efectos negativos en el balance de nutrientes y en su influencia sobre el regenerado o el riesgo de erosión, especialmente sobre las superficies afectadas por incendios forestales (figura 10.2).

Figura 10.2. Árboles completos en cargadero con destino a producción de astilla en un monte quemado (izquierda) y estado de una ladera quemada donde se ha aprovechado el árbol completo (derecha) (Fotos: J. Pemán).

La decisión sobre la actuación a desarrollar sobre los residuos de corta está condicionada por varios factores, entre los que se pueden destacar: 1) Coste económico, 2) Balance de nutrientes

del suelo, 3) Riesgo de erosión, 4) Influencia sobre el regenerado posterior, 5) Accesibilidad para el tratamiento en el monte, 6) Concentración de carga de combustible muerto, 7) Riesgo fitosanitario, 8) Aspecto social, si no se realiza se dificulta el uso público en el monte y aumenta la concentración del combustible muerto.

2.1. Balance de nutrientes en el suelo

El balance de nutrientes en el suelo forestal está condicionado por los procesos de alteración de la roca, la mineralización de la materia orgánica, la deposición por precipitación, la lixiviación, el escurrimiento superficial o las extracciones como consecuencia de los aprovechamientos forestales. El nivel de nutrientes extraídos como consecuencia del aprovechamiento forestal depende de la especie forestal, el modelo selvícola, el turno de corta o el método de aprovechamiento. Atendiendo a la concentración de nutrientes acumulados en las diferentes fracciones de la biomasa aérea (hojas, ramillos, ramillas finas, ramas gruesas, corteza, madera) de las diferentes especies forestales, los principales macronutrientes concentrados en las diferentes fracciones que componen el residuo de corta oscilan entre el 70 y 80% del total (tabla 10.2) (Rodriguez-Soalleiro et al. 2004).

Tabla 10.2. Concentración de nutrientes (mg g^{-1}) en las diferentes fracciones de biomasa aérea de las especies *Eucalyptus globulus* (EG), *Pinus radiata* (PR) y *Pinus pinaster* (PT) (Rodriguez-Soalleiro et al. 2004).

Nutrientes	Especies	Hojas	Ramillos	Ramas finas	Ramas gruesas	Corteza	Madera
N	EG	14,8	6,1	3,9	3,5	4,5	1,6
	PR	14,3	5,1	3,2	1,8	3,0	0,8
	PT	15,2	6,9	4,5	2,7	3,7	1,5
P	EG	0,55	0,35	0,20	0,18	0,20	0,09
	PR	0,86	0,45	0,35	0,22	0,14	0,11
	PT	0,53	0,34	0,21	0,11	0,11	0,06
K	EG	3,8	3,9	2,2	1,7	2,5	0,7
	PR	5,47	2,82	2,05	1,46	1,91	0,71
	PT	3,4	2,5	1,7	0,9	0,9	0,7
Ca	EG	6,34	8,16	3,29	2,21	6,63	0,60
	PR	1,69	1,38	0,69	0,55	1,08	0,32
	PT	1,46	2,68	2,52	1,48	0,93	0,53
Mg	EG	1,84	1,49	0,92	0,78	2,44	0,18
	PR	0,75	0,62	0,47	0,40	0,55	0,20
	PT	1,04	0,95	0,74	0,59	0,41	0,26

Efecto de la selvicultura en la extracción de nutrientes a lo largo del turno en plantaciones de tres especies de crecimiento rápido en el norte de España

Rodriguez-Soalleiro R, Balboa M, Álvarez-González J., et al. (2004) Efecto de la selvicultura en la extracción de nutrientes a lo largo del turno en plantaciones de tres especies de crecimiento rápido en el norte de España. Investig Agrar Sist y Recur For **FS:114–126.**

El creciente interés por utilizar la biomasa no maderable hace que sea necesario discutir las posibles implicaciones del aprovechamiento de estas fracciones en la economía nutricional del sistema forestal. En la figura 3 y en las tablas incluidas en el anexo se muestra la acumulación de nutrientes en las distintas fracciones de biomasa aprovechables (madera, corteza, ramas gruesas), así como en el resto de las fracciones (ramas finas, ramillos y acículas), lo que permite considerar cuatro posibilidades distintas de extracción: madera exclusivamente, madera y corteza, madera, corteza y ramas gruesas o bien extracción total de todas las fracciones. Es en el eucalipto donde la influencia de las fracciones extraídas es más acusada, particularmente en el caso de Ca y Mg, y en particular para la fracción de corteza. Este resultado indica la relevancia que la extracción de la corteza de eucalipto tiene desde el punto de vista nutricional, aspecto ya puesto de manifiesto por muchos autores, y generalizable a todos los eucaliptos de corteza fina (Judd et al., 1996; Herbert, 1996). De la simulación realizada se deriva que una extracción adicional de ramas gruesas queda sobradamente compensada por el esparcido de la corteza en el área de corta, ello para los cuatro nutrientes analizados. En pino radiata la acumulación de nutrientes en la corteza también resulta importante, particularmente en el caso de Ca y K. La retirada adicional de ramas gruesas queda asimismo compensada por el esparcido de la corteza, para todos los nutrientes. La operación de descortezado en monte sería una práctica aconsejable en eucalipto y pino radiata, siendo esta práctica muy frecuente en los eucaliptales sudafricanos (Herbert, 1996). Para la primera especie, el empleo de cosechadoras conlleva esa operación, aunque en la mayoría de los casos la madera entra en fábrica con corteza, descortezándose en parque, o incluso se emplea madera sin descortezar en el proceso de producción (líneas de tablero MDF que emplean eucalipto). La importante cantidad de fósforo retirada en el caso de *Eucalyptus globulus* y *Pinus radiata* no se puede reducir sensiblemente con el tipo de aprovechamiento, ya que la mayor parte del P de la biomasa arbórea se localiza en la madera (61,5% en eucalipto y 59,3% en pino radiata). Puesto que el aporte de P por alteración y deposición atmosférica es muy bajo, su suministro debería asegurarse mediante fertilización. La proporción de nutrientes acumulados en las fracciones de ramas finas, ramillos y acículas es superior en *Pinus pinaster* a las de las otras dos especies, por lo que en este caso los tipos de aprovechamiento simulados tienen menor importancia relativa en la extracción de nutrientes. La corteza presenta una reducida acumulación de nutrientes, pero la retirada de ramas gruesas tiene un efecto importante en la extracción de Ca y Mg. Los datos son indicativos del elevado impacto que la tradicional práctica, hoy día en abandono, de extracción de toda la biomasa del pinar, incluidas las acículas o incluso el mantillo, presentaba de cara a la sostenibilidad del aprovechamiento (Dambrine et al., 2000). Los cálculos sobre pérdida de nutrientes deben considerar que un tratamiento de quema de los restos de corta puede suponer la pérdida de buena parte de los nutrientes contenidos en las fracciones que quedan en el área de corta, derivado de pérdidas atmosféricas de elementos volátiles y pérdidas por lixiviación y erosión. Así, Judd (1996) indica que con fuegos de elevada intensidad pueden ocurrir pérdidas del 50% de P, y 60% de K, Ca y Mg, mientras que un fuego ligero daría lugar a pérdidas del 20% de cada uno de esos elementos con respecto a las cantidades en los restos de cortas. Se trata por tanto de un efecto importante que puede descompensar una buena elección del régimen selvícola y de las fracciones aprovechadas, si bien actualmente se emplea de forma escasa.

2.2. *Influencia en el riesgo de erosión y en el regenerado en superficies afectadas por incendios*

Las superficies afectadas por incendios forestales son muy vulnerables a diferentes procesos de degradación, entre los que está la erosión superficial, a los que puede contribuir de manera decisiva el método de aprovechamiento forestal elegido. Dejar los residuos de la corta y procesado esparcidos sobre la superficie del suelo contribuye al aumento de la rugosidad del mismo y a retener el arrastre de sólidos por los flujos laminares que se generan en estos suelos desprovistos de vegetación (Shakesby *et al*. 1994).

Asimismo, dejar los residuos de la corta y procesado, ramas y copa, distribuidos por la superficie pueden contribuir a mejorar las condiciones del lecho de germinación, al reducir la insolación, temperatura y pérdida de humedad del suelo, favoreciendo una mejora en las tasas de germinación (Castro *et al*. 2011; Leverkus *et al*. 2012). En *Pinus pinaster* se ha puesto en evidencia que dejar los restos de corta, triturados y distribuidos sobre la superficie del suelo ha contribuido a un aumento considerable en la densidad del regenerado (Madrigal et al. 2007).

Salvage logging versus the use of burnt wood as a nurse object to promote post-fire tree seedling establishment

Castro J, Allen CD, Molina-Morales M, et al. (2011) Salvage logging versus the use of burnt wood as a nurse object to promote post-fire tree seedling establishment. Restor Ecol **19:537–544.**

Implications for practice

- The burnt trees that remain after a fire may play an important role in ecosystem regeneration, structure and function. Post-fire salvage logging thus has a variety of impacts on multiple different ecosystem structural patterns and processes.
- Even when salvage logging is considered necessary or desirable (e.g., for economic reasons), options exist to mitigate environmental impacts by leaving part of the burnt wood in situ, particularly branches and other nonprofitable coarse woody debris.
- Branches left in situ reduce surface solar radiation, surface solar temperature extremes, and increase soil moisture. This may reduce water deficit for seedlings (either naturally established or planted), generating a process of facilitation with high potential to benefit vegetation restoration in water-stressed ecosystems.
- Use of branches as ground cover also offers the advantage of facilitating increased tree regeneration without adding underground root competition. Thus branches act as nurse objects that may assist forest restoration.

3. La gestión de los residuos de corta

Las alternativas técnicas que se han venido desarrollando en la gestión de los residuos de corta es muy variada. En los Pliegos de Prescripciones Técnico-Facultativas Particulares de los aprovechamientos se recoge desde la no actuación hasta su astillado. Básicamente, las opciones que se contemplan son las siguientes: 1) No actuación, 2) Mínima actuación, 3) Acordonado y quema de los residuos, 4) Acordonado y triturado de los residuos sobre el suelo, 5) Astillado de los residuos (tabla 10.3).

1. No actuación. El residuo queda sobre la superficie de corta después de las operaciones de desramado y descopado. Posteriormente no se realiza ningún tratamiento del mismo.

2. Mínima actuación. Comprende diferentes actuaciones, como el fraccionamiento de los residuos entre 0,5 y 2 m de longitud, quedando estos distribuidos de forma dispersa sobre el área de corta, o el pisoteo de los mismos por el paso de la maquinaria al colocar estos en las calles de desembosque (figura 10.3).

Figura 10.3. No actuación sobre los residuos de corta (izquierda) y mínima actuación por el paso de la maquinaria por las calles de desembosque (derecha) (Fotos: J. Pemán).

3. Acordonado o amontonado y quema de los residuos. Hoy es una actuación en desuso que fue ampliamente utilizada en el norte peninsular después de la corta a hecho. También se utiliza después de la corta final en choperas.

4. Acordonado y triturado de los residuos sobre el suelo. Es una práctica bastante utilizada, al menos, en zonas mecanizables. Se utiliza una desbrozadora de martillos, flotantes o fijos, acoplada a un tractor de cadenas o ruedas.

5. Astillado de los residuos. Operación no muy habitual, que consiste en la utilización de una astilladora acoplada al tractor de ruedas que realiza el astillado en cargadero o en las proximidades de las pistas forestales.

Tabla 10.3. Tipo de tratamiento de residuos por Comunidad Autónoma (adaptado de Almagro et *al*. 2001).

Comunidad Autónoma	Tratamiento	Equipos o técnica de ejecución
Andalucía	Triturado (70%) Astillado (25%) Quema (5%)	Desbrozadora martillos Astilladora sobre tractor
Aragón	Sin tratamiento (25%) Trituración (50%) Trituración y quema (25%)	Desbrozadora de martillos
Asturias	Sin tratamiento (60%) Amontonado (10%) Quema (30%)	Manual
Baleares	Triturado (90%) Quema (10%)	Desbrozadora de cadenas
Canarias	Sin tratamiento (10%) Triturado (85%) Quema (5%)	Desbrozadora o astilladora
Cantabria	Sin tratamiento (90%) Amontonado (10%)	Manual
Castilla-León	Sin tratamiento (20%) Triturado (80%)	Desbrozadora de martillos
Castilla La Mancha	Sin tratamiento (40%) Triturado (50%) Quema (10%)	Desbrozadora martillos o cadenas
Cataluña	Sin tratamiento (50%) Mínima actuación Quema (20%) Amontonado (30%)	 Manual Manual
Extremadura	Quema (70%) Triturado (25%) Astillado (5%)	 Desbrozadora martillos Astilladora sobre tractor
Galicia	Sin tratamiento (40%) Quema (60%)	Manual
Madrid	Quema (70%) Triturado (30%)	Desbrozadora de martillos o cadenas
Navarra	Sin tratamiento (95%) Amontonado (5%)	Manual
País Vasco	Sin tratamiento (40%) Quema Amontado y triturado	 Mecanizada
Rioja	Sin tratamiento	
Valencia y Murcia	Sin tratamiento (50%) Astillado (50%)	Astilladora sobre tractor

3.1. Acordonado y quema de restos

Esta operación consiste en la reunión manual o mecanizada de los restos de corta formando cordones de altura, longitud y separación variables. Una vez formado el cordón se procede posteriormente a su quema. Se realiza normalmente en operaciones de cortas a hecho. Esta operación está condicionada por las normas de uso del fuego en el monte (tabla 10.4).

Tabla 10.4. Regulación de la quema de los residuos de corta.

Comunidad Autónoma	Época de peligro	Fuera época peligro	Zona influencia	Disposición
Andalucía	(1.6 a 15.10) Prohibida	Autorización	< 400 m monte	Orden de 21 de mayo de 2009
Aragón	(16.3. a 15.10) Prohibida	Autorización Notificación	< 400 m monte	Orden DRS/107/2017, de 31.1
Asturias	Índice diario de riesgo Nivel 4 ó 5 Prohibida	Autorización	< 100 m monte	Resolución de 30.1.2012
Canarias	(1.7 a 30.9) Prohibida	Autorización		Decreto 146/2001
Castilla León	(1.7 a 30.9) Prohibida	Autorización	< 400 m monte	Orden FYM/574/2016, de 20.6 Orden FYM/510/2013, de 25.6
Castilla La Mancha	(1.6 a 30.9) Prohibida	Autorización		Orden de 16 de mayo de 2006 Orden de 26/09/2012
Cataluña	(15.3. a 15.10) Prohibida	Comunicación	< 500 m monte	Orden MAB/62/2003, de 13.2 Decreto 64/1995, de 7 de marzo
Extremadura	Índice diario, Época de peligro alto Prohibida	Autorización (época de peligro bajo)		Decreto 52/2010, de 5 de marzo Ley 5/2004, de 24 de junio
Galicia	(15.6 a 30.9) Prohibida	Autorización	< 400 m monte	Ley 3/2007, de 9 de abril,
Madrid	(15.6 a 30.9) Prohibida	Autorización	< 200 m monte	Decreto 58/2009, de 4 de junio
Navarra	(15.6 a 30.9) Prohibida	Autorización		Orden Foral 222/2016, de 16.6
Rioja	(15.7 a 15.10) Prohibida	Autorización	< 400 m monte	Orden 13/2016, de 2 de junio

Para su ejecución se utilizan antorchas de goteo y equipos de extinción de incendios como extintores de mochila y vehículos autobomba (figura 10.4). La antorcha de goteo, según su capacidad, puede tener unas dimensiones de 9 a 15 cm de diámetro y hasta 64 cm de largo, con un peso inferior a 3 kg. Se pueden distinguir los siguientes componentes:

1. Quemador. Formado por una mecha.

2. Boquilla. Extremo superior de la lanza por donde sale la mezcla combustible al quemador.

3. Lanza. Tubo de acero hueco de un diámetro alrededor de 10 mm y una longitud de 300 mm provisto de un bucle para evitar el retorno. En su extremo superior está la boquilla donde se acopla el quemador y en su extremo inferior el depósito.

4. Válvula de aire. Ubicada en la parte superior del depósito tiene como función aumentar o disminuir la salida de combustible de la lanza y evitar la presencia de aire a presión en su interior.

5. Asa.

6. Depósito. Tanque cilíndrico de una aleación metálica ligera de máxima resistencia a las altas temperaturas y a los golpes. Su capacidad, según modelos, oscila entre 1 y 5 l. La parte superior dispone de una tapa enroscada donde se ajusta la lanza. El material combustible que lleva en su interior es una mezcla de gasolina (33-40%) y gasóleo (60-66%).

Figura 10.4. Antorcha de goteo. Componentes principales: 1) Quemador, 2) Boquilla, 3) Lanza, 4) Válvula de aire, 5) Asa y 6) Depósito (Foto: www.vallfirest.com).

El apilado de los restos de corta en cordones se puede realizar de forma manual o mediante el empleo de los tractores utilizados en el desembosque. Las pilas serán de pequeña altura, entre 1 y 2 m, y con una densidad de 10 a 20 pilas ha^{-1}, según la cantidad de residuos. En la formación de la pila se debe evitar que exista una continuidad espacial. Una vez formada la pila se procede a su quema, mediante el empleo de una antorcha de goteo. Independientemente de que se disponga de la autorización de la quema el día que se ejecute la misma, deberán extremarse las siguiente precauciones: 1) No quemar debajo de las copas, 2) La ejecución de la quema deberá comenzar después de la salida del sol y quedar concluida antes de su puesta, 3) Las condiciones meteorológicas (viento y humedad relativa) deben ser favorables para la ejecución de la quema, 4) La quema deberá quedar envuelta por una línea perimetral de defensa, debiendo quedar la primera acumulación lineal a más de dos veces su altura.

En la recogida de los residuos, las variables que influyen en los rendimientos son la pendiente y la cantidad de los mismos (tabla 10.5).

Tabla 10.5. Rendimiento (h ha^{-1}) de la recogida manual de restos situados a una distancia menor a 30 m (Grupo Tragsa 2019).

Carga de restos (t ha^{-1})	< 30%	30 a 50%
< 15	16,8	18,48
15 a 25	38,49	42,35
25 a 35	52,49	57,75
35 a 45	55,99	61,59

La quema de la pila es función de la carga de residuos a una distancia entre pilas inferior a 20 m (tabla 10.6) (Junta de Extremadura 2019).

Tabla 10.6. Rendimientos (h ha^{-1}) de la quema de restos acordonados (Junta de Extremadura 2019).

< 8 t ha^{-1}	8 a 15 t ha^{-1}	15 a 25 t ha^{-1}	25 a 35 t ha^{-1}
11,65	27,53	48,78	80,5

Según los rendimientos antes comentados los costes de la recogida de los residuos (tabla 10.7) y de la quema (tabla 10.8) se ven afectadas por las variables antes indicadas.

Tabla 10.7. Costes (€ ha^{-1}) de la recogida manual de restos situados a una distancia menor a 30 m (Grupo Tragsa 2019).

Carga restos (t ha^{-1})	< 30%	30 a 50%
< 15	421,83	464
15 a 25	966,66	1 063,35
25 a 35	1 318,18	1 450,03
35 a 45	1 406,06	1 546,67

Tabla 10.8. Coste (€ ha^{-1}) de la quema de restos acordonados (Junta de Extremadura 2019).

< 8 t ha^{-1}	8 a 15 t ha^{-1}	15 a 25 t ha^{-1}	25 a 35 t ha^{-1}
96,47	227,89	404,26	666,46

3.2. *Acordonado y triturado*

Consiste en la eliminación de los restos de corta, previamente acordonados sobre la línea de máxima pendiente o por curvas de nivel, mediante una desbrozadora de martillos o de cadenas acoplada a un tractor (figura 10.5).

Figura 10.5. Acordonado de restos para ser triturados (Fuente: http://4.bp.blogspot.com/-qEw-gA1lX4Nc/UAQ7SZqDTrI/AAAAAAAAAVo/FB_MHPe3_Xg/s1600/5.jpg).

Se realiza con desbrozadoras de martillos o de cadenas. Los componentes principales de la desbrozadora de martillos son (figura 10.6, tabla 10.9):

1. Enganche tripuntal.

2. Toma de fuerza.

3. Transmisión lateral por correas.

4. Patines antidesgaste de regulación de la altura del corte.

5. Arco de protección para el tumbado y encamado de la vegetación.

6. Portón trasero hidráulico con cortina de cadenas para evitar la proyección exterior de partículas.

7. Rotor horizontal de gran diámetro.

8. Martillos. Son el elemento percutor que realiza el corte y trituración de la vegetación. El mantenimiento principal que precisan estos aperos es la sustitución de los martillos. Pueden ser:

8.a. Flotantes. Sobre el rotor horizontal se dispone un número variable de martillos flotantes, desde 12 a 40, que giran 360° y permiten un ancho de trabajo entre 1,2 y 2,5 m. El principal mantenimiento de estas desbrozadoras es la sustitución de los martillos rotos. Es el tipo de desbrozadoras más extendido.

8.b. Rígidos. Es más robusta que la anterior, dado que el martillo está fijado al rotor. Los martillos disponen de una punta recambiable. Permite triturar los residuos y desbrozar el matorral y arbolado de diámetro mayor.

Figura 10.6. Desbrozadora de martillos. Componentes principales: 1) Enganches superior e inferior, 2) Toma de fuerza, 3) transmisión lateral, 4) Patines reguladores de altura, 5) Arco de protección y tumbador de arboles y arbustos, 6) Portón trasero hidráulico y cortina de cadenas de protección, 7) Rotor horizontal, 8) Martillos flotantes (inferior izquierda) y rígidos (inferior derecha) (Fotos: J. Pemán).

Tabla 10.9. Características técnicas de algunos tipos de desbrozadoras (Datos obtenidos de modelos de las marcas Ventura, Serrat y Belafer).

Elemento de corte	Número de elementos de corte	Anchura labor (cm)	Potencia mínima requerida al tractor(CV)	Peso (kg)
Cadenas	4	120 – 200	40/50 – 90/120	310 – 1 050
Martillos flotantes	24 - 32	160 – 200	80/100 –-140/200	1 150 – 3 000
Martillos rígidos	22 - 36	160 – 250	40 - 130	808 – 1 075

Los modelos más frecuentemente utilizados son de las casas comerciales *Serrat* (Castejón del Puente, Huesca), *Ventura* (Aiguaviva, Girona), *Belafer* (Fraga, Huesca), *Picursa* (Lleida), *Fae* (Italia), *Khun*, *Liebherr*, *Seppi* (Italia), etc. El tractor que porta la misma, bien de ruedas o de cadenas, debe tener una potencia mínima de 100 CV.

Los restos se amontonan en cordones de un altura inferior a 1 m, bien siguiendo las curvas de nivel o por las líneas de máxima pendiente. El tractor se desplaza a lo largo de los mismos y los va triturando (figura 10.7). Según el tamaño que se desee del residuo el tractor realizará una o dos pasadas.

Figura 10.7. Desbrozadora de martillos sobre residuos de una corta a hecho en monte quemado (izquierda) y estado del residuo después de la trituración (derecha) (Fotos: J. Pemán).

La variable principal que condiciona los rendimientos y el coste son la densidad de restos (Junta de Extremadura) (tabla 10.10).

Tabla 10.10. Rendimientos (h ha^{-1}) y coste (€ ha^{-1}) del triturado de restos de corta acordonados (Junta de Extremadura 2019).

	< 8 t ha^{-1}	8 a 15 t ha^{-1}	15 a 25 t ha^{-1}	25 a 35 t ha^{-1}
Rendimiento (h ha^{-1})	4,14	5,8	7,4	9,07
Coste (€ ha^{-1})	303,92	425,82	543,29	665,94

3.3. *Astillado*

Esta operación consiste en la trituración de los restos vegetales, *in situ*, mediante la utilización de una astilladora móvil acoplada a la toma de fuerza de un tractor. En esta operación la astilla se distribuye por la superficie del monte por donde transita el tractor. En el caso de que la astilla tuviera valor comercial el astillado se realizaría en cargadero o a pie de pista.

La astilladora móvil o portátil es una máquina que tritura el residuo forestal en partículas de reducido tamaño denominadas astillas. Según los modelos, el tamaño de las astillas oscila entre 5 y 40 mm. Pueden ser autopropulsadas, arrastradas o suspendidas. Los elementos más característicos de estas máquinas son (figura 10.8, tabla 10.11):

1. Tolva o boca de alimentación. Determina la capacidad de carga de la astilladora. Terminan en unos rodillos de alimentación que conducen al material hacia el disco de corte. La alimentación suele ser manual en los modelos de menor potencia o mecanizada.

2. Cañonera. Es el conducto de descarga por el que sale la astilla al exterior impulsada por el ciclón del disco o por uno independiente en el caso de las astilladora de tambor. Tiene un giro variable, según modelos, entre 270 y 360º.

Figura 10.8. Astilladora móvil suspendida ATV 200 de Ventura. Componentes principales: 1) Boca de alimentación, 2) Cañonera, 3) Disco, 4) Toma de fuerza y 5) Enganche tripuntal (Fuente: https://www.venturamaq.com/es/).

3. Herramienta de corte. Según donde se instalen las cuchillas de corte pueden ser de disco o de tambor. Para la eliminación de los residuos se suelen utilizar de disco, mientras que las de tambor se utilizan para la producción de astilla para bioenergía (Tolosana 2009). Sus características más representativas son las siguientes (figura 10.9):

3.a. Disco. Sobre un disco giratorio se montan unas cuchillas dispuestas radialmente, sobresaliendo ligeramente con un cierto ángulo sobre la superficie del mismo. Este disco actúa, también, como ventilador o ciclón para enviar las astillas a través del tubo de la cañonera gracias a unas aletas que lleva sobre su superficie. En este tipo de astilladora las cuchillas atacan el tronco de forma tangencial.

3.b. Tambor. Sobre un tambor rotatorio o rotor se disponen de dos a cuatro cuchillas de manera tangencial. El diámetro del rotor limita el diámetro del material a astillar. Sus requerimientos de potencia son mayores que en las astilladoras de disco por lo que su rendimiento es menor, si bien la calidad es mayor. El ciclón para impulsar las astillas por la cañonera es independiente del rotor.

Figura 10.9. Elementos de corte de una astilladora: tambor (izquierda) (Fuente: https://www.venturamaq.com/es/) y disco (derecha) (Fuente: https://es.petersoncorp.com/products/5900e-disc-chipper/).

Tabla 10.11. Características técnicas de algunos modelos comerciales de la empresa Ventura.

Modelo	ATV 100	ATV 120	TA 170 Junkkari	TA 250 Junkkari	ATV 400-650T
Herramienta corte	Disco	Disco	Disco	Disco	Tambor
Diámetro (mm)	590	635	430	430	560
Número de cuchillas	4	4	4	4	8
Velocidad disco (rpm)	540	540	540 a 1 000	540 a 1 000	800
Potencia tractor (CV)	15 a 40	20 a 50	27 a 70	30 a 90	90 a 160
Giro tubo descarga (°)	360	360	270	270	270
Peso (kg)	178 - 225	430 - 485	385	740	5 180
Diámetro máximo tronco (mm)	100	110	170	240	410
Dimensiones astilla (mm)	5 - 12	5 - 12	6 - 12	5 a 20	20 a 40

Las marcas comerciales más frecuentes son *Ventura* (España), *Pezzolato* (Italia), *Bandit* (EEUU), *Rabaud* (Francia), *Bruks*, *Heizohack* (Alemania), *Posch*, etc.

El tractor con la astilladora (suspendida si va por el monte o arrastrada si va por pistas) se va alimentando de los restos de corta, previamente reunidos (figura 10.10). La astilla obtenida, sin aprovechamiento comercial, se distribuye sobre la superficie del monte.

Figura 10.10. Astillado de restos en las proximidades de una pista forestal (Fuente:).

La variable principal que condiciona los rendimientos y el coste son la densidad de restos (Junta de Extremadura) (tabla 10.12).

Tabla 10.12. Rendimientos (h ha^{-1}) y coste (€ ha^{-1}) del astillado de restos de corta (Junta de Extremadura 2019).

	< 8 t ha^{-1}	8 a 15 t ha^{-1}	15 a 25 t ha^{-1}	25 a 35 t ha^{-1}
Rendimiento (h ha^{-1})	6	8,25	12,1	14
Coste (€ ha^{-1})	671,39	910,35	1 337,56	1 552,26

4. Bibliografía

Almagro C, Tolosana E, Ambrosio Y, et al. (2001) El estado actual d ela gestión de residuos en España. pp 1-5.

BOE (1975) Pliego de condiciones facultativas y técnicas para la ejecución de los aprovechamientos de madera en montes de utilidad pública. BOE 199:16367-16369.

Castro J, Allen CD, Molina-Morales M, et al. (2011) Salvage Logging Versus the Use of Burnt Wood as a Nurse Object to Promote Post-Fire Tree Seedling Establishment. Restor Ecol 19:537-544.

Grupo Tragsa (2019) Tarifas 2019 para encomiendas al Grupo Tragsa sujetas a impuestos. In: Tragsa. http://www.tragsa.es/es/el-grupo/regimen-juridico/Paginas/tarifas.aspx..

Junta de Extremadura (2019) Tarifas precios forestales. http://extremambiente.gobex.es/index.php?option=com_content&view=article&id=3311&Itemid=278.

Leverkus AB, Puerta-Piñero C, Guzmán-Álvarez JR, et al. (2012) Post-fire salvage logging increases restoration costs in a Mediterranean mountain ecosystem. New For 43:601-613.

Madrigal J, Hernando C, Guijarro M, Gil J. (2007) Influencia de la corta a hecho y tratamiento de residuos en la supervivencia del regenerado natural post-incendio de Pinus pinaster Ait. en el monte " Egidos " Acebo (Cáceres, España). 4 Conferencia Internacional sobre Incendios Forestales. Sevilla, pp 1-12.

Rodriguez-Soalleiro R, Balboa M, Álvarez-González J., et al. (2004) Efecto de la selvicultura en la extracción de nutrientes a lo largo del turno en plantaciones de tres especies de crecimiento rápido en el norte de España. Investig Agrar Sist y Recur For FS:114-126.

Shakesby R., Coelho C., Ferreira A., et al. (1994) Fire, post-burn land management practice and soil erosion response curves in Eucalyptus and pine forest, north-central Portugal. En: Sala M, Rubio J. (eds) Soil Eros. Degrad. as a Conseq. For. fires. Geoforma Ediciones, Logroño, pp 111-132.

Tolosana E (2009) Manual Técnico para el aprovechamiento y elaboración de Biomasa Forestal. Fundación Conde del Valle de Salazar-MundiPrensa, Madrid.

Capítulo 11

Métodos y sistemas de aprovechamiento maderero

Marcos Barrio Anta, Jesús Pemán García

1. Introducción

La definición de los métodos y sistemas que se van a usar en un aprovechamiento maderero son parte fundamental de su planificación, por lo que deben estar claramente definidos y descritos. Se trata de dos términos que se usan con mucha profusión en la literatura sobre aprovechamientos forestales, pero sus conceptos y definiciones varían sustancialmente de unos autores a otros, no habiendo un consenso claro en la terminología a nivel internacional (Lundbäck et al. 2021). Así, hay autores que usan ambos términos indistintamente (p.ej., Sundberg and Silversides 1988; Tolosana et al. 2000; Rodríguez et al. 2005), mientras que otros los han diferenciado claramente (p.ej., Lindroos et al. 2017; Lundbäck et al. 2021), definiendo el método como el grado de transformación de la madera en la zona de corta y el sistema como la combinación de máquinas, herramientas y equipos usados en un aprovechamiento maderero. En cuanto a la literatura forestal internacional, hay alguna como la francesa, que tradicionalmente ha diferenciado de forma clara ambos términos (ARMEF 1993) al igual que literatura anglosajona reciente de Sudáfrica (Längin et al. 2010).

En este manual, y en aras de una mayor claridad, se considera necesaria la diferenciación de ambos términos y se adoptan las siguientes definiciones (ARMEF 1993; Längin et al. 2010; Lundbäck et al. 2021):

- **Procedimiento de aprovechamiento**: es un calificativo que se refiere al medio principal sobre el que se realizan las operaciones de saca. Si todas las operaciones se realizan sobre el terreno, se trata de un procedimiento terrestre; en cambio, si se utiliza cable aéreo u otro medio de saca aérea como helicópteros, estaríamos ante un procedimiento aéreo, basado en cable en el primer caso y en helicóptero en el segundo.

- **Método de aprovechamiento**: es grado de transformación que se realiza del árbol a pie de tocón o en la zona de corta.

- **Sistema de aprovechamiento**: es el conjunto formado por los medios, equipos, máquinas y técnicas, y el lugar donde se usan, que se emplean para llevar a cabo el aprovechamiento

de un área determinada. Los componentes individuales de un sistema pueden cambiar sin que haya necesariamente un cambio del método de aprovechamiento.

No obstante, debe tenerse en cuenta que en algunas ocasiones los productos sufren transformaciones adicionales en los cargaderos o parques de monte. Por ejemplo, se puede extraer el árbol completo y procesarlo en parque de monte para producir madera corta y residuos o bien astillarlo completamente para uso energético. En ambas situaciones el método de aprovechamiento es "árbol completo" y los grados de transformación adicionales en cargadero deberán contemplarse como operaciones de transformación que darán lugar a variantes de los sistemas de aprovechamiento.

Los sistemas descritos en este capítulo son fundamentalmente terrestres, aunque se describen también sistemas aéreos basados en cable. El uso del helicóptero como medio de desembosque es muy inusual en España. Por otra parte, métodos y sistemas están indudablemente interrelacionados ya que los sistemas de aprovechamiento se definen primariamente para cada uno de los métodos de aprovechamiento considerados y posteriormente estos se clasifican atendiendo a otros criterios como el grado de mecanización del apeo y procesado del árbol, los equipos y medios empleados para el desembosque y los lugares donde se llevan a cabo las operaciones. Los sistemas de aprovechamiento también se pueden agrupar según algún determinado criterio para facilitar su posterior descripción e interpretación. En la figura 11.1 se muestra el marco conceptual para llevar a cabo una clasificación de las operaciones forestales habituales.

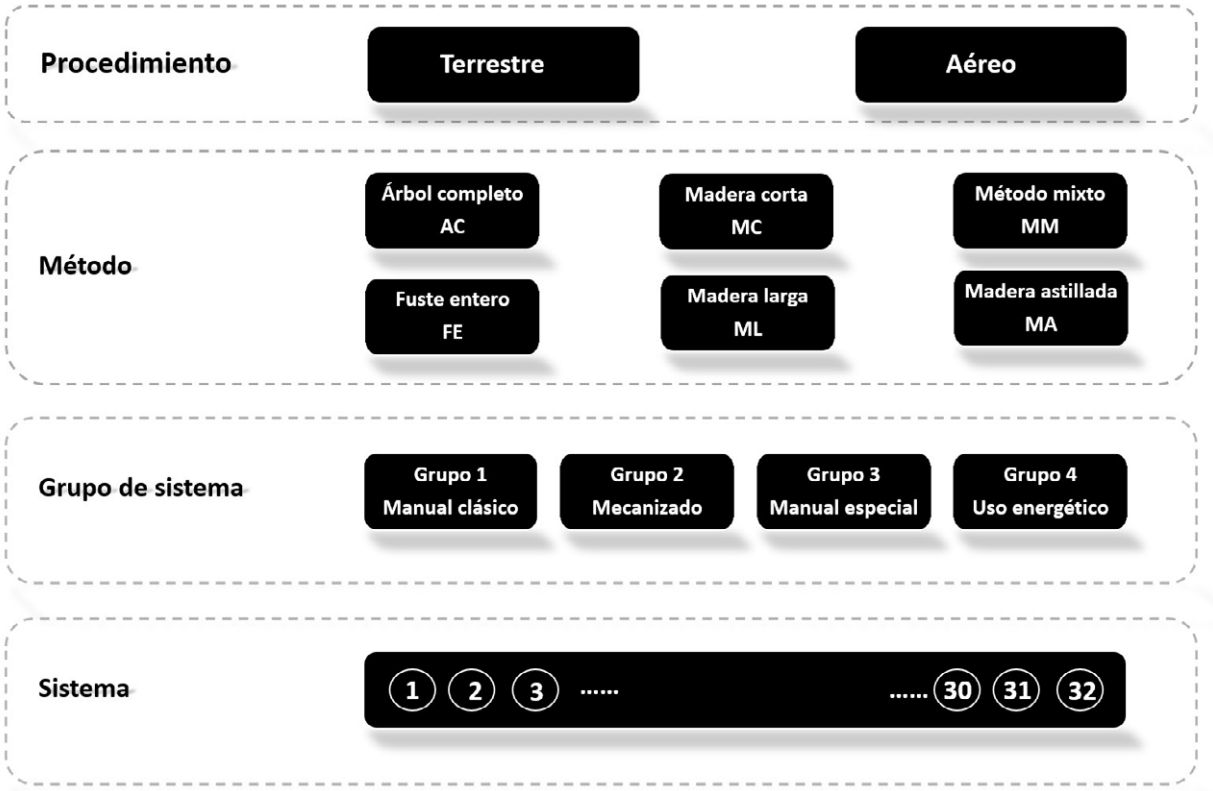


Figura 11.1. Marco conceptual de la clasificación de los sistemas de aprovechamiento de acuerdo con los conceptos de procedimiento, método, grupo y sistema de aprovechamiento (Fuente: Adaptado de Lundbäck et al. 2021).

2. Métodos de aprovechamiento

Como se ha definido, el método de aprovechamiento se refiere al grado de transformación que se realiza del árbol a pie de tocón o en la zona de corta, o alternativamente, el grado de transformación con el que se entrega este en cargadero de monte (ARMEF 1993; Längin **et al**. 2010).

Por tanto, en ausencia de una transformación adicional en el cargadero, el método de aprovechamiento hace referencia a la forma en que la madera sale del monte hacia la industria y su elección depende fundamentalmente del tipo de producto que estas requieren y de los condicionantes del medio, principalmente pendiente y escabrosidad del terreno. Sin embargo, en ocasiones, cuando no existen condicionantes del medio y las industrias pueden recibir la madera en distintas longitudes, la elección del método de aprovechamiento se basa únicamente en criterios de rentabilidad económica.

Tradicionalmente se han descrito tres métodos principales de aprovechamiento maderero (McNally 1978; Tolosana **et al**. 2000): i) árbol completo, ii) fuste entero y iii) madera corta. Sin embargo, actualmente se pueden considerar otros dos métodos más, madera larga y método mixto, que son variantes de los anteriores y que cada día cobran más relevancia debido a que permiten un mejor aprovechamiento y valorización de los productos forestales que salen del monte (ARMEF 1993). Además, la relevancia actual de la biomasa forestal para uso energético impulsa un método más, el método de madera astillada. Por tanto, los métodos de aprovechamiento a considerar en este manual son seis: árbol completo, fuste entero, madera corta, madera larga, método mixto y madera astillada.

La elección del método de aprovechamiento está condicionada básicamente por los siguientes aspectos:

- El destino de la madera, su comercialización, según su calidad y dimensión.
- Las condiciones del terreno, principalmente pendiente y escabrosidad, que permitan o no el desplazamiento de maquinaria y/o la elaboración de la madera a pie de tocón.
- La disponibilidad de mano de obra, equipos y medios y su coste.
- El tipo de tratamiento selvícola a ejecutar y las características de la masa objeto de aprovechamiento.
- La densidad de la red de pistas existente.

2.1. Método de árboles completos (AC)

En el método de árboles completos no se produce ninguna transformación de los árboles apeados a pie de tocón o en la zona de corta (figura 11.2). Así los árboles, una vez apeados,

se extraen del área de corta y se trasladan hasta el cargadero de forma íntegra, sin desramar ni tronzar.

No obstante, algunos autores como Nisbet **et al.** (1997) también han denominado método de árbol completo, en este caso en "dos etapas", cuando su extracción se realiza en dos operaciones separadas: por un lado, se procesa el fuste del árbol para su aprovechamiento maderero y por otra se lleva a cabo el aprovechamiento de los residuos de corta. Sin embargo, de acuerdo con la definición de método dada previamente, a efectos del presente capítulo, consideraremos método de árbol completo únicamente la extracción completa de este desde el pie de tocón hasta cargadero en una sola operación. Adicionalmente, el método en dos etapas aludido no permite la extracción completa de los residuos ya que en numerosas ocasiones una parte significativa suele quedar perdida en los montes, por lo que en sentido estricto no sería un aprovechamiento "completo" del árbol.

Una variante de este método que se suele aplicar en claras, cuando el arbolado tiene cierta altura, es el método de partes de árbol. En esta variante, los árboles completos se tronzan en dos o más partes para poder desemboscarlos con autocargadores o tractores agrícolas adaptados (figura 11.2).

Figura 11.2. Ejecución de una clara en una masa de pino radiata con aprovechamiento por el método de árbol completo o partes de árbol (izquierda). A la derecha, enganche de árbol completo para su extracción por arrastre directo (Fotos: M. Barrio Anta, izquierda y Consejería de Medio Ambiente y Desarrollo Rural del Principado de Asturias y Tragsa, derecha).

El método de árboles completos es un método que se usa cada vez más en los países forestalmente avanzados y que se asocia con el empleo de taladoras-apiladoras para el apeo de los árboles y el uso de grandes tractores arrastradores, de grapa o de grapa y pluma, para el desembosque. En Norteamérica es un método muy usado debido a la abundancia de explotaciones forestales de gran extensión y volumen, a la tradición de ejecución de cortas a hecho seguidas de reforestación y a los elevados costes que se registran para las operaciones manuales.

También es un método que se está empezando a usar en Europa para aprovechar plantaciones de chopo gestionadas a turnos cortos, 5-8 años, para uso energético (Spinelli **et al.** 2020) en

las que el tamaño de los árboles impide el uso de los sistemas de apeo y procesado simultáneo que se explicarán en el apartado 3.4 (figura 11.3).

Figura 11.3. Plantación energética de chopo de 4 años (izquierda) y acopio de árboles completos en parque logístico para su posterior astillado (derecha) en la región del Piamonte (Italia) (Fotos: M. Barrio Anta).

Entre las principales ventajas que se puede atribuir a este método destacan las siguientes (McNally 1978; Nisbet **et al**. 1997; Leinonen 2004): i) aumento de la rentabilidad total del aprovechamiento y reducción del riesgo de accidentes al reducir al mínimo las operaciones a pie de tocón, ii) mayor y mejor aprovechamiento del árbol (permite un clasificación minuciosa de productos posteriormente en cargadero) y aprovechamiento total de la biomasa forestal aérea, iii) no requiere trabajos de limpieza en la zona de corta, iv) la reforestación posterior es más fácil, rápida y barata, v) la apariencia visual de los lugares de aprovechamiento es mejor y vi) es un método adecuado para operaciones en terrenos con mucha pendiente.

En cuanto a las desventajas se pueden citar las siguientes (Nisbet **et al**. 1997; Tolosana **et al**. 2000: i) aumento de los costes de desembosque (mayor relación volumen/peso), ii) empobrecimiento de la fertilidad del suelo tras varios ciclos de cultivo (ramas y hojas tienen unas concentraciones de nutrientes mayores que los fustes), iii) riesgo de acidificación por la mayor extracción de cationes básicos al extraer el árbol completo, iv) mayores afecciones del desembosque sobre el suelo (no hay residuos para usar como cama en las calles de desembosque) y regenerados y v) posible degradación del hábitat ya que los restos de corta son refugio para la fauna y un hábitat importante para invertebrados y hongos.

Por tanto, teniendo en cuenta los aspectos anteriores, las razones que pueden recomendar la aplicación de este método son las siguientes:

- Que exista previsión de aplicar cortas de regeneración a hecho seguidas de repoblación o regeneración vegetativa.

- Que se pretenda llevar a cabo un aprovechamiento energético de los restos de corta o del árbol completo, especialmente en clareos donde los árboles tienen escaso volumen y se elevan mucho los costes de apeo y procesado de los árboles.

- Cuando la mano de obra sea difícil de encontrar y los costes salariales sean altos, común a la mayoría de los países desarrollados.

- Cuando existen condiciones muy difíciles para el procesado de los árboles a pie de tocón, pendientes elevadas.

Por otra parte, el método de árboles completos se debería evitar en las dos circunstancias siguientes (Nisbet **et al**. 1997): i) masas sobre suelos pobres, donde la baja fertilidad es un factor limitante y ii) masas sobre suelos muy húmedos y blandos donde los daños a los suelos y a los cursos de agua pueden ser intolerables, podría aplicarse si la extracción se lleva a cabo por cable aéreo.

2.2. *Método de fustes enteros (FE)*

En este método, el árbol una vez apeado es desramado y descopado o despuntado, pero no se trocea (figura 11.4). Es el método indicado cuando se desea obtener madera con destino a postes, puntales o madera para uso estructural.

Presenta algunas de las ventajas ya apuntadas para el método de árboles completos: i) limitación de las operaciones manuales, mayor rentabilidad y menor riesgo de accidentes laborales, ii) permite llevar a cabo posteriormente en cargadero un tronzado más pormenorizado y una mejor clasificación, siendo un método recomendable en el caso de maderas valiosas, iii) al igual que el método anterior, es un método adaptado a terrenos escabrosos y de mucha pendiente donde el tronzado de los fustes sería muy problemático. Por otro lado, si no se extraen los restos de corta, se reduce la extracción de nutrientes y otros efectos ambientales adversos del método de árboles completos.

Figura 11.4. Pilas de fustes enteros en cargadero en espera de su transporte a destino (Fotos: M. Barrio Anta).

Entre sus inconvenientes están un mayor coste de las operaciones manuales, en caso de desramado manual y del desembosque, frente a los métodos siguientes de madera corta y madera larga y también el mayor coste y dificultad para la eliminación de los residuos, cuando esta sea necesaria, frente al método de árboles completos.

Las características de este sistema hacen que sea aconsejable cuando (Tolosana **et al**. 2000):

- La madera larga tiene demanda por la industria, es el caso de postes, puntales o madera estructural.

- Sea difícil para los trabajadores desplazarse por el área de corta.

- En últimas claras, cortas de regeneración por aclareo sucesivo o cortas a hecho con apeo manual, donde al elevado valor de la madera se une el elevado peso de las trozas que dificulta su reunión manual.

- Hay una elevada intensidad de corta que justifique la apertura de viales para reducir las distancias de saca.

2.3. Método de madera corta (MC)

En este método, el árbol una vez apeado es desramado, despuntado y dividido en trozas de 2 a 2,5 m de longitud, según las exigencias de la industria (figura 11.5). Se precisará de la reunión y apilado de las trozas previamente a su desembosque y habitualmente exige gestionar los residuos del aprovechamiento. Estos se pueden triturar ***in situ***, dejar en el área de corta acordonados o amontonados o se pueden extraer para su uso energético.

Es el método más utilizado en España y también a nivel europeo, aunque cada vez tienden a usarse más los de métodos de madera larga o mixto. Sin embargo, en los países montañosos de Centroeuropa (p.ej., Suiza o Austria), domina el método anterior de fuste entero (ver tabla 11.2).

Las principales ventajas del método son: i) la economía de la saca y del transporte ya que principalmente se utilizan medios de alta capacidad (tractores autocargadores) en comparación con los métodos anteriores y ii) se produce un menor daño al suelo al no hacerse arrastre de madera, excepción arrastre de paquetes de madera corta.

Entre los inconvenientes se citan: i) el mayor procesado de la madera en el área de corta que conlleva mayores costes y riesgos de accidentes cuando se lleva a cabo de forma manual y ii) la necesidad, en muchos casos, de la eliminación de los residuos en comparación con el método de árboles completos.

Figura 11.5. Madera corta agrupada en cordones tras la ejecución de una clara y lista para su desembosque (izquierda) y madera corta apilada ya en cargadero en espera de su transporte a destino (Fotos: M. Barrio Anta).

2.4. Método de madera larga (ML)

En este método la madera se extrae del área de corta en trozas de longitudes de hasta 4-5 metros, pero sin llegar a ser fuste entero. Por tanto, requiere que a pie de tocón se realicen también las operaciones de desramado, despuntado y tronzado. Debido al mayor tamaño de las trozas, cuando el procesado se realiza de forma manual, la reunión y apilado de las trozas previamente a su desembosque deberá hacerse con la ayuda del cable o tracción animal. Debido a esta dificultad, el método se asocia principalmente con el apeo y procesado mecanizado. Se trata de un método que se usa cada vez más en países donde el método de madera corta tiene mucha tradición, países escandinavos, por la mejor economía del procesado y desembosque y porque permite una mejor clasificación de la madera para diferentes usos y se adecua igualmente al desembosque con los autocargadores usados habitualmente para madera corta (Tolosana **et al**. 2000).

La principal ventaja respecto al método de madera corta es la economía de la saca y del transporte. Entre los inconvenientes respecto al método de fuste entero está el mayor procesado de la madera en el área de corta, más coste y riesgo de accidentes cuando las operaciones son manuales, y en comparación con el método de árboles completos, el problema de la eliminación de los residuos.

En España se está aplicando en Galicia y la Cornisa Cantábrica con eucalipto debido a que algunas fábricas están adaptadas a la recepción de madera de hasta 5 m de longitud y este método permite una mayor rentabilidad del procesado, desembosque y transporte de la madera a fábrica (figura 11.6). También se aplica en el centro de la Península en aprovechamientos de chopo.

Figura 11.6. Madera larga de chopo (izquierda) y eucalipto (derecha) en cargadero en espera de su transporte a destino (Fotos: A. Fernández Manso, izquierda y M. Barrio Anta, derecha).

2.5. Método Mixto (MM)

Como su nombre indica es un método intermedio entre el método de madera corta y el de madera larga. También se ha denominado método de madera clasificada a longitudes variables (Tolosana et *al*. 2000). En este caso, la madera de sierra se elabora con longitudes mayores, madera larga, y la destinada a trituración con dimensiones de madera corta. Es un método bastante usado en Francia en cortas en masas en estado de fustal (ARMEF 1993); sin embargo, en España se ha usado poco, ya que, aunque es frecuente la clasificación de la madera en monte por destinos según diámetro y calidad (figura 11.7), no se suele variar la longitud de las trozas.

Figura 11.7. Clasificación de madera corta en monte según destinos, por diámetro y calidad (Foto: M. Barrio Anta).

2.6. Método de madera astillada (MA)

Este método consiste en astillar in situ, a pie de tocón o en zona de corta, árboles enteros pequeños o trozos de árbol (figura 11.8). En el caso de coníferas, suele haber proporción alta de

hojas, acículas y ramillos por lo que se suele tratar de material vegetal triturado más que de astilla de madera en sentido estricto (ARMEF 1993). Se trata de un método que puede aplicarse en clareos o primeras claras. Sin embargo, en ocasiones es frecuente que se extraigan los árboles completos o trozos de árbol a cargadero y sea ahí donde se procede a su astillado. Como ya se ha comentado, a efectos de la clasificación seguida en este manual, el método en este supuesto es el de "árbol completo o partes de árbol", considerándose el astillado en cargadero una transformación adicional que dará lugar a un sistema de aprovechamiento diferente, pero no estaremos hablando de un método de aprovechamiento por astillado.

Figura 11.8. Detalle del tamaño y material obtenido del astillado de pinos (izquierda). Detalle del acopio de astilla a pie de pista en aprovechamiento experimental de una clara en pino radiata por el método de madera astillada (derecha) (Fotos: M. Balboa Murias, izquierda y Consejería de Medio Ambiente y Desarrollo Rural del Principado de Asturias y Tragsa, derecha).

El método de madera astillada también se aplica con frecuencia en el aprovechamiento de cultivos energéticos leñosos gestionados a turnos de 2-5 años (Sixto **et al.** 2010), donde los arbolillos son cortados y astillados de forma simultánea empleando cosechadoras agrícolas con cabezales cosechadores adaptados al material leñoso.

3. Sistemas de aprovechamiento

Un sistema de aprovechamiento es el conjunto formado por los medios, equipos, máquinas y técnicas (y el lugar en el que se usan) usados para llevar a cabo el aprovechamiento maderero una vez que se ha decidido el método a usar. Los componentes individuales de un sistema pueden cambiar sin que haya cambio del método de aprovechamiento, ya que determinados trabajos se pueden ejecutar indistintamente en la zona de corta, a pie de pista o en cargadero de monte, originándose de esta forma distintas variantes de los sistemas de aprovechamiento.

El conjunto de operaciones necesarias para llevar cabo un aprovechamiento maderero puede ser muy numeroso y engloba operaciones previas (apertura de vías y cargaderos, desbroces, etc.), operaciones de aprovechamiento propiamente dichas y operaciones posteriores (tratamientos de residuos, reparación de vías, etc.). A efectos de realizar una clasificación de sistemas de aprovechamiento, las principales operaciones madereras propiamente dichas que se van a

contemplar son: apeo del árbol, procesado (desrame, despuntado y tronzado), reunión, desembosque (incluye carga y descarga) y transporte a destino (incluye carga y descarga).

Existen otras operaciones, como el descortezado de la madera de pino, que históricamente se llevó a cabo en monte, pero que actualmente no se contempla ya que se hace en destino. Las razones son su mayor rendimiento y el alto valor comercial que actualmente tiene esta corteza, se usa en jardinería, viveros o para generar energía.

Los medios, equipos y máquinas a emplear pueden ser muy numerosos. A modo de síntesis, y para cada una de las operaciones madereras, se contemplan los siguientes:

- **Apeo**: operario con motosierra, cosechadora forestal propiamente dicha, cosechadora forestal sobre retroexcavadora, taladora-apiladora, cosechadora agrícola adaptada al material leñoso, cultivos energéticos a turno muy corto.

- **Procesado**: operario con motosierra, cosechadora forestal propiamente dicha, cosechadora forestal sobre retroexcavadora, astilladora integrada en autocargador, cosechadora agrícola adaptada al material leñoso.

- **Reunión**: operario, operario con pequeñas máquinas auxiliares (cabrestante portátil), animales (mulas o caballos), cable de skidder, cosechadora forestal, taladora-apiladora.

- **Desembosque:** tractor autocargador (o tractor agrícola adaptado), skidder (o tractor agrícola con cabrestante), camión todo terreno (carroceta), animales (mulas o caballos), pequeñas máquinas (mula mecánica, vehículos 4x4, miniautocargadores), canaletas artificiales, cable (terrestre o aéreo).

Aunque puede ser frecuente realizar operaciones complementarias en cargadero, como el clasificado o tronzado en el caso del método de fuste entero, estas se han obviado para simplificar. Sólo se ha contemplado como operación en cargadero el procesado o astillado en el caso del método de árbol completo. Para establecer un listado de sistemas de aprovechamiento se ha seguido un sistema jerárquico en 3 niveles:

- ***Primer nivel***: se especifica el método a utilizar (madera corta (MC), fuste entero (FE), madera larga-método mixto (ML/MM), árbol completo (AC), madera astillada (MA)).

- ***Segundo nivel***: se especifica el grado de mecanización del apeo y procesado y los equipos usados (apeo y procesado manual (0), apeo manual y procesado mecanizado (1), apeo y procesado mecanizado con cosechadora (2) y apeo mecanizado con taladora-apiladora y procesado con cosechadora (3)).

- **Tercer nivel**: se especifican los equipos a usar en el desembosque (autocargador (AT), skidder (SK), carroceta (CT), canaletas (CN), cable grúa (CA), tracción animal (AN), pequeñas máquinas (PQ), tractor agrícola con remolque (TA), autocargador con astilladora (ATA).

En aras de la simplificación, para el transporte no se ha especificado el tipo de camión que se puede usar en cada caso. De acuerdo con estas consideraciones se han definido 32 sistemas de aprovechamiento maderero que se pueden utilizar actualmente en mayor o menor grado en España (tabla 11.1). Se trata de un intento de sistematización que no pretende ser exhaustivo ya que muchos de los sistemas tienen variantes o modificaciones locales que no es posible recoger en esta clasificación.

Desde el punto de vista didáctico, los sistemas definidos en la tabla 11.1 se han reagrupado en cuatro tipos o grupos:

- Sistemas manuales clásicos (grupo 1).
- Sistemas mecanizados (grupo 2).
- Sistemas manuales especiales (grupo 3).
- Sistemas para uso energético (grupo 4).

Tabla 11.1. Clasificación de los sistemas de aprovechamiento maderero.

Método	Código sistema	GRUPO	ZONA DE CORTA Tipo de operación, máquinas y equipos				CARGADERO	Nº
			Apeo	Procesado	Reunión	Desembosque		
MC	MC-0-AT	1	Manual			Autocargador	Transporte camión	1
	MC-0-SK	1	Manual			Skidder	Transporte camión	2
	MC-0-CT0	1	Manual			Carroceta	Transporte camión	3
	MC-0-CT1	1	Manual		Cable trineo automotriz	Carroceta	Transporte camión	4
	MC-1-AT	2	Manual	Cosechadora		Autocargador	Transporte camión	5
	MC-2-AT	2	Mecanizado (Cosechadora)			Autocargador	Transporte camión	6
	MC-3-AT	2	Mecanizado (Talador-apiladora)	Mecanizado (Cosechadora)		Autocargador	Transporte camión	7
	MC-3-AN		Manual			Animal	Transporte camión	8
	MC-0-CN	3	Manual			Canaletas	Transporte camión	9
	MC-0-PQ	3	Manual			Pequeñas máquinas		10
FE	FE-0-SK	1	Manual		Animal/ Skidder	Skidder	Transporte camión	11
	FE-0-AT	1	Manual		Animal	Autocargador	Transporte camión	12
	FE-0-CA	1	Manual		Animal	Cable grúa	Transporte camión	13
	FE-2-SK	2	Mecanizado (Cosechadora)			Skidder	Transporte camión	14
	FE-3-SK	2	Mecanizado (Talador-apiladora)	Mecanizado (Cosechadora)		Skidder	Transporte camión	15
	FE-0-AN	3	Manual		Animal	Animal	Transporte camión	16
	FE-0-PQ	3	Manual		Cabrestante portátil	Pequeñas máquinas	Transporte camión	17

Método	Código sistema	GRUPO	ZONA DE CORTA Tipo de operación, máquinas y equipos				CARGADERO	Nº
			Apeo	Procesado	Reunión	Desembosque		
ML/MM	ML-0-SK	1	Manual	Manual	Animal/ Skidder	Skidder	Transporte camión	18
	ML-0-AT	1	Manual	Manual	Animal	Autocargador	Transporte camión	19
	ML-0-CA	1	Manual	Manual	Animal	Cable grúa	Transporte camión	20
	ML-1-AT	2	Manual	Cosechadora		Autocargador	Transporte camión	21
	ML-2-AT	2	Mecanizado (Cosechadora)			Autocargador	Transporte camión	22
	ML-3-AT	2	Mecanizado (Talado-ra-apiladora)	Mecanizado (Cosechadora)		Autocargador	Transporte camión	23
	ML-0-AN	3	Manual		Animal	Animal	Transporte camión	24
	ML-0-PQ	3	Manual		Cabrestante portátil	Pequeñas máquinas	Transporte camión	25
AC	AC-0-CA	1	Manual	-	Cable grúa	Cable grúa	Procesado Transporte camión	26
	AC-0-SK	1	Manual	-	Animal/ Skidder	Skidder	Procesado Transporte camión	27
	AC-2-SK	2	Mecanizado (Talado-ra-apiladora)	-	Mecanizado (Talado-ra-apiladora)	Skidder	Procesado Transporte camión	28
	AC-2-AT	2	Mecanizado (Talado-ra-apiladora)	-	Mecanizado (Talado-ra-apiladora)	Autocargador	Procesado Transporte camión	29
MA	MA-0-ATA	4	Manual	Mecanizado con astilladora integrada en auto-cargardor			Transporte camión	30
	MA-2-TA	4	Mecanizado (Cosechadora agrícola adaptada)			Tractor agrícola con remolque	Transporte camión	31
	MA-3-ATA	4	Mecanizado (Talado-ra-apiladora)	Mecanizado con astilladora integrada en auto-cargardor			Transporte camión	32

Codificación: a) primeras dos letras indican el método de aprovechamiento (MC=madera corta, FE=fuste entero, ML=-madera larga, MM=método mixto, AC=árbol completo, MA=madera astillada; b) el dígito siguiente indica el grado de mecanización del apeo y procesado (0=apeo y procesado manual, 1=apeo manual y procesado mecanizado, 2=apeo y procesado mecanizado con una máquina y 3=apeo mecanizado con una máquina y procesado con otra); c) las últimas dos letras indican el equipo usado para el desembosque (AT=autocargador, SK=skidder, CT=carroceta, CA=cable aéreo, PQ=pequeñas máquinas, AN=animales, TA=tractor agrícola con remolque cerrado con baldas, ATA=autocargador con astilladora integrada; d) el grupo indica: 1=sistemas manuales clásicos, 2=sistemas mecanizados, 3=sistemas manuales especiales, 4=sistemas para uso energético. **Nota**: cuando se habla de autocargador, se incluye aquí el tractor agrícola adaptado como autocargador. Igualmente, cuando se habla del skidder, se incluye el tractor agrícola adaptado con cabrestante.

Para una visualización rápida de cada uno de los sistemas, en la figura 11.9 se muestran los números de orden de los distintos sistemas de la tabla 11.1, según el método de aprovechamiento que utiliza y el grupo en el que se encuadra.

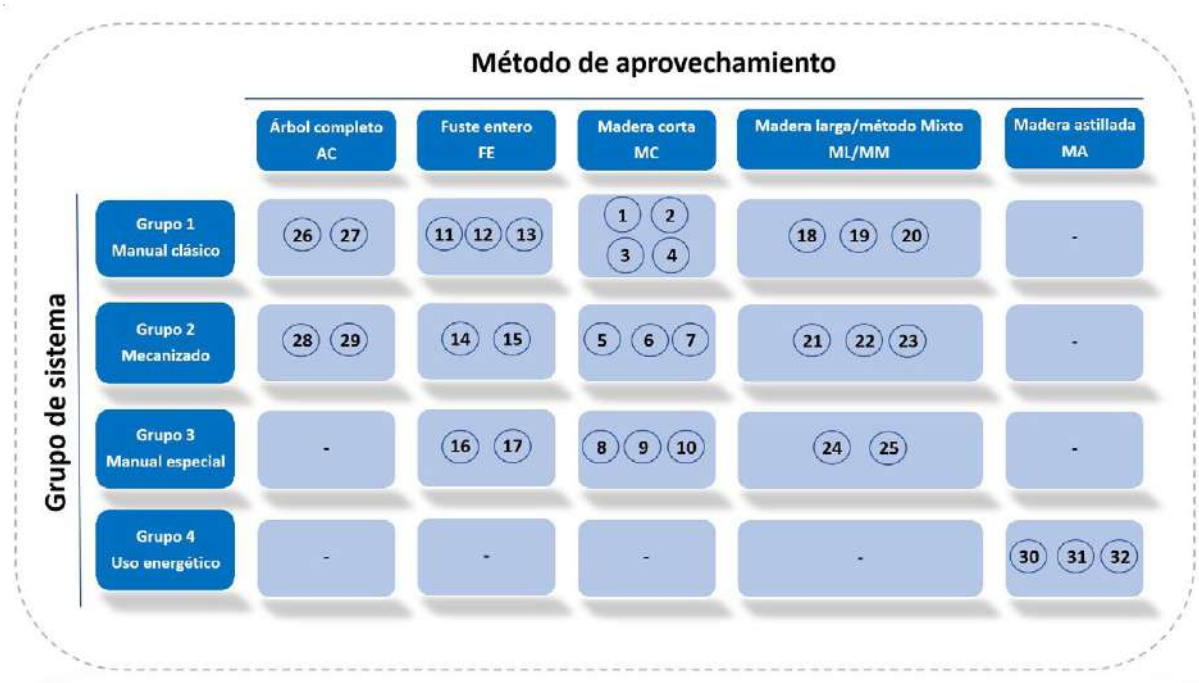


Figura 11.9. Clasificación de los sistemas de aprovechamiento de la tabla 11.1 según el método de aprovechamiento y el grupo en el que se incluye (se muestra su número, según tabla 11.1).

Aunque los sistemas se definen primariamente para cada método de aprovechamiento, y estos, por tanto, reflejan el tipo de productos obtenidos en la zona de corta, estos productos pueden sufrir una transformación adicional en cargadero que debe quedar reflejada también de alguna manera en la codificación de los sistemas.

En este sentido, los sistemas que van del número 11 al 17, transforman el árbol a pie de tocón o en zona de corta en fuste entero; no obstante, este puede sufrir un procesamiento posterior antes de su transporte a fábrica. Así, en zonas de mucha pendiente, aunque la industria demande madera corta, es frecuente el empleo de sistemas de aprovechamiento que hacen fuste entero debido a las dificultades de hacer madera corta en estas condiciones. Esto hace que sea necesario un posterior tronzado y clasificación de las trozas en cargadero, como ocurre con cierta frecuencia en el aprovechamiento de montes bajos de castaño en Asturias.

Para tener en cuenta el procesamiento posterior en cargadero se puede incluir un subíndice (ML para madera larga y MC madera corta) al código del sistema empleado para indicarlo. Así, si en un aprovechamiento llevado a cabo por el sistema 11 (FE-0-SK), se procede a tronzar los fustes en cargadero para hacer madera corta, la denominación del sistema sería FE-0-SK_{MC}.

Igualmente, los sistemas de aprovechamiento que utilizan el método de árbol completo o trozos de árbol (números 26 al 29, en la tabla 11.1) van a sufrir siempre un procesamiento posterior

en cargadero ya que el transporte de árboles completos o trozos de árbol a centro de consumo no suele ser una opción en España. En este caso, el procesamiento puede consistir en hacer madera corta, MC (se requiere desramado, descopado y despuntado), en hacer fuste entero, FE (se requiere desramado y despuntado) o en hacer madera astillada, MA (se requiere el astillado del árbol o los trozos del árbol).

Así, en el caso de que se use el sistema AC-0-CA y posteriormente se vaya a hacer el procesado como madera corta en cargadero, el sistema se puede acompañar del subíndice MC que indica la transformación en madera corta (AC-0-CA_{MC}). En el caso de usar el sistema AC-2-AT en el que los árboles o trozos de árbol se vayan a astillar posteriormente en cargadero, el sistema sería el AC-2-AT (tabla 11.1) con el subíndice MA para indicar que se hace madera astillada en cargadero (AC-2-AT_{MA}) (figura 11.10).

Figura 11.10. Ejemplo y detalles de la aplicación del sistema completamente mecanizado AC-2-AT_{MA} en la ejecución de una clara en una masa de pino radiata. Detalle de apeo y apilado mecanizado de árbol completo y/o trozos de árbol con cabezal talador-apilador (izquierda). Desemboque de árboles enteros y/o trozos de árbol con autocargador (centro). Astillado en cargadero con una astilladora móvil (Fotos: M. Barrio Anta, izquierda, Consejería de Medio Ambiente y Desarrollo Rural del Principado de Asturias y Tragsa, centro y derecha).

Debido a la gran variedad de situaciones a las que se enfrentan las operaciones madereras y a que el éxito de esta actividad depende en gran parte de la elección del sistema de aprovechamiento más adecuado, en el apartado 4 se analiza el procedimiento a seguir para elegir el sistema de aprovechamiento "óptimo" y se presentan fichas, a modo de ejemplo, de elección del sistema en algunas situaciones particulares.

3.1. Sistemas Manuales clásicos (Grupo 1)

Denominamos sistemas manuales clásicos a aquellos en los que el apeo y procesado del árbol se realiza de forma manual con motosierra y el desembosque con autocargador, skidder, tractores agrícolas adaptados o con cable, terrestre o cable grúa. Los medios o equipos usados en los sistemas mecanizados son (figura 11.11):

- **Apeo y procesado**: manual con motosierra.

- **Reunión**: manual, tracción animal, cable de skidder, cable de equipo automotriz.

- **Desembosque:** tractor autocargador (o tractor agrícola adaptado), skidder (o tractor agrícola adaptado), carroceta y cable automotriz. Con fuste entero o árbol completo se pueden usar los tres tipos de skidder (con cabrestante, con grapa, con grapa y pluma). Sin embargo, debido su versatilidad, el skidder con cabrestante es el más usado en España.

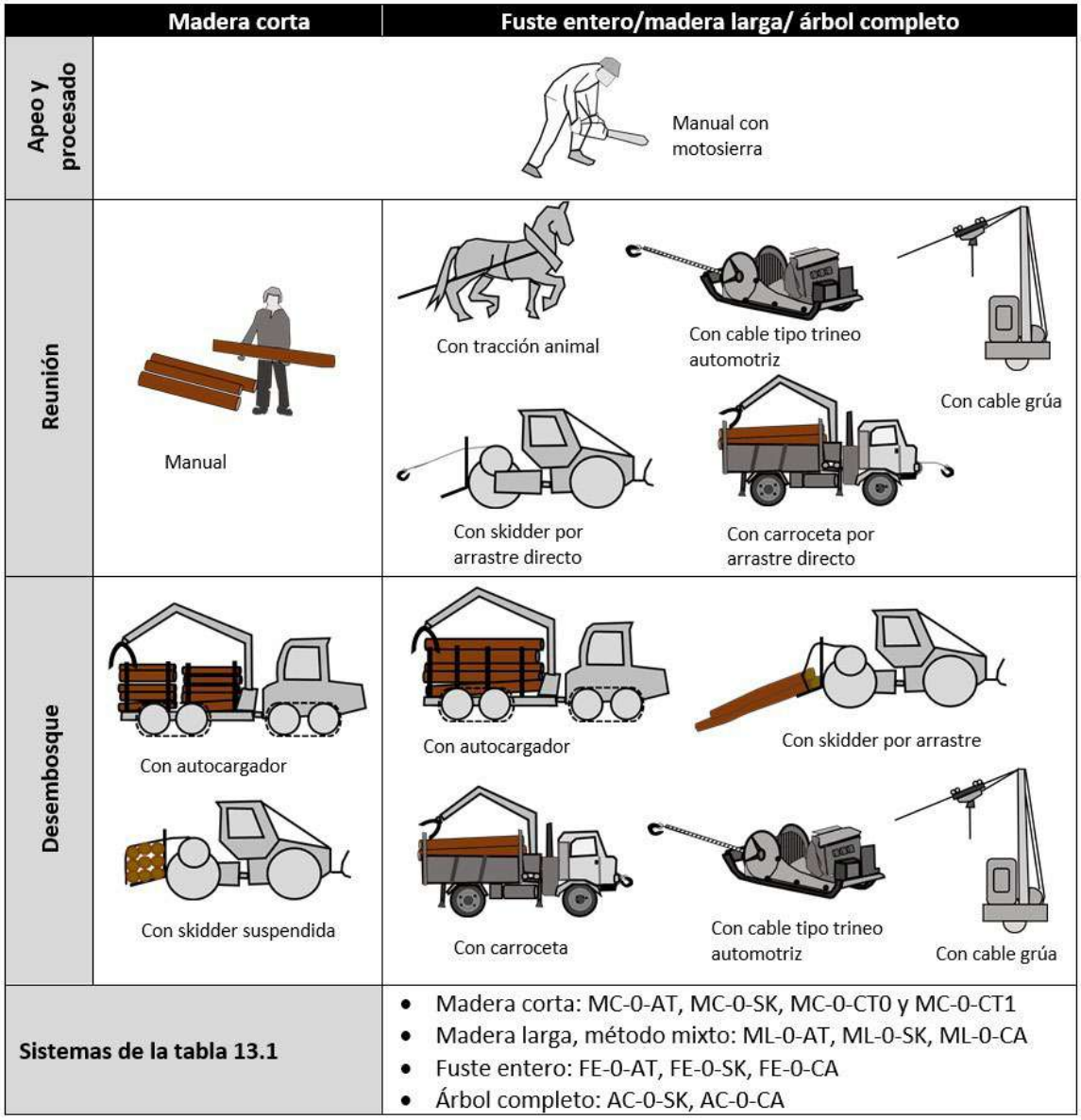


Figura 11.11. Máquinas y equipos usados en las distintas operaciones con los sistemas manuales clásicos.

Condiciones de utilización

- Son válidos para todo tipo de masas (coníferas y frondosas) y terrenos accesibles para el trabajo de máquinas de ruedas (pendientes hasta un 40%) y también para terrenos abruptos donde la madera se puede extraer utilizando cable aéreo.

- La pendiente del terreno y el tamaño de la explotación establecen los límites para la selección de los equipos de desembosque.

- Se emplean cuando se hace madera corta y/o fuste entero/madera larga en cortas finales, donde los árboles son de gran diámetro e impiden o dificultan mucho el apeo y procesado mecanizado (figura 11.12).

- Son frecuentes cuando se trata de cortas de frondosas, incluso sin ser cortas finales, ya que la mayor tortuosidad de los fustes y la presencia de troncos truncados (a excepción de eucaliptos y chopos) impide mecanizar el procesado.

- Son los sistemas aconsejables cuando se trata de explotaciones con bajo volumen de madera ya que, en estos casos, la alta repercusión de la mecanización del apeo y procesado en el coste por unidad de producción hacen que esta sea inviable.

Ventajas

- Se utilizan técnicas comunes y bien conocidas.

- Se requiere baja inversión financiera para las operaciones de apeo y procesado.

- Fácil de organizar y planificar (poca interdependencia entre operaciones).

Inconvenientes

- Baja productividad del apeo y procesado manual.

- Si no están bien coordinados y planificados el apeo y procesado con el desembosque pueden provocarse impactos ambientales altos (por falta de calles o trabajar sobre suelos sensibles o muy húmedos).

Figura 11.12. La explotación de madera de frondosa de grandes dimensiones exige el apeo y procesado manual. Apeo y tronzado de pie de *Quercus robur* (izquierda y centro) y cargadero de madera de *Castanea sativa* (derecha) (Fotos: M. Barrio Anta).

3.1.1. Sistemas manuales que emplean autocargador o skidder

Los sistemas manuales que emplean como medio de desembosque a los tractores autocargadores y a los skidders siguen siendo muy utilizados en España con los métodos de aprovechamiento más habituales (madera corta, fuste entero y madera larga).

El uso de estos sistemas es imprescindible cuando no es posible mecanizar el apeo y procesado del árbol (debido a un volumen de aprovechamiento pequeño, por razones de especie, fuste tortuoso o de gran tamaño, o condiciones desfavorables del terreno).

De forma general (independientemente de si la corta es a hecho o selectiva) con pendientes menores del 30-40% se puede utilizar el método de madera corta y para pendientes mayores los métodos de fuste entero o madera larga.

Organización y procedimiento operativo en la ejecución de cortas a hecho

Método de madera corta: cuando se van a ejecutar cortas a hecho utilizando el método de madera corta, los sistemas de aprovechamiento a usar (MC-0-AT, MC-0-SK) deben considerar los métodos nórdicos de apeo planificado, como el método del banco o el de la zona de madera, para minimizar la necesidad de reunión manual y llevar a cabo el trabajo de forma más cómoda y ergonómica (Tolosana **et al**. 2000).

Para ello se trabaja en franjas de una anchura próxima a la altura media del arbolado, dejando una calle central de 4 m por donde posteriormente circularán los tractores de desembosque. A ambos lados de la calle está la zona de apilado de la madera de unos 3 m de anchura y el resto, hasta completar una distancia igual a la altura media del arbolado, es zona de trabajo donde se apearán árboles.

El procedimiento operativo consiste en apear los primeros árboles para formar dos pilas de madera, una a cada lado de la calle, y sobre ellas tirar un árbol que servirá como “banco de trabajo” (1 en figura 11.13). Este árbol que actuará como banco de trabajo va a permitir trabajar en una posición elevada y más ergonómica aquellos árboles que posteriormente se van a ir tirando sobre el “banco” en una dirección que minimice el trabajo de la reunión (2 en figura 11.13). En este esquema de trabajo los restos de corta quedan en el centro de la calle para que amortigüen los posibles efectos adversos sobre el suelo de la circulación de los tractores forestales forestales.

Cuando los suelos son más resistentes y/o los árboles presentan poca ramosidad, se puede trabajar con la variante denominada “zona de madera”, en la que las pilas que se van formando a cada lado de la calle actúan como banco de trabajo sobre el que se van tirando los árboles existentes a cada lado para su procesado, intentado siempre minimizar la distancia de la reunión (figura 11.14).

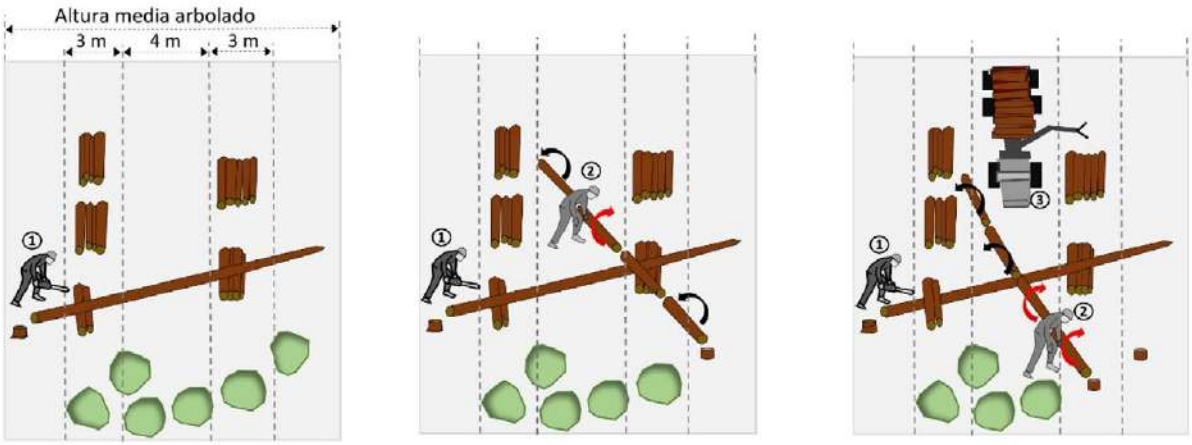


Figura 11.13. Esquema del apeo y reunión manual por el método de los bancos de trabajo. El motoserrista (1) tira los árboles sobre el banco de trabajo formado (centro y derecha) de tal forma que se puede llevar a cabo el desramado y tronzado de una forma más ergonómica y los operarios que realizan la reunión (2) deberán mover poca distancia las trozas para formar las pilas. Posteriormente, el autocargador (3) circulará por las calles para realizar el desembosque (Fuente: adaptado de Tolosana et al. 2000).

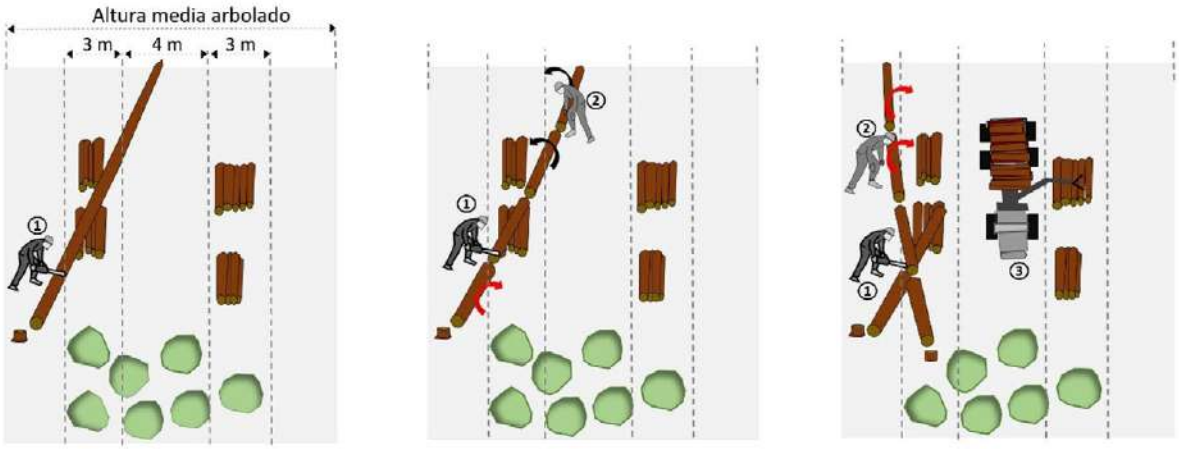


Figura 11.14. Esquema del apeo y reunión manual por el método de la zona de madera. El motoserrista (1) tira los árboles sobre el banco de trabajo formado (centro y derecha) de tal forma que se puede llevar a cabo el desramado y tronzado de una forma más ergonómica y los operarios que realizan la reunión (2) deberán mover poca distancia las trozas para formar las pilas. Posteriormente el autocargador (3) circulará por las calles para realizar el desembosque (Fuente: adaptado de Tolosana et al. 2000).

Método de fuste entero o madera larga: cuando el método de aprovechamiento es fuste entero o madera larga, exigencias del mercado o pendientes superiores al 30-40%, se puede utilizar un esquema de trabajo similar al de la zona de madera visto en la figura anterior (figura 11.15, izquierda) o concentrando la madera sobre la calle por donde circulará en este caso un skidder (figura 11.15, centro). Los sistemas de aprovechamiento serían FE-0-SK o ML-0-SK. Sin embargo, en el caso de madera larga se podría usar como medio de desembosque el autocargador con pendiente moderadas (sistema ML-0-AT). En ocasiones el skidder, debido a la escabrosidad o cuando las pendientes son mayores del 40-50%, no puede entrar al monte, por lo que realizaría el cableo desde pista (figura 11.15, derecha).

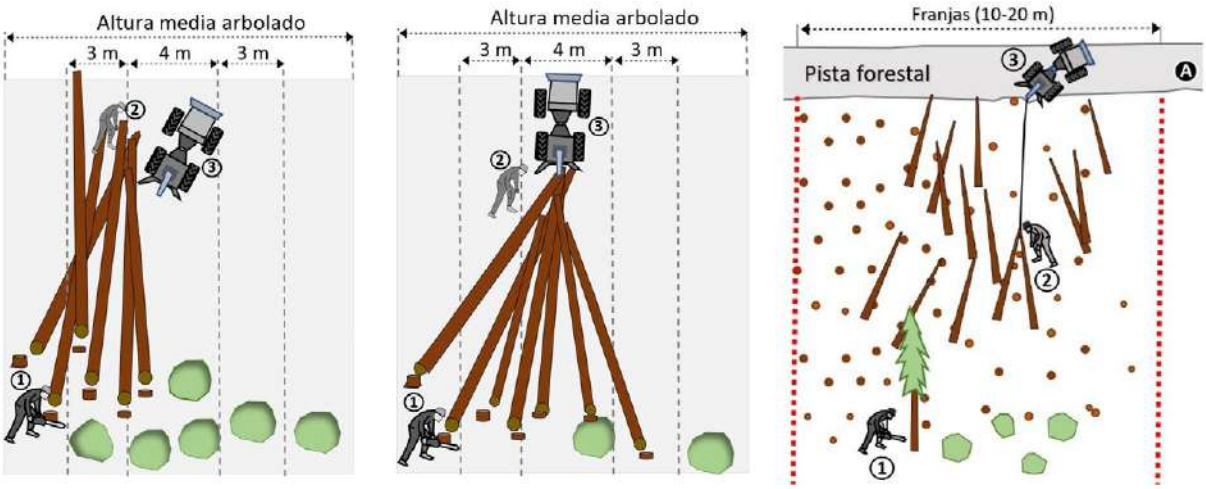


Figura 11.15. Esquema del apeo y reunión planificados por el método de la zona de madera para fustes enteros. Motoserrista (1) tira los árboles sobre la misma zona para que estos queden reunidos (franja lateral, izquierda o sobre la calle central, centro). Posteriormente un ayudante (2) enganchará los fustes al cable del skidder (3) que circulará por las calles para realizar el desembosque. En caso de dificultad de circulación por el monte, el skidder (3) puede cablear desde pista (derecha) (Fuente: adaptado de Tolosana et *al.* 2000).

El esquema mostrado en la figura 11.15 (derecha) se puede ejecutar también con cable grúa como se verá en el punto 3.1.2, que, aunque su uso es todavía escaso en España, se está incrementando en los últimos años.

Aunque en las figuras anteriores se han mostrado los procedimientos generales, existen numerosas variantes, como se muestra en la figura 11.16, en cortas a matarrasa de monte bajo de castaño en Asturias.

Figura 11.16. Aprovechamiento maderero en monte bajo de castaño de elevada pendiente por el método de fuste entero (izquierda). Reunión parcial por deslizamiento sobre la pendiente y arrastre directo con cable desde pista. Detalle del cargadero de madera (centro) y del skidder usado para la reunión y desembosque (Fotos: M. Barrio Anta).

Organización y procedimiento operativo en la ejecución de cortas selectivas

Método de madera corta: cuando se están ejecutando cortas intermedias, los sistemas que hacen madera corta MC-0-AT y MC-0-SK, deben emplear apeo dirigido para facilitar la reunión

manual de la madera y disminuir la penosidad del trabajo. Para ello, se debe trabajar por franjas con una separación de unos 10-30 metros, en cuyo extremo se debe localizar una calle de desembosque (figura 11.17). La distancia entre calles será menor cuando el peso de la corta sea mayor y viceversa (distancias de menos de 20 m cuando el peso de la corta supere los 80 m^3/ha y distancias mayores de 20 m cuando el peso de la corta sea menor a 50 m^3/ha) (Vignote **et al**. 2001).

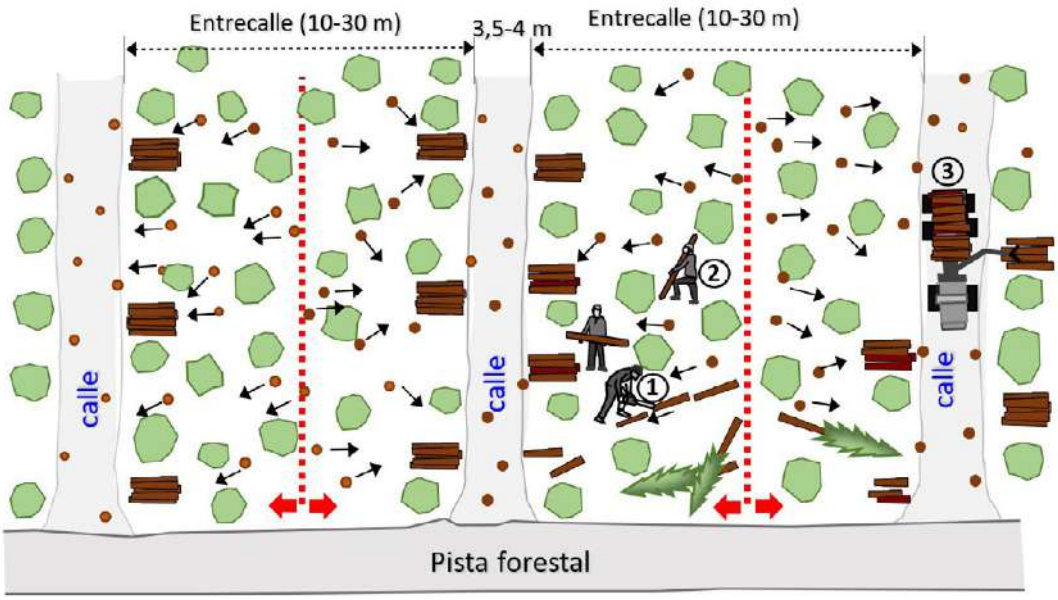


Figura 11.17. Esquema de trabajo en la ejecución de cortas selectivas por el método de madera corta y uso en el desembosque de tractor autocargador o tractor agrícola adaptado como autocargador. Las flechas representan el sentido de apeo para que tras el procesado (1), la posterior reunión (2) se haga a la menor distancia posible. Las pilas se forman a ambos lados de las calles y posteriormente el autocargador (3) circulará por ellas para realizar el desembosque (Fuente: adaptado de Tolosana et *al*. 2000).

Las calles consisten en la corta sistemática del arbolado en una anchura de 3,5-4 m para permitir la circulación de los tractores forestales en el desembosque. En terrenos con pendientes mayores del 10% las calles deben estar dispuestas según la línea de máxima pendiente, pero con pendientes menores pueden ser oblicuas, dependiendo de la configuración de la finca objeto del aprovechamiento.

Los motoserristas tirarán selectivamente aquellos árboles marcados en la clara hacia la calle más próxima para que posteriormente, tras su desrame y tronzado, sean trasladados a los bordes de las calles para ir disponiendo las pilas de forma perpendicular a estas. El tamaño de la pila será como mínimo aquel que permita una carga de la sección de la grapa del tractor, que para trozas de 2,5 m oscila entre 0,4 y 0,7 m^3.

En el caso de realizar el desembosque con skidder, la distancia entre calles suele ser mayor que en el caso del autocargador, pues el tamaño de pila que debe formar es mayor (1,5 a 3 m^3), lo que supone un mayor esfuerzo por parte del apilador al recorrer más distancia con la troza, por

lo que conviene que la madera de las pilas proceda de la misma curva de nivel. Por tanto, la distancia entre calles se debe situar entre los 20 y los 30 m, con el mismo criterio que se comentó anteriormente, es decir, en cortas de peso alto menor de 25 m y en las de peso bajo mayor de 25 m (Vignote **et al**. 2001). El motoserrista procede igual que en caso anterior, pero los apiladores en este caso forman las pilas en el centro de la calle, colocando dos o tres trozas en la dirección de la máxima pendiente, para facilitar la introducción del cable, y el resto en dirección perpendicular. La pila se sujetará con estacas clavadas en la parte aguas abajo de la ladera o sobre tocones de 1,5 m de algún árbol apeado en la calle (A en figura 11.18).

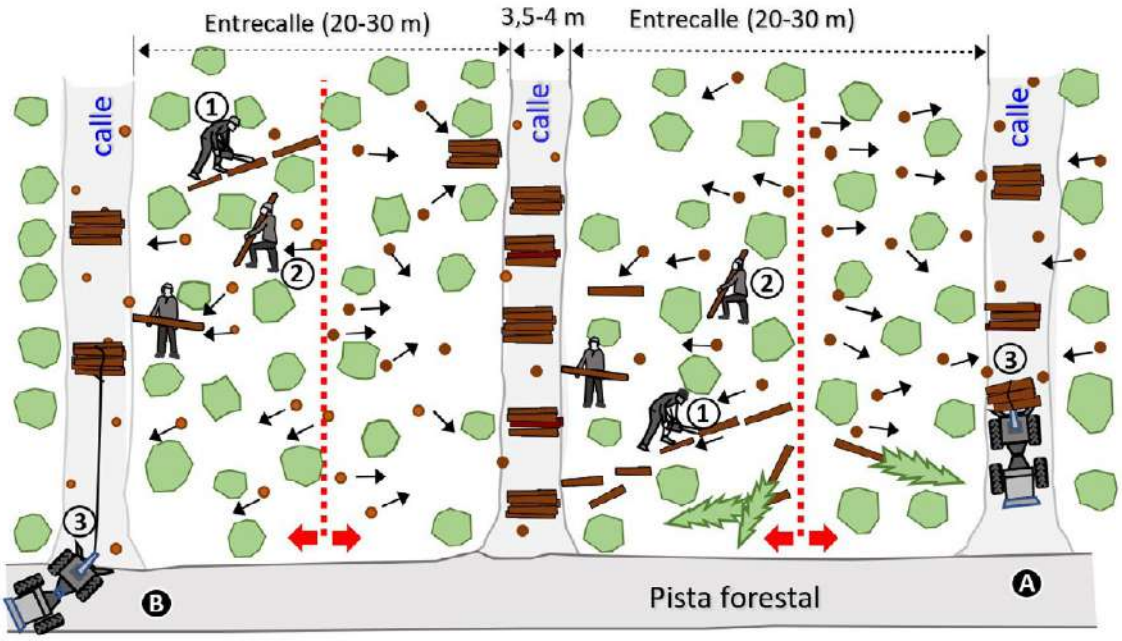


Figura 11.18. Esquema de trabajo en la ejecución de cortas selectivas por el método de madera corta y uso en el desembosque de skidder o tractor agrícola adaptado con cabrestante. Las flechas representan el sentido de apeo para que tras el procesado (1), la posterior reunión (2) se haga a la menor distancia posible. Las pilas se forman en el centro de las calles. En el caso A, el skidder puede entrar a monte (3) y circular por las calles para realizar el desembosque. En el caso B, el skidder cablea las pilas de madera desde pista (3) sin entrar a monte (Fuente: adaptado de Tolosana et *al*. 2000).

En determinadas ocasiones, el skidder, debido a la escabrosidad o cuando las pendientes son mayores del 40-50%, no puede entrar al monte por lo que realizaría el cableo de las pilas de madera desde pista (B, en figura 11.18). Se debe cablear desde pistas situadas aguas arriba, cableo hacia arriba, en distancias no superiores a 70-80 m, por lo que debe haber una red de pista suficiente (Vignote **et al**. 2001). El arrastre de las pilas causa un daño importante al suelo en las calles por donde se arrastra, por lo que sólo se deberá aplicar cuando no existe otra alternativa viable.

Método de fuste entero o madera larga: cuando se ejecutan cortas selectivas y el método de aprovechamiento es madera larga o fuste entero y se emplea como medio de desembosque el autocargador (FE-0-AT, ML-0-AT), se trabaja por franjas cuya anchura debe ser como mucho el doble de la longitud máxima de la grúa ya que en este caso no es posible la reunión manual. Al

final de cada franja se debe abrir una calle de desembosque de 3,5-4 m de anchura por donde circularán los tractores de desembosque (figura 11.19).

Los motoserristas tirarán los árboles para que estos queden lo más reunidos que sea posible y, tras su posterior desrame y despuntado, serán cargados con la grúa del autocargador. El empleo del autocargador como medio de desembosque es adecuado en caso de primeras claras, árboles no son muy altos, o en el caso de madera larga y con pendientes menores del 30-40%. En caso contrario se deberán ejecutar los siguientes sistemas que requieren el uso del skidder con cabrestante como medio de desembosque (figuras 11.20 y 11.21).

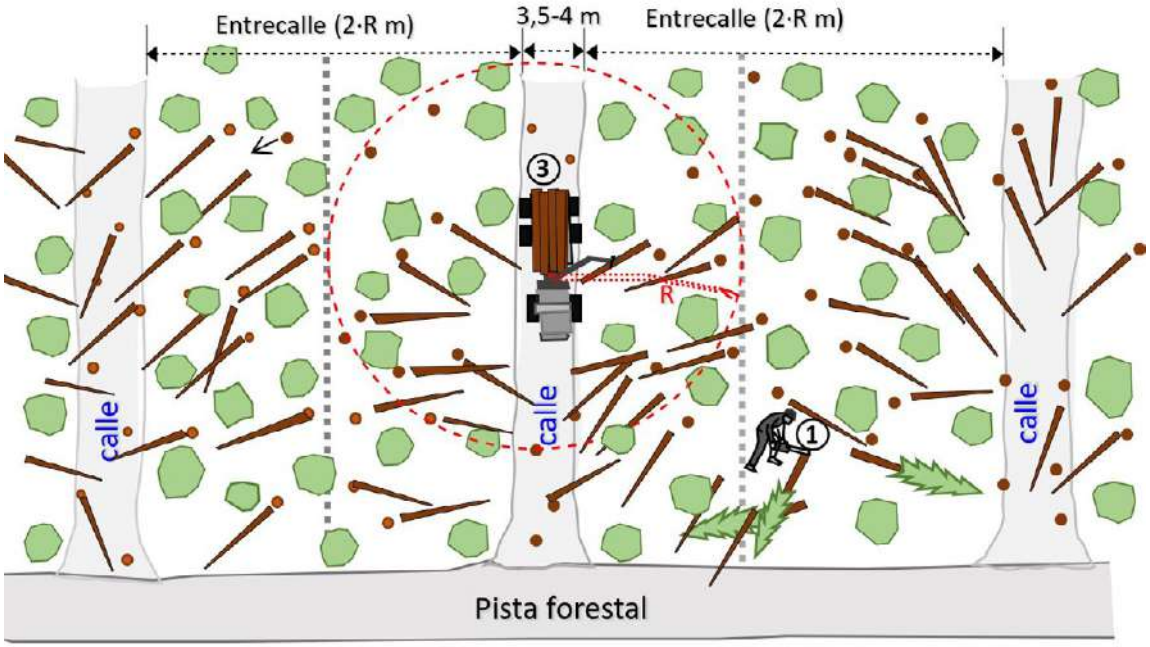


Figura 11.19. Esquema de trabajo en la ejecución de claras por el método de fuste entero o madera larga y uso en el desembosque de autocargador o tractor agrícola adaptado. El motoserrista (1) tirará los árboles hacia el lugar más próximo a las calles de desembosque. Posteriormente el autocargador circulará por las calles recogiendo con la grapa de la grúa los fustes a un lado y otro de la calle (3) (Fuente: adaptado de Tolosana et *al.* 2000).

Cuando los árboles son muy altos o el monte presenta alta escabrosidad y/o la pendiente es superior al 30-40%, el medio de desembosque a emplear debe ser un skidder con cabrestante. En el caso de fuste entero o madera larga es necesario llevar a cabo la reunión directa de las piezas de madera con el cable del skidder o eventualmente con ayuda de tracción animal (FE-0-SK, ML-0-SK). En este caso se trabajará por franjas de mayor anchura que en el supuesto anterior, de 30-50 m, en cuyo extremo se trazarán arrastraderos más o menos paralelos, por eliminación sistemática del arbolado, de los cuales saldrán otros arrastraderos secundarios en una conformación similar a “espina de pescado” (figura 11.20).

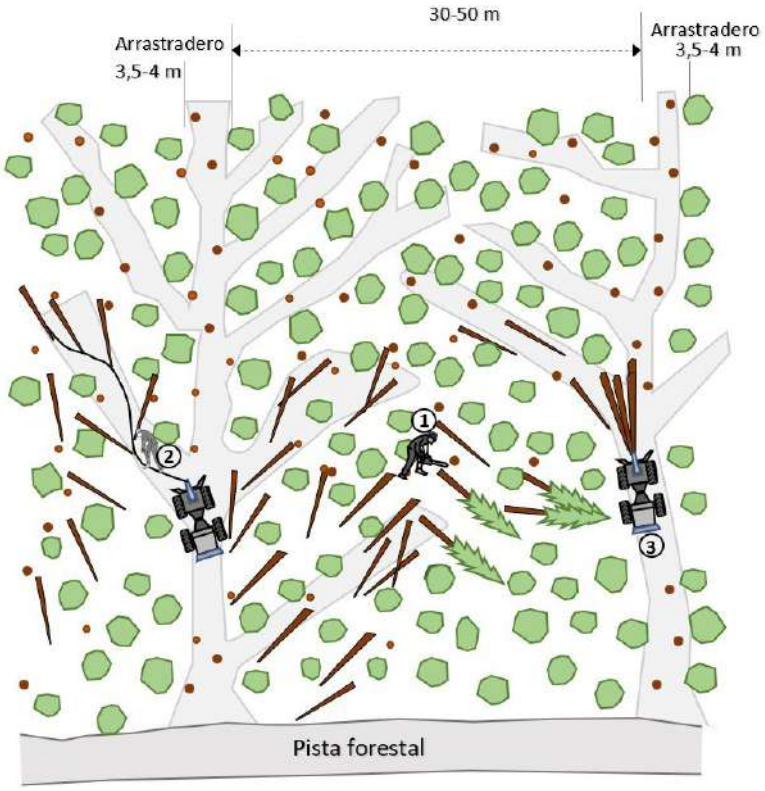


Figura 11.20. Esquema de trabajo en la ejecución de claras por el método de fuste entero o madera larga y uso de skidder o tractor agrícola con cabrestante. El motoserrista (1) tirará los árboles hacia el lugar más próximo a los arrastraderos. Posteriormente el skidder circulará por estos reuniendo los fustes con el cable por arrastre directo (2), para posteriormente llevar a cabo el desembosque (3) (Fuente: adaptado de Tolosana et *al*. 2000).

Con pendientes superiores al 50-60% y/o cuando la escabrosidad impide la circulación de tractores por el monte, se deberá cablear desde pista. En este caso se trabajará igual que en el supuesto anterior por franjas con una anchura de entre 40 y 120 m, al final de las cuales se realizará una eliminación sistemática del arbolado para que sirvan de calles de arrastre (figura 11.21). La anchura tan variable de las franjas de trabajo la marca la utilización o no de medios de reunión de la madera. En el caso de llevar a cabo la reunión con el propio cable de arrastre, la separación entre calles será como máximo 40 m (distancias máximas de reunión de 20 m) y con separaciones de hasta 120 m usando tracción animal para la reunión (Apffel 2011).

En este esquema de trabajo los motoserristas irán tirando los árboles hacia el arrastradero más próximo intentando que queden lo más reunidos que sea posible, y posteriormente tras el desrame y despuntado, se reunirán hacia los arrastraderos con ayuda de la tracción animal. En el caso de llevar a cabo la reunión con el propio cable de arrastre, la separación entre calles sería como máximo de 40 m, como se ha comentado. Una vez enganchados suficientes fustes al cable de arrastre, el tractorista activará el cabrestante y arrastrará estos hasta la pista, donde serán recogidos por un camión para su transporte a destino. Cuando la pista no es accesible a camión, el skidder continuará el desembosque, esta vez por semiarrastre, hasta un cargadero donde si pueda acceder un camión (figura 11.21).

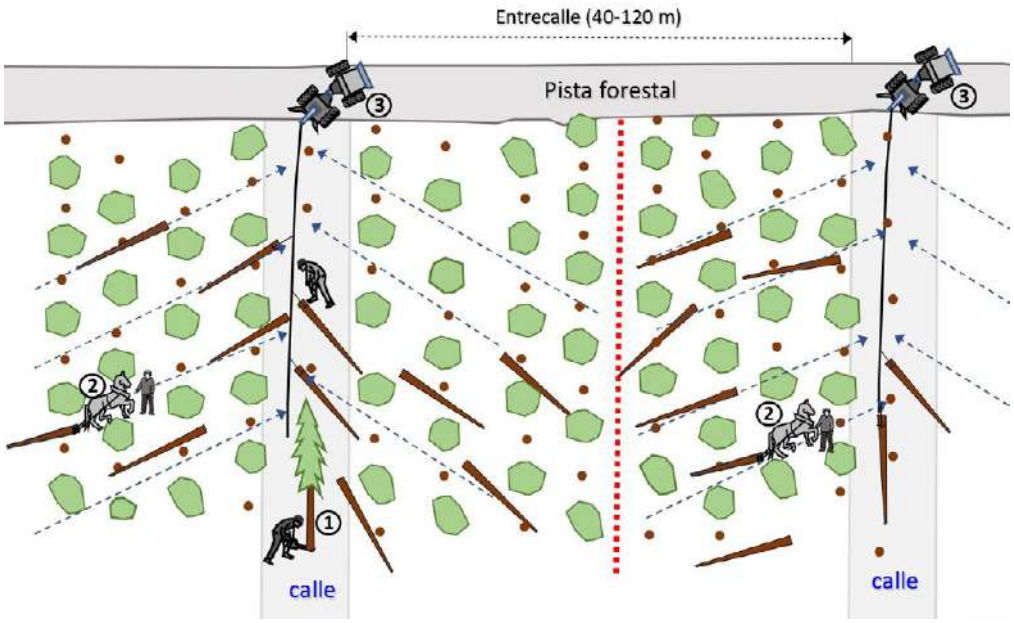


Figura 11.21. Esquema de trabajo en la ejecución de claras en terreno de mucha pendiente por el método de fuste entero y skidder cableando desde pista. El motoserrista (1) tirará los árboles hacia el arrastradero más próximo. Equipos de caballos y/o mulas (2) reunirán los fustes hasta este, donde serán enganchados al cable y posteriormente el tractorista activará el cabrestante para su desembosque (3) (Fuente: adaptado de Tolosana et *al*. 2000).

3.1.2. Sistemas manuales que emplean cable grúa

Los sistemas que emplean cable grúa son adecuados para desemboscar zonas de corta en áreas remotas sin pistas forestales, en zonas con orografía muy compleja, con pendientes superiores al 40-50%, zonas con encharcamiento o zonas que son muy sensibles ambientalmente. También puede ser la alternativa más adecuada en aprovechamientos madereros extraordinarios en áreas o zonas devastadas por incendios forestales, temporales o plagas y enfermedades.

Como ya se ha visto con detalle en el capítulo 9, la tipología y clasificación de los cables grúa es muy amplia, y así atendiendo a la envergadura y complejidad de la instalación se podía hablar de cables grúas pesados, medianos y ligeros. Los cables grúa ligeros, con longitudes de tendido que no suelen superar 200-300 m de longitud, desembosque por semiarrastre y con un número **mínimo de apoyos intermedios** (o sin ellos) y anclajes a poca altura, son la opción con más aplicación en nuestro país. La razón es que su complejidad, costes y tiempo de instalación son moderados por lo que su movilidad es relativamente rápida y son, por tanto, la opción recomendable en cortas parciales en terrenos difíciles (Tolosana et al. 2000). Se trata de equipos que suelen tener un mástil de 5 a 7 m de altura, un motor que suministra una potencia de 35 a 50 kW y pueden desplazar cargas útiles de 1000 a 1500 kg (ARMEF 1993).

La operación con cables grúas ligeros con carros simples, que no permiten la extensión del cable que cuelga de este, sólo permite recoger cargas justo debajo del cable portador en una franja de 1-2 m de ancho a cada lado. Por tanto, este tipo de carros limitan mucho la eficiencia

de la operación con cables grúa. En este sentido es recomendable el uso de carros con posibilidad de extensión lateral del cable, bien sea manualmente o asistida por un motor montado en el propio carro (Varch et al. 2021). Este tipo de carros permite extraer los fuste o árboles situados a ambos lados de esta franja extendiendo lateralmente el cable con gancho que cuelga del carro en forma de "espina de pescado" y enganchando las eslingas con chocker o las cadenas enganchadas a la carga, como se muestra en la figura 11.22 (sistemas FE-0-CA, ML-0-CA o AC-0-CA). En este momento el operario avisa por radio al operador del cable grúa quien activa el cabrestante que enrolla el cable tractor arrastrando la madera hasta la vertical del carro de carga, momento en el que la carga puede ser ya desemboscada en semiarrastre hasta la zona de acopio.

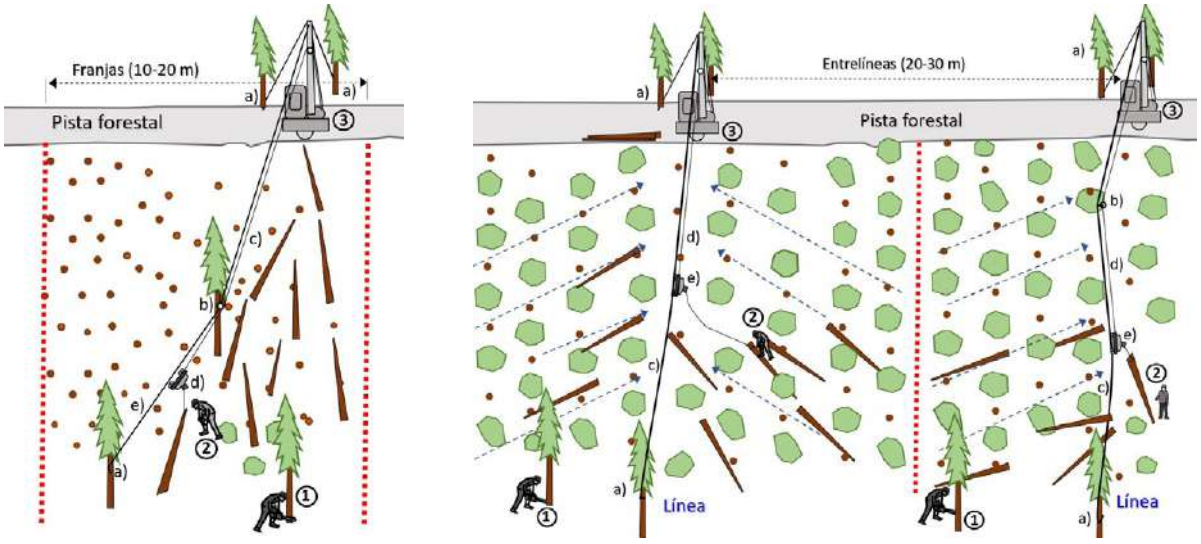


Figura 11.22. Esquema de trabajo en la ejecución de corta a hecho (izquierda) y claras (derecha) en terreno de mucha pendiente por el método de fuste entero y uso de cable grúa ligero cableando desde pista (sistema FE-0-CA en tabla 11.1). El motoserrista (1) tirará los árboles hacia la zona más próxima a donde se ha tendido la línea de cable. Un operario estirará el cable de recogida de cargas hasta los árboles o fustes a extraer (2) y se reunirán con este cable hasta la calle y posteriormente se llevará a cabo su desembosque activando el cable tractor del cable grúa (3). Donde: a) anclajes, b) apoyo intermedio, c) cable tractor, d) carro y e) cable portador (adaptado de Tolosana et al. 2000).

La superficie desemboscada en cada línea de cable depende de la longitud de esta y de la anchura que es posible abarcar con la extensión del cable del carro. La longitud viene marcada por la separación entre pistas forestales dispuestas más o menos paralelas a las curvas de nivel en las laderas. Por su parte, la anchura de la zona a desemboscar en cada línea depende de la distancia máxima a la que podemos extender el cable de elevación a ambos lados de la vertical del cable portador. Esta anchura depende de las condiciones fisiográficas, la densidad de corta, el tamaño del equipo, los daños del arrastre a la vegetación remanente, etc.; variando desde 5-10 m hasta los 20-25 m de extensión a ambos lados de la calle de 3-4 m sobre la vertical del cable portador (ARMEF 1993). Así para una longitud de línea de cable de 300 m, 1 ha de desembosque se cubre extendiendo y recogiendo carga a 16,7 m

a ambos lados de la vertical de cable portador. En el caso de emplear tracción animal para aproximar los fustes a la línea de cable se pueden considerar separaciones entre calles de cableo de hasta 120 m.

La disposición en planta de las líneas de cable, como ya se explicó en el capítulo 9, pueden ser paralelas o convergentes hacía arriba o hacia abajo en la ladera. La disposición de líneas de cable paralelas requiere la presencia de pistas más o menos paralelas en la parte superior e inferior de las líneas y precisan de mayor número de desplazamientos del equipo de cable para cubrir la misma zona de desembosque en relación con las líneas convergentes o divergentes (ver apartado 6.1 del capítulo 9).

Los sistemas de cable aéreo pueden actuar en subida, subiendo cargas de la parte baja de la ladera a una pista situada en la parte más alta (figura 11.23, izquierda) o en bajada, descendiendo troncos desde la parte alta de una ladera hasta una pista situada en la parte más baja (figura 11.23, derecha), actuando en este caso el cable tractor como freno para el desplazamiento de la carga. Los cables grúas que actúan solamente en subida, pueden ser más simples y baratos ya que el carro del que sale el cable portante de la carga puede retornar por gravedad (bicables). En cambio, los cables grúas que operan también desde abajo necesitan disponer de un cable adicional para el retorno del carro (tricables todo terreno).

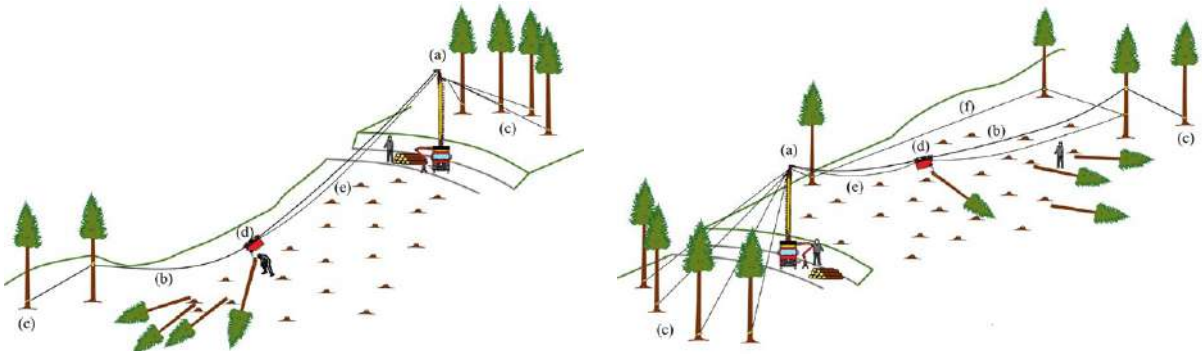


Figura 11.23. Diagrama de trabajo de un sistema de aprovechamiento maderero con uso de cable grúa y método de árbol completo (sistema AC-0-CA de tabla 11.1). Equipo bicable trabajando en ascenso (izquierda) y tricable trabajando en descenso (derecha). El motoserrista (1) tirará los árboles hacia la zona más próxima a donde estará ubicada la línea de cable. Donde: a) equipo cable grúa, b) cable portador, c) anclajes, d) carro con cable y gancho final para recoger la carga, e) cable tractor y f) cable de retorno (Fuente: adaptado de Varch et al. 2021).

Por regla general, el desembosque con cable aéreo no es un método especialmente económico, por lo que su utilización a menudo se justifica por el valor de la madera, por el valor o fragilidad ambiental de la zona a aprovechar, que podría sufrir daños importantes si se desemboscara con otros medios, y/o por la necesidad urgente de extraer la madera (zonas afectadas por incendios forestales, tempestades y plagas o enfermedades).

3.1.3. Sistemas manuales que emplean carroceta

Los camiones todoterreno de pequeño tamaño (conocidos como carrocetas) son un medio utilizado tradicionalmente en terrenos abruptos en el norte de España en la explotación por cortas a hecho (o casi a hecho) de pequeños rodales o lotes de madera de frondosas con árboles de considerable tamaño (principalmente castaño y roble). Las razones de su empleo han sido: i) la alta capacidad de tracción de este vehículo y ii) la gran altura de despeje y el poco ancho de vía (anchura exterior máximo de las ruedas traseras de 1,65 m) que presenta. Estas dos razones han convertido a la carroceta en el único medio viable para realizar el desemboque de madera en zonas remotas del norte de España con pistas de mala calidad y sobre todo muy estrechas.

Un sistema utilizado consiste en el empleo de cable automotriz y carroceta (MC-0-CT1). Tras el apeo y procesado de forma manual con motosierra, la reunión se lleva a cabo cableando con equipos semipesados que transportan las carrocetas y que algunas veces son construidos en talleres locales. El esquema de trabajo es similar a lo que se puede ver en la figura 11.15 (derecha), pero en este caso la saca (reunión y desembosque) es por arrastre directo de cable automotriz. Posteriormente el desembosque se completa hasta cargadero de camión con otra carroceta, por lo que en estas situaciones el desembosque constaría de dos fases: la primera cableo por equipo de cable automotriz y la segunda, desembosque hasta cargadero de camión de transporte, con carroceta.

Otra forma de proceder, en lotes con árboles que no sean de mucho tamaño, es cableando directamente con el cabrestante mecánico que incorporan las carrocetas IPV y que va acoplado a la caja de cambios. Esto les permite el cableo lateral de las piezas de madera y posteriormente las propias carroceas actúan como vehículo para la saca de la madera (figura 11.24). Las carrocetas de fabricación actual (Uro) sólo incorporan un cabrestante frontal hidráulico que es útil para desatascar el vehículo, pero menos para cablear madera. En este caso su principal utilidad es como alternativa al tractor autocargador para pequeños lotes de madera en zonas con pistas de acceso muy estrechas y en mal estado (sistema MC-0-CT0).

Figura 11.24. Empleo de camión todoterreno de pequeño tamaño (carroceta) de la marca IPV en el desembosque de madera de pino (izquierda) y de frondosa (derecha) (Fotos: R. González Fernández).

3.2. Sistemas mecanizados (Grupo 2)

La mecanización de todas las operaciones forestales ha sufrido un fuerte impulso en las últimas décadas debido a las siguientes razones: i) la existencia en el mercado de una amplia gama de máquinas y equipos que se adaptan prácticamente a todas las situaciones, ii) la búsqueda de nuevos métodos de explotación que faciliten el trabajo y reduzcan el riesgo de accidentes, iii) la dificultad creciente para encontrar motoserristas profesionales para realizar las operaciones manuales, iv) la mayor rentabilidad respecto a la elaboración manual (reducción de costes y aumento de la productividad) y v) la mayor facilidad para la gestión del personal por parte de las empresas.

Denominamos sistemas mecanizados a aquellos en los que el apeo y/o procesado del árbol se realiza de forma mecanizada. Aquellos sistemas en los que tanto el apeo como el procesado se llevan a cabo de forma mecanizada se denominan "completamente mecanizados" y pueden ser realizados con una única máquina (cosechadora forestal) o con dos máquinas, mecanizándose por un lado el apeo con una taladora-apiladora y por otro el procesado con una cosechadora forestal (figura 11.25). Por su parte, la variante parcialmente mecanizada se refiere al sistema en el que el apeo se lleva a cabo de forma manual con motosierra, pero el procesado se mecaniza con una cosechadora que circula por el monte o bien actúa desde una pista.

Figura 11.25. Sistema completamente mecanizado (MC-3-AT) en un aprovechamiento de eucalipto en el norte de España. La alta productividad de la taladora apiladora de disco (1), requiere de dos cosechadoras (2) para realizar el procesado (en este caso incluye descortezado) y dos autocargadores para el desembosque (3) (Foto: Maderas Paco Cacharolo).

Los sistemas mecanizados son los actualmente dominantes en España en la ejecución de claras en masas de coníferas y en los aprovechamientos de plantaciones de eucalipto en el norte del país. En las choperas, aunque prevalece el apeo y procesado manual, también cada vez es más frecuente su mecanización con el empleo de cosechadoras forestales o taladoras-apiladoras seguidas de cosechadora (Kollert 2018).

La mecanización del apeo y procesado, siempre y cuando haya equipos disponibles, viene condicionada fundamentalmente por tres aspectos: i) tamaño y rectitud de los troncos de los árboles (deben ser rectos y con diámetros normales menores de 60 cm), ii) la orografía (terreno poco rugoso y pendiente menor del 30-40%) y el iii) tamaño del aprovechamiento y/o volumen de corta (necesarios para rentabilizar el alto coste de la maquinaria de apeo y procesado).

Los medios o equipos usados en los sistemas mecanizados son (figura 11.26):

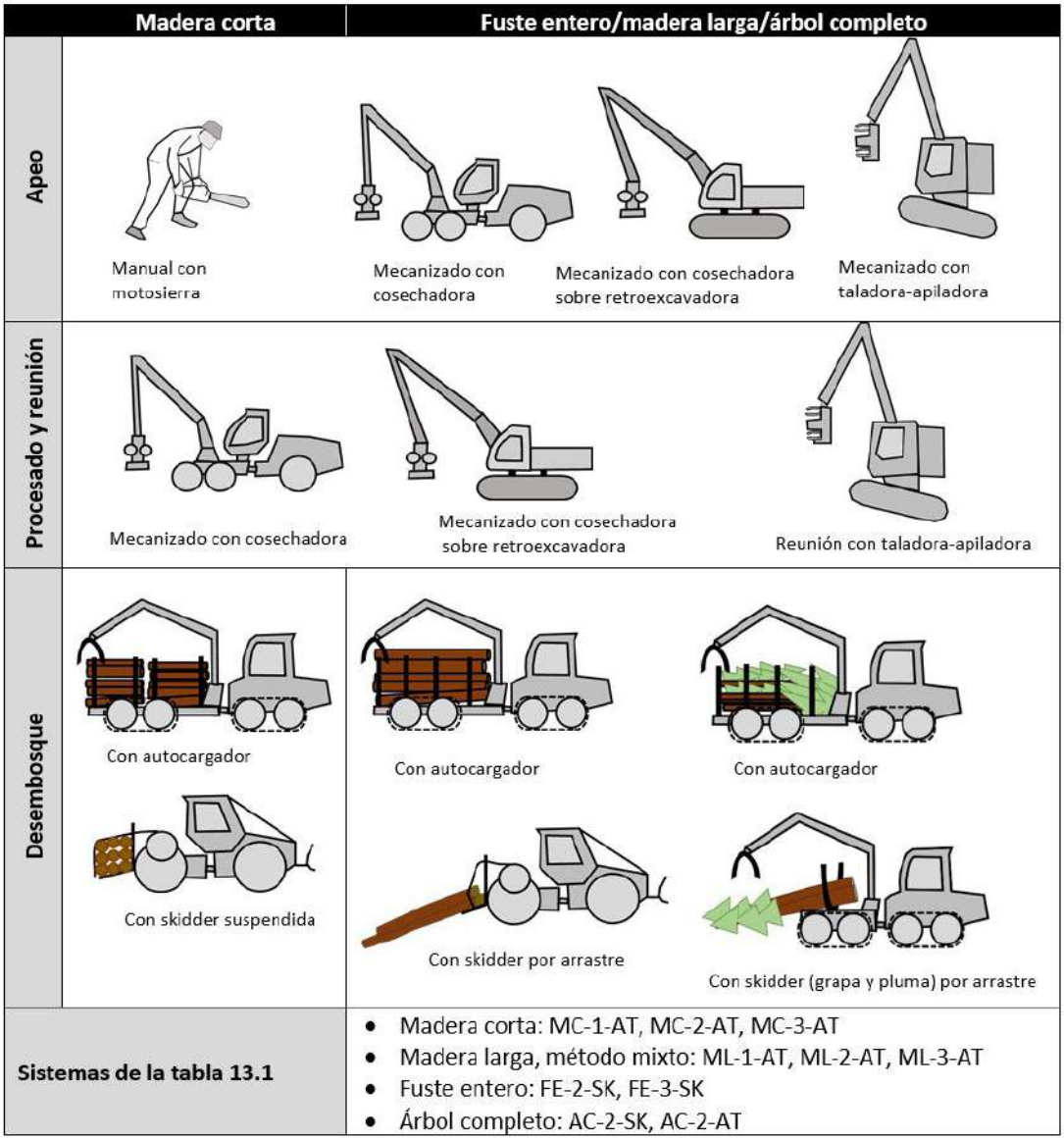


Figura 11.26. Máquinas y equipos usados en las distintas operaciones con los sistemas mecanizados.

- **Apeo**: manual con motosierra, cosechadora forestal propiamente dicha, cosechadora forestal sobre retroexcavadora, taladora-apiladora.

- **Procesado y reunión**: cosechadora forestal propiamente dicha, cosechadora forestal sobre retroexcavadora, taladora-apiladora (sólo reunión).

- **Desembosque:** tractor autocargador (o tractor agrícola adaptado), skidder (o tractor agrícola con cabrestante).

Condiciones de utilización

- El uso de máquinas de ruedas está limitado por pendientes menores de un 40%.

- En pendientes elevadas (40-60%), se pueden usar máquinas de cadenas con cabinas autonivelantes o bien acudir al cable grúa. La retroaraña dotada de cabezal cosechador puede actuar hasta pendientes del 70-80%.

- Principalmente para masas de coníferas y de eucalipto o chopo y de difícil aplicación a otras frondosas.

- No es aplicable a árboles de gran tamaño (> de 60 cm de diámetro normal).

Ventajas

- Alta productividad y sistemas muy bien conocidos en coníferas y en eucalipto.

- Los restos de corta, si no se van a extraer, se depositan sobre las calles por donde circularán las máquinas, lo que facilita las operaciones de limpieza, limita los impactos sobre el terreno y reduce los costes de reforestación posterior en el caso de cortas de regeneración.

- Fácil de organizar y planificar.

Inconvenientes

- Equipos con alto nivel de inversión financiera.

- El uso de las cosechadoras y las taladoras-apiladoras están limitadas por las pendientes del terreno y por el tamaño del arbolado.

- El procesado con cosechadora requiere que los troncos tengan bastante rectitud (dificultad de aplicación en algunas frondosas como los robles).

- Si no se planifica bien o en el caso de suelos sensibles o húmedos, el desembosque puede causar impactos importantes sobre el suelo.

3.2.1. Sistemas parcialmente mecanizados

Se trata de sistemas que se usan con bastante frecuencia en los aprovechamientos de montes de eucalipto, y en menor medida en las de pino, en Galicia y la Cornisa Cantábrica. Se usan para hacer tanto madera corta como madera larga, que son los métodos de aprovechamiento más frecuentes (sistemas MC-1-AT y ML-1-AT), aunque pueden ser usados igualmente para fuste entero (sistema FE-1-SK).

Los equipos que se usan en estos sistemas de aprovechamiento constan de uno o dos motoserristas para el apeo, una cosechadora forestal para el procesado y un autocargador para el desembosque.

3.2.1.1. Variante 1: Cosechadora circula únicamente por pistas forestales

Se aplicará exclusivamente con cortas a hecho y se podrá emplear con el método de aprovechamiento de madera corta o madera larga. Se trata de un esquema que se va a utilizar en terrenos con bastante pendiente (por encima del 30-40%) y/o alta escabrosidad, donde la circulación de la maquinaria por el monte es peligrosa o imposible. Para ello es necesario abrir pistas forestales con el típico trazado en "zeta" que permite cubrir la zona a cortar de forma más o menos uniforme. La separación entre pistas debe ser como máximo el doble de la altura media del arbolado para que el brazo de la cosechadora pueda alcanzar desde la pista todos los árboles para su posterior procesado en ella y apilado en un lateral o en la propia pista. La cosechadora forestal está formada por un cabezal multifunción, que frecuentemente va instalado sobre la punta de grúa de una máquina retroexcavadora de cadenas adaptada para los trabajos forestales (figura 11.27).

Figura 11.27. Máquina retroexcavadora de cadenas adaptada para el trabajo forestal y dotada de cabezal cosechador en punta de grúa y cabrestante en el brazo de elevación (Fotos: M. Barrio Anta).

Organización y procedimiento operativo

Se trata de un sistema que se aplica únicamente con cortas a hecho y con los métodos de aprovechamiento de madera corta (MC-1-AT) o madera larga (ML-1-AT). El motoserrista comienza el apeo dirigido de los árboles, empezando de abajo hacia arriba en la ladera, tirando los árboles en aquella dirección que facilite el trabajo posterior de la cosechadora (1 en figura 11.28 izquierda). En el caso de apearlo en máxima pendiente o en dirección oblicua, existe cierta reunión de los árboles debido al deslizamiento de estos sobre el terreno. La cosechadora forestal circula por las pistas abiertas, estaciona y comienza a extender la grúa para agarrar los árboles apeados, que serán arrastrados hasta el borde de la pista donde comienza a procesarlos dejando las trozas apiladas, siempre que la pendiente lo permita, al borde de la pista (si no tras la máquina) y los restos de ramas y/o corteza en el terraplén (2 en figura 11.28 izquierda). Posteriormente al procesado, comienza la fase de desembosque con tractor forestal autocargador que va a circular por las mismas pistas abiertas o acondicionadas para la cosechadora forestal (3 en figura 11.28 izquierda) y desemboscará la madera hasta cargadero de camión (4 en figura 11.28 izquierda).

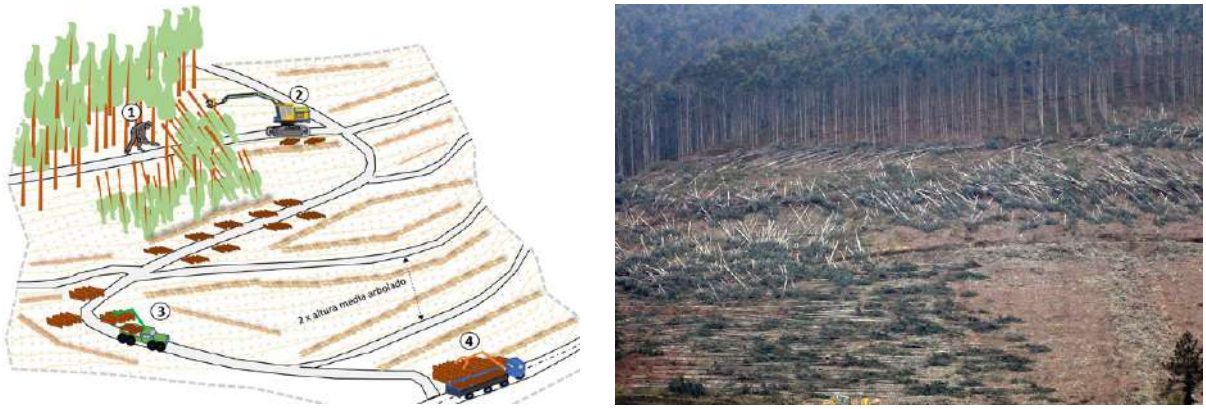


Figura 11.28. Esquema de ejecución de sistema de aprovechamiento parcialmente mecanizado con máquinas circulando sólo por pistas forestales (izquierda) (adaptado de Vignote et al. 2001). Ejemplo de la aplicación del sistema, con alguna variante, ya que en la parte inferior derecha la cosechadora se ha desplazado por el monte debido a que la pendiente del terreno es favorable y a que la separación entre pistas es mayor del doble de la longitud de la grúa de la cosechadora (derecha) (Foto: M. Barrio Anta).

3.2.1.2. Variante 2: Cosechadora puede circular por todo el monte

En explotaciones de eucalipto y de pino mecanizables, cuando la cosechadora se puede mover por el monte, se suele utilizar el sistema completamente mecanizado que se explicará a continuación. Sin embargo, en ocasiones puede ser más adecuado y/o rentable el apeo con medios manuales, debido a la forma del arbolado (por ejemplo, chirpiales de eucalipto con muchos brotes por cepa que hacen inoperativo el trabajo de la procesadora a la hora de apear) o bien debido a la configuración del cabezal procesador (que no permita el giro completo para el apeo directo o que, debido a la situación de la cadena de corte, deje una altura de tocón inasumible si realiza el apeo directo). En este caso el apeo se realiza manualmente y el procesado posterior con la cosechadora. Se trata de un esquema que se aplica en cortas a hecho (excepcionalmente en claras) y

que se puede emplear tanto con el método de aprovechamiento de madera corta como con el de madera larga, sistemas de aprovechamiento (MC-1-AT y ML-1-AT) (figura 11.29).

Figura 11.29. Aplicación del sistema parcialmente mecanizado con el método de aprovechamiento de madera larga (ML-1-AT) en eucalipto. Apeo manual con motoserrista (izquierda), procesado con cosechadora sobre retroexcavadora adaptada (centro) y desembosque con autocargador (derecha) (Fotos: M. Barrio Anta).

Procesado con cosechadora sobre retroexcavadora

El motoserrista apea los árboles en la misma dirección, que puede variar por zonas, para facilitar el trabajo de la cosechadora (1 en figura 11.30). Posteriormente la cosechadora trabaja por franjas separadas, como máximo el doble del alcance de la grúa (en la práctica 15-20 m), realizando el procesado y la reunión de la madera en cordones a los lados de la calle por la que circula (2 en figura 11.30). A continuación, entra en escena el autocargador, que circulará por las calles por donde pasó la procesadora realizando la carga de la madera y el posterior desembosque de la misma hasta cargadero de camión (3, en figura 11.30). Los restos de corta quedan en las calles para reducir el impacto sobre el suelo de la circulación de las máquinas. Sin embargo, en caso de realizar su extracción, por empacado o por astillado in situ con autocargador con astilladora integrada, estos deberán quedar en un lateral para evitar el ensuciado y su enterrado parcial.

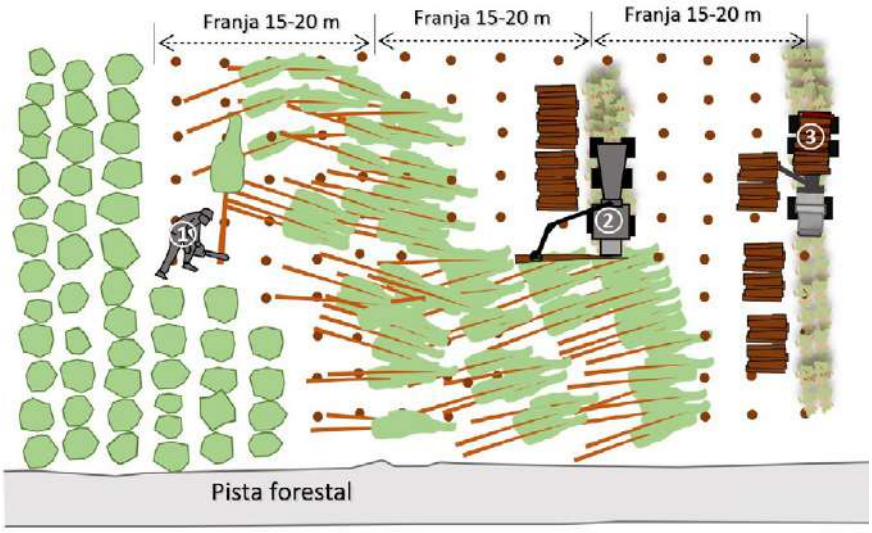


Figura 11.30. Esquema de trabajo del sistema parcialmente mecanizado con por el método de madera corta, con uso de cosechadora forestal para el procesado y la reunión, y autocargador para el desembosque.

3.2.2. Sistemas completamente mecanizados

En los sistemas completamente mecanizados, tanto el apeo como el procesado y el desembosque se llevan a cabo de forma mecanizada. Dependiendo del número de máquinas que se usan en el apeo y procesado se puede hablar de dos sistemas diferentes: apeo y procesado con una única máquina (cosechadora forestal) y apeo y procesado con dos máquinas (apeo con taladora-apiladora y procesado con cosechadora). Además, en el caso del método de árboles completos (tradicional o partes de árbol), cuando se pretenden ejecutar claras cuyos árboles serán posteriormente astillados para uso energético, es frecuente usar una taladora apiladora para el apeo y hacer el desembosque posterior de los árboles o los trozos de estos con autocargador.

3.2.2.1. Sistemas completamente mecanizados con cosechadora forestal

Es un sistema muy empleado en la ejecución de primeras y segundas claras en repoblaciones de coníferas en España, siempre y cuando las condiciones del terreno permitan el uso de máquinas de ruedas o cadenas. También se emplea con frecuencia en el aprovechamiento a matarrasa de eucaliptares en Galicia y la Cornisa Cantábrica en terrenos de poca pendiente (<20-30%) y/o en el que las máquinas pueden circular por el monte.

Organización y procedimiento operativo

Cortas a hecho: se trata de un procedimiento bastante empleado en las cortas a matarrasa de eucaliptares en el norte de España cuando la baja escabrosidad o la pendiente (menor del 20-30% habitualmente) permite la circulación por el monte de las cosechadoras forestales. Se puede utilizar con el método de aprovechamiento de madera corta o madera larga, sistemas de aprovechamiento MC-2-AT y ML-2-AT (figura 11.31).

Figura 11.31. Detalle del apeo y procesado mecanizado con cosechadora forestal en un aprovechamiento de eucalipto empleando el método de aprovechamiento de madera larga. Detalles de la carga de las pilas de madera formadas en autocargador (derecha). El sistema de aprovechamiento usado es el ML-2-AT (Fotos: E. García Coya).

La cosechadora forestal circulará por calles, separadas como máximo el doble del alcance de la grúa, y dispuestas en la dirección de máxima pendiente. Desde la calle, la cosechadora va alcanzado los árboles que apeará y posteriormente arrastrará con la grúa para procesarlos y apilarlos a ambos lados de la calle por donde circula (1 en la figura 11.32). Posteriormente entrará el autocargador que circulará por las mismas calles por donde pasó la cosechadora e irá cargando la madera para desemboscarla hasta cargadero de camión (2 en la figura 11.32). Igual que se comentó en el esquema de trabajo anterior, si los restos de corta se va a extraer para su uso energético, estos no deben quedar sobre la calle si no en un lateral al lado de las pilas de madera.

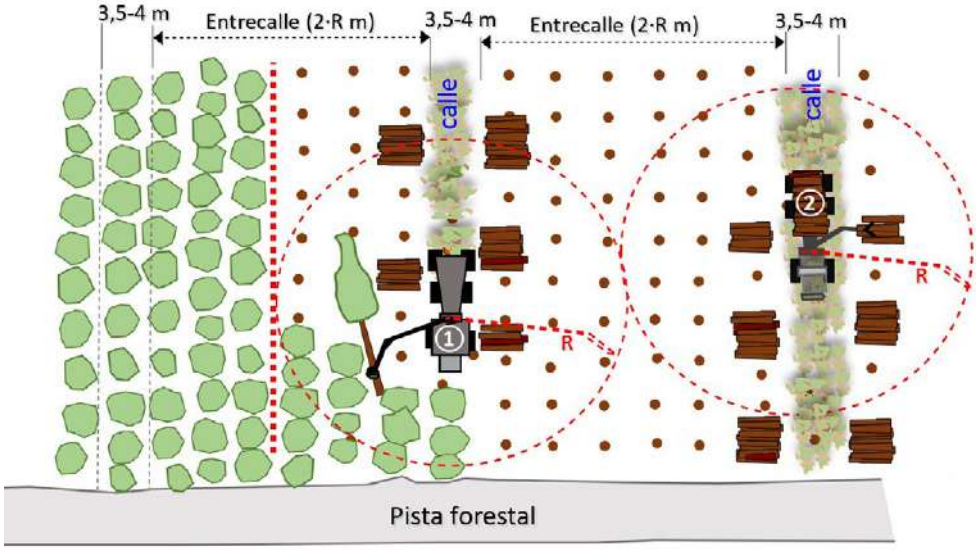


Figura 11.32. Esquema de trabajo de una corta a hecho completamente mecanizada por el método de madera corta, con uso de cosechadora forestal para el apeo, procesado y reunión y autocargador para el desembosque. Con el método de madera larga, el esquema sería similar pero la carga en el autocargador sería longitudinal y no transversal.

Cortas selectivas: el sistema completamente mecanizado (MC-2-AT o ML-2-AT) se emplea de forma habitual en la ejecución de primeras o segundas claras en montes de coníferas en España (figura 11.33). Las condiciones que permitirían su aplicación son (Vignote et al. 2001): i) baja escabrosidad y pendientes del monte suaves (menores del 25-30%) y ii) peso de la corta grande, usualmente por encima de los 80-90 m^3/ha, aunque podría ser menor si hay dificultad para encontrar mano de obra.

El procedimiento operativo es similar al de una corta a hecho, con la salvedad que en este caso la cosechadora sólo apeará los árboles señalados para su extracción en clara (figura 11.34). También se pude hacer la misma recomendación sobre los restos de corta; si estos no se van a extraer pueden quedar sobre las calles, pero si se va a llevar a cabo su extracción posterior, deben quedar acumulados en un lateral al lado de las pilas de madera.

En el caso de segundas claras en coníferas, la buena conformación y tamaño de los árboles y la demanda del mercado, pueden imponer la aplicación del método de fuste entero. En este caso la cosechadora actuaría de forma similar al esquema de la figura 11.34, aunque los fustes se

irían dejando a ambos lados de las calles y apilados de forma paralela a esta para su posterior extracción hasta cargadero por arrastre con skidder (sistema FE-2-SK).

Figura 11.33. Detalle del apeo, procesado y apilado mecanizado con cosechadora forestal en la ejecución de una clara en una plantación de pino silvestre (izquierda). Detalles de las pilas de madera en el lateral y restos de corta sobre la calle (centro). Desembosque con tractor agrícola adaptado para el desembosque de madera corta en remolque (derecha) (Fotos: M. Barrio Anta y F. Veiga Aguiar).

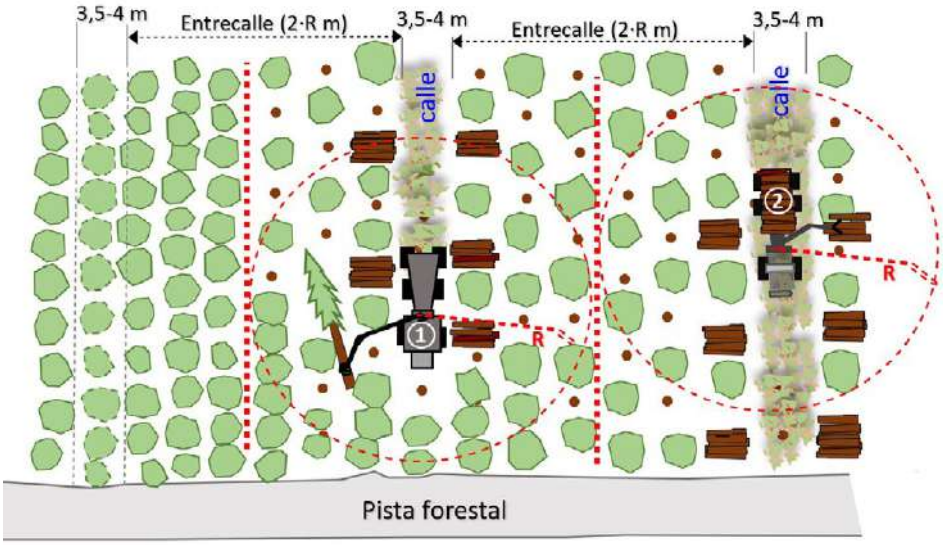


Figura 11.34. Esquema de trabajo de una clara completamente mecanizada por el método de madera corta, con uso de cosechadora forestal para el apeo, procesado y reunión y autocargador para el desembosque. Con el método de madera larga, el esquema sería similar pero la carga en el autocargador sería longitudinal y no transversal.

3.2.2.2. Sistemas completamente mecanizados con taladora-apiladora y cosechadora forestal

A diferencia de los sistemas anteriores, aquí se mecaniza por un lado el apeo y por otro el procesado de la madera. Se van a usar dos máquinas diferentes o dos cabezales diferentes acoplados sobre la punta de grúa de la misma máquina tractora (habitualmente retroexcavadora de obra pública adaptada).

El apeo se va a realizar con taladoras-apiladoras, que son máquinas de ruedas o cadenas con brazos de hasta 7-8 metros de alcance que en su extremo incorporan un cabezal dotado de un disco o cuchilla de corte que permite el apeo de árboles de hasta 55 cm de diámetro. Se trata de máquinas de alta potencia (300-320 CV) y gran peso que, junto con sistemas de autonivelado de la cabina, no en cabezales incorporados a retroexcavadora, aseguran su estabilidad sobre el terreno. Además, las taladoras-apiladoras incorporan rotación continua de la estructura superior (cabina y grúa) que le permite trabajar en el radio de alcance de la grúa sin necesidad de moverse y disponen además de brazos acumuladores y, por tanto, pueden talar hasta 2-3 árboles de 15-20 cm en el mismo ciclo de la grúa (Bravo y Ortuzar 2016).

Las taladoras-apiladoras pueden ser de cizalla o de disco. Las de cizalla son más robustas que las de disco y son la mejor opción en montes accidentados o con pedregosidad, aunque producen peor calidad de corte por lo que el rebrote posterior de las cepas puede ser peor en el caso de montes bajos. Las taladoras de disco presentan un rendimiento mayor, pero necesitan máquinas de más potencia y más caudal hidráulico por lo que el coste de adquisición es hasta un 30-40% mayor que el de una taladora de cizalla. Además, requieren que el monte sea poco accidentado y que haya mucho volumen de corta para rentabilizar la inversión. Los métodos de aprovechamiento habituales en estos sistemas son madera corta (MC-3-AT) y madera larga (ML-3-AT).

La razón actual de su uso es el aumento del rendimiento global del apeo, procesado y apilado ya que una máquina cosechadora dedica mucho tiempo al posicionado para apear el árbol y luego también, una vez apeado este, en llevarlo a procesar a un lugar adecuado. Las taladoras apean de forma rápida el árbol, incluso varios en el mismo ciclo de corta (permiten acumular varios troncos) y los apilan de forma muy ordenada lo que mejorar sustancialmente el rendimiento del procesado posterior.

Organización y procedimiento operativo

Se trata de un sistema que se aplica únicamente con cortas a hecho, siendo ya bastante frecuente su uso en cortas de eucaliptares en el norte de España (figuras 11.35 y 11.36).

Figura 11.35. Detalle del apeo con cabezal talador-apilador de disco, seguido del procesado con cabezal cosechador. Ambos sobre máquinas base de ruedas Timber Pro (Fotos: Maderas Paco Cacharolo).

Figura 11.36. Aprovechamiento completamente mecanizado utilizando el método de madera larga y uso tres máquinas: taladora-apiladora para el apeo y apilado (1), cosechadora forestal para el procesado (2) (en este caso cabezal procesador instalado en punta de grúa de retroexcavadora adaptada), y autocargador para el desembosque (3). Sistema de aprovechamiento ML-3-AT (Foto: Forestal Ría de Abres).

La taladora se va moviendo por el monte y accede con el brazo de la máquina a la base del árbol a talar, una vez talado el árbol, si este es pequeño, es sujetado por los brazos acumuladores y el cabezal se dirige al siguiente árbol que es apeado (1 en figuras 11.36 y 11.37). Si los brazos acumuladores están llenos, el maquinista deposita los árboles de forma que todos vayan quedando tumbados en la misma dirección para facilitar el trabajo posterior de la procesadora.

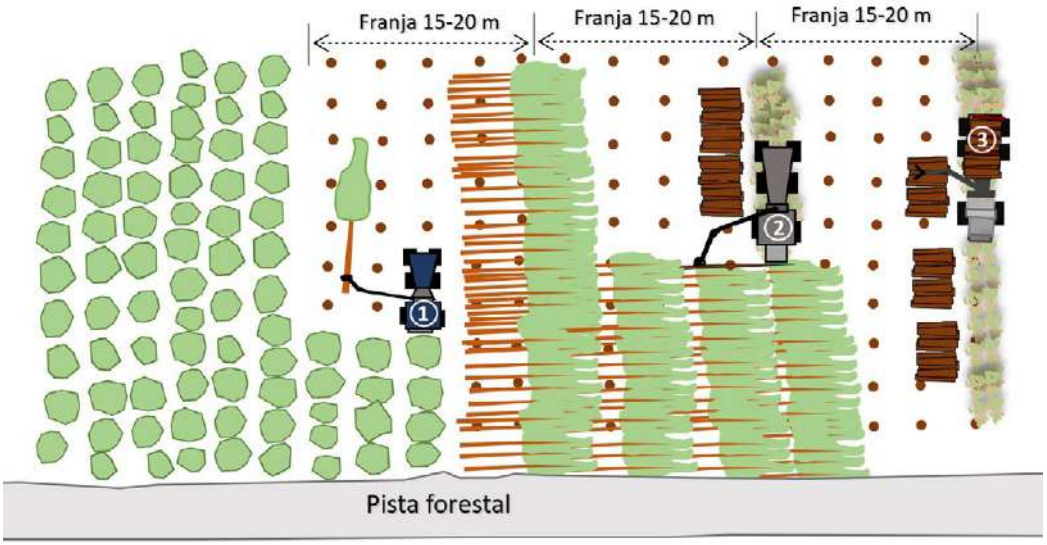


Figura 11.37. Esquema de trabajo de un aprovechamiento completamente mecanizado por el método de madera corta, con uso de taladora-apiladora para el apeo (1), cosechadora forestal para el procesado y apilado de la madera corta (2) y autocargador para el desembosque (3). Con el método de madera larga, el esquema sería similar pero la carga en el autocargador sería longitudinal y no transversal.

Una vez realizado el apeo, la procesadora (o la misma máquina base con cabezal procesador) comienza el procesado de los árboles (desramado, tronzado y eventualmente descortezado si

el cabezal incorpora rodillos con cuchillas descortezadoras). Las trozas van quedado reunidas en cordones para facilitar el posterior desembosque, por lo que la reunión de la madera es simultánea al procesado. Los restos del desramado/descortezado pueden quedar en la calle por donde circula la máquina (2 en figuras 11.36 y 11.37), pero si van a ser extraídos posteriormente para uso energético, se deben acumular en montones separados de las trozas, evitando que queden sobre la calle. Cuando se dispone de suficiente madera procesada entra en monte el autocargador que llevará a cabo la carga, el desembosque y la descarga de madera en cargadero accesible a camión (3 en figuras 11.36 y 11.37).

En el caso de cortas finales en coníferas con buena conformación y tamaño moderado de los árboles que permita el uso de cosechadoras, la demanda del mercado puede imponer la aplicación del método de fuste entero (FE-3-SK). En este caso, la cosechadora actuaría de forma similar al esquema 11.37, aunque la extracción de los fustes hasta cargadero se haría por arrastre con skidder (preferiblemente de grapa y pluma).

3.2.2.3. Sistemas completamente mecanizados con taladora-apiladora

Este sistema completamente mecanizado está extendido en Norteamérica y también en varios países del norte de Europa en cortas finales con el método de árbol completo ya que permite un uso más pormenorizado de los árboles y, por tanto, generar un mayor valor añadido. Se asocia con el empleo de la taladora-apiladora para el apeo y de desembosque de árbol completo con grandes skidders de grapa y pluma (figura 11.26).

Se trata de un sistema de trabajo que se adecua al método de aprovechamiento de árbol completo o su variante de partes de árbol. En los últimos años ha comenzado a utilizarse en España en la ejecución de primeras claras en montes de coníferas (figuras 11.38 y 11.39) o en resalveos de montes de quercíneas para uso energético.

Figura 11.38. Tractor forestal Timberjack de seis ruedas motrices con cabezal talador-apilador de cuchillas (izquierda) y ejecución de una clara en pino radiata en Asturias empleando el método de árbol completo o partes de árbol con el equipo anterior (derecha) (Fotos: M. Barrio Anta).

En estos sistemas los árboles son extraídos hasta cargadero con skidder (sistema AC-2-SK), sobre todo si se trata de árboles grandes procedentes de segundas claras o cortas finales. Sin embargo, es habitual también el uso del autocargador cuando se trata de árboles de pequeña dimensión (habitual en primeras claras) o de partes de árbol (sistema AC-2-AT), por presentar un mayor rendimiento (figura 11.38, derecha y Figura 11.39, izquierda).

Figura 11.39. Detalle de la ejecución de una clara en una masa de pino radiata por el método de árboles completos, o partes de árbol, con el equipo de la figura 11.38. Aspecto de las calles y de la disposición de los árboles apeados, o partes de árbol, en los laterales en espera de su desembosque (izquierda). A la derecha, tránsito del autocargador por las calles recogiendo los trozos de árbol para llevarlos a parque de monte para su posterior astillado (Fotos: Consejería de Medio Ambiente y Desarrollo Rural del Principado de Asturias y Tragsa).

En el parque de monte los árboles son astillados con astilladoras móviles o semifijas para el posterior traslado de la astilla a centro logístico de biomasa o directamente a una planta de destino para su uso energético (figura 11.40, derecha).

Figura 11.40. Desembosque de árboles (enteros o trozos) con autocargador (izquierda). Astillado en cargadero con una astilladora móvil (Fotos: Consejería de Medio Ambiente y Desarrollo Rural del Principado de Asturias y Tragsa).

Organización y procedimiento operativo

La zona de corta se organizará por franjas cuya anchura máxima será el doble del alcance máximo de la grúa de la taladora-apiladora para de esta forma garantizar que la máquina llega todos los árboles. Al final de la franja de trabajo se lleva a cabo la apertura de calles de 3,5-4 m de anchura (por corta sistemática del arbolado) por donde se moverá la taladora para ejecutar la corta selectiva de los árboles en zona entre calles (figura 11.41).

Las calles se trazarán siguiendo la línea de máxima pendiente, pudiéndose disponer en curvas de nivel o de forma oblicua en terrenos llanos o con muy poca pendiente, menor del 10%. La taladora se moverá por las calles apeando los árboles señalados en la clara y apilando los árboles en manojos en el lateral de las calles (1 en figura 11.41). Cuando los árboles son de mucha altura se suele dar un corte con la cizalla por la mitad, variante de partes de árbol, para facilitar el desembosque con autocargador (2 en figura 11.41).

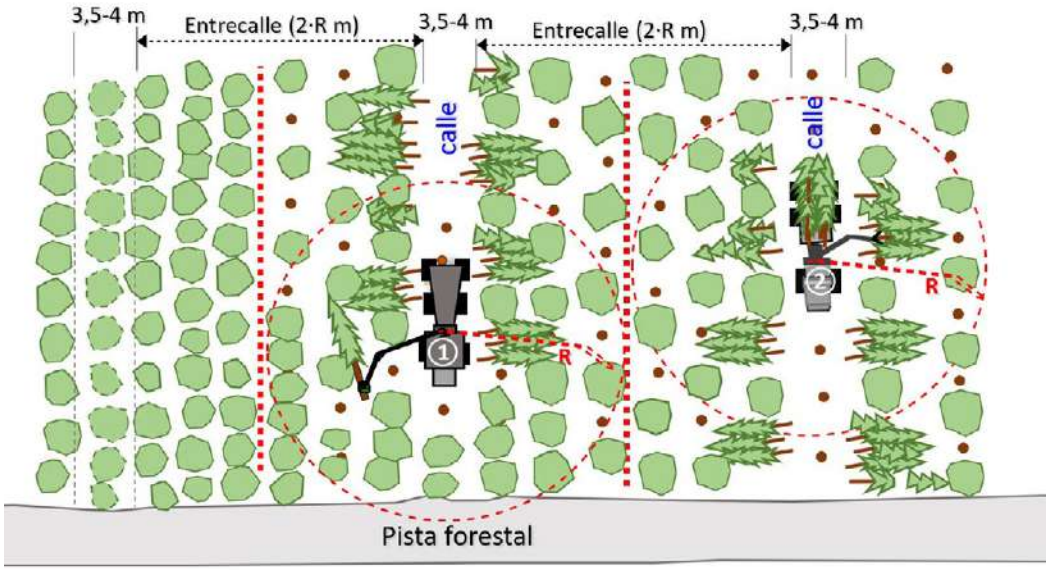


Figura 11.41. Esquema de trabajo de un aprovechamiento de una clara completamente mecanizado por el método de árbol completo o partes de árbol, con uso de taladora-apiladora para el apeo y apilado (1) y autocargador para el desembosque (2).

3.3. Sistemas manuales especiales (Grupo 3)

Denominamos sistemas manuales especiales a aquellos en los que el apeo y procesado del árbol se realiza de forma manual con motosierra, la reunión de forma manual, con tracción animal o con el uso de pequeños cabrestantes portátiles y el desembosque con tracción animal, canaletas artificiales o pequeña maquinaria (figura 11.42):

- **Apeo y procesado**: manual con motosierra.
- **Reunión**: manual, tracción animal, cabrestante portátil.

- **Desembosque:** tracción animal, canaletas artificiales o pequeñas máquinas (mula mecánica, pequeños vehículos 4x4 o miniautocargadores). Puede ser necesario un segundo desemboque hasta cargadero con autocargador o skidder.

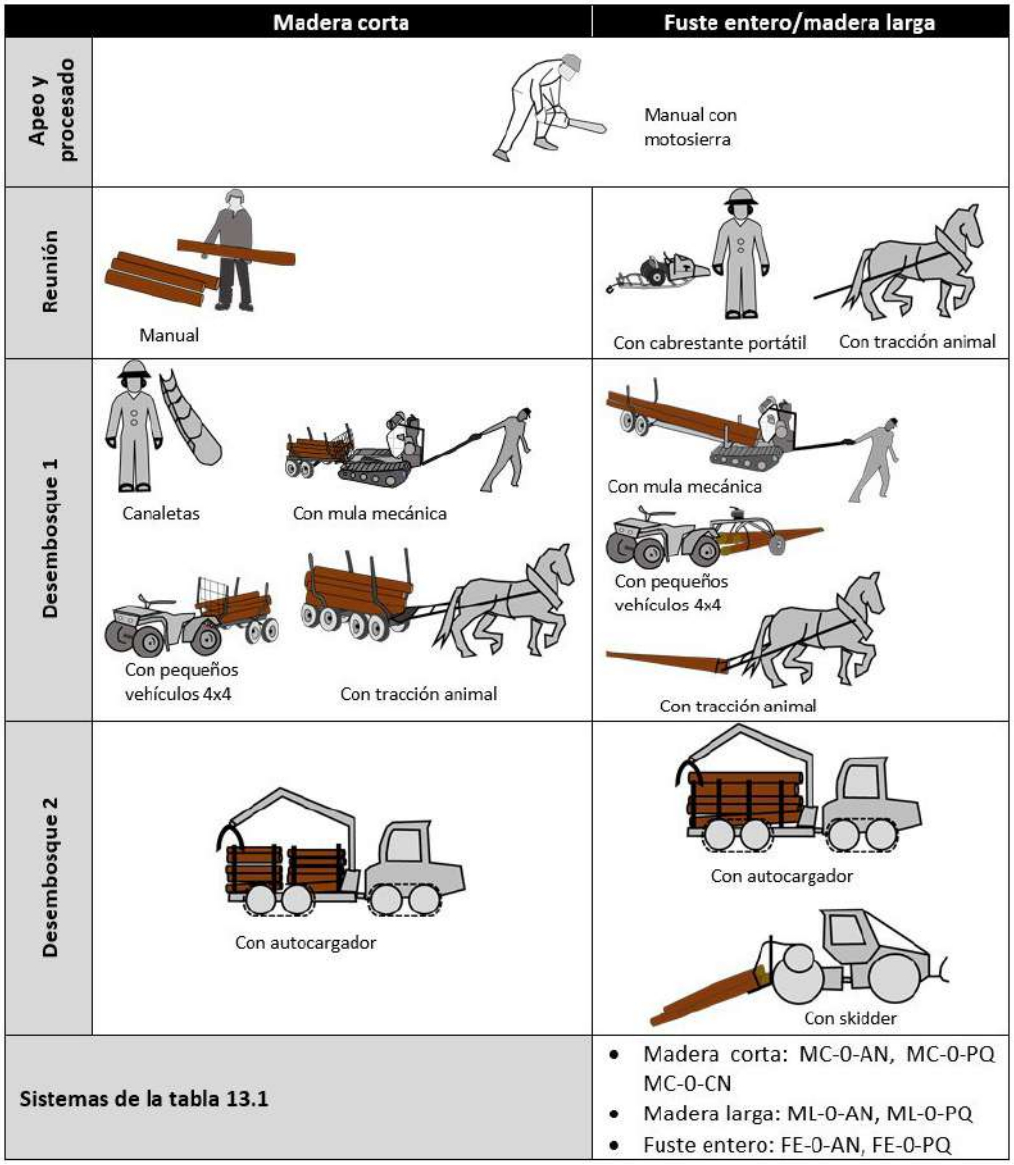


Figura 11.42. Máquinas y equipos usados en las distintas operaciones con los sistemas manuales especiales.

Condiciones de utilización

- Todo tipo de masas y terrenos accesibles. Recomendable en suelos muy sensibles (limosos y/o suelos con hidromorfía).

- Tanto en coníferas como en frondosas cuando los volúmenes medios de los árboles no son elevados (menores de 1 m^3).

- Terrenos con poca pendiente (a excepción del uso de canaletas).
- Recomendable en masas y áreas que presentan protección ambiental y se debe limitar mucho la perturbación ocasionada por el aprovechamiento.

Ventajas

- Bajo impacto en los suelos, causando una compactación bastante baja.
- Adecuados en la ejecución de pequeños volúmenes de corta.
- Baja inversión financiera para las operaciones de apeo y arrastre.

Inconvenientes

- Sistemas limitados a distancias de desembosque pequeñas.
- El volumen medio de los árboles debe ser inferior a 1 m^3, si el método de aprovechamiento es el fuste entero.
- Dificultad para encontrar aprovechamientos donde usar alguno de estos equipos y que, por tanto, dificulta su adquisición por parte de las empresas.
- El coste total de desembosque suele ser alto por el bajo rendimiento y el alto coste del personal.

3.3.1. Sistemas manuales especiales que emplean caballos o mulas

Los sistemas que emplean la tracción animal como medio de desembosque se caracterizan por el empleo del método de aprovechamiento de fuste entero o madera larga (en el caso de frondosas) y por la ejecución del apeo, desramado y descopado o despunte de los árboles de forma manual con motosierra (sistemas FE-0-AN y ML-0-AN).

Aunque es menos frecuente, también se utilizan con el método de árbol completo y con madera corta mediante el uso de carros (sistema MC-0-AN), en la ejecución de claras en masas forestales situadas en zonas ambientalmente sensibles (figura 11.43). Aunque en otros países del mundo se emplean también como medios de desembosque los bueyes o los elefantes, actualmente en España se usan solamente el caballo y la mula, antiguamente se usó bastante el buey debido a su disponibilidad. Debido al aumento de la mecanización forestal, su uso se ha reducido mucho en las últimas décadas, y está asociado con la disminución de daños ambien-

tales y con un mayor beneficio social de los aprovechamientos madereros (Vignote et al. 2001; Rodríguez et al. 2005).

Los animales son el medio que presenta menos limitaciones en los casos de accesibilidad difícil (terrenos irregulares con una topografía escarpada, de fuertes pendientes, con mucha pedregosidad o inaccesibles con la red viaria disponible) o en aprovechamientos de baja intensidad con dispersión espacial de las áreas de corta. En cualquier caso, este medio siempre está limitado por su capacidad de carga y la dimensión del producto que se extrae (Rodríguez et al. 2005).

Figura 11.43. Ejemplo del uso de mulas (izquierda) y caballos (derecha) en la reunión y/o desembosque de madera (Fotos: M. Barrio Anta, izquierda y F. Veiga Aguiar, derecha).

Organización y procedimiento operativo

En un aprovechamiento maderero, la tracción animal se puede emplear como medio para llevar a cabo la reunión de la madera, llevándose a cabo el desemboque por otro medio, o para hacer el desemboque completo (Rodríguez et al. 2005):

- **Únicamente reunión**: se utiliza cuando las distancias de desembosque son elevadas (mayores de 200 m), la zona es inaccesible a las máquinas y/o la madera está muy dispersa. En esta situación los fustes se reúnen hasta un punto (calle o arrastradero) desde donde la madera pueda ser posteriormente cableada, comentado al hablar de sistemas manuales clásicos (ver figura 11.21).

- **Desembosque completo**: es útil cuando las distancias de desembosque son pequeñas y la madera está dispersa, situación en la que la maquinaria trabajaría de forma poco eficiente (figura 11.44 y 11.45, izquierda).

En este apartado nos referiremos al uso de la tracción animal para llevar a cabo el desembosque completo hasta el borde de una pista o cargadero de camión.

Figura 11.44. Desembosque completo de fuste entero de pino hasta una pista accesible a camión en aprovechamientos madereros en Andalucía (Fotos: J.J. Jiménez Molina, izquierda y M. Barrio Anta, derecha).

Aunque la tracción animal en España se usa principalmente en el desembosque de fuste entero o madera larga en zonas o montes ambientalmente sensibles, también se puede usar en el desembosque de madera corta mediante el uso de remolques tirados por tracción animal (figuras 11.43 y 11.45, derecha), aunque en este caso la pendiente del monte debe ser reducida (menor del 10%). Si la densidad del arbolado permite la circulación de los animales, el apeo siempre debe comenzar en las áreas más lejanas de pista para evitar que los restos de corta estorben su trabajo. La excesiva densidad de la masa arbórea y el sotobosque pueden dificultar la movilidad de los animales por lo que puede ser necesaria una limpieza previa de las zonas de arrastre.

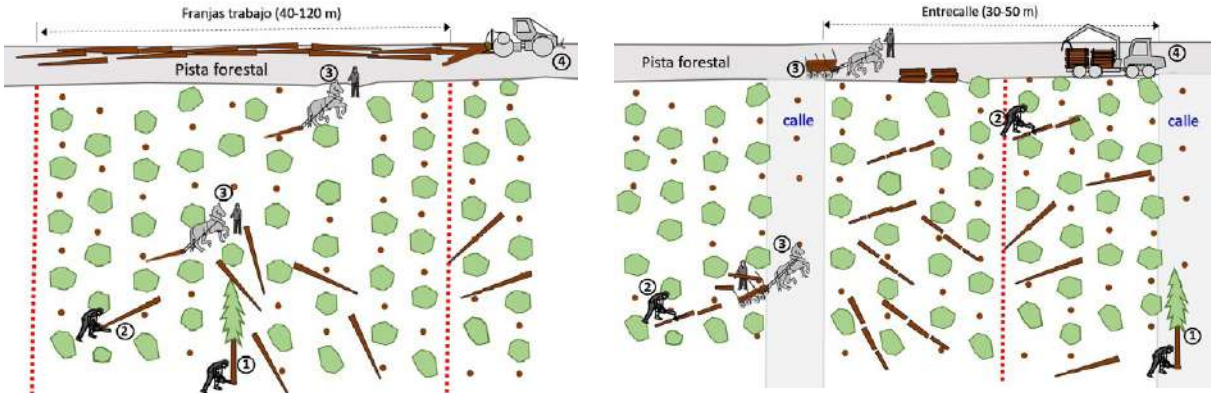


Figura 11.45. Esquema de trabajo en la ejecución de claras en terreno de bastante pendiente por el método de fuste entero (izquierda) y en terreno con poca pendiente y el método de madera corta (derecha) y uso de la tracción animal para el desemboque hasta pista. El motoserrista (1) tirará los árboles hacia el arrastradero o calle más próxima donde serán procesados (2). Equipos de caballos y/o mulas (3) desemboscaran los fustes o trozas cargadas en remolques hasta la pista accesible tractor forestal (4) que hará un segundo desembosque en el caso de que la pista no sea accesible a camión.

Los animales y los operarios se desplazan hasta la madera cortada, posteriormente el operario procede a enganchar la carga al animal, a menudo de una sola pieza (figura 11.45, izquierda).

En el caso del uso de remolques para madera corta o larga, el operario procede a cargar el remolque hasta completar la carga, momento en el cual inicia el desembosque (figura 11.45, derecha). El animal transporta la madera hasta el punto de descarga y se vuelve a iniciar el ciclo. Este punto de descarga puede estar al borde de una pista o en cargadero cercano en el caso de desembosque completo con este medio.

3.3.2. Sistemas manuales que emplean pequeñas máquinas

Los sistemas manuales que emplean pequeñas máquinas son aquellos en los que el apeo y procesado del árbol se realiza de forma manual con motosierra, la reunión se realiza de forma manual o con la ayuda de cabrestantes portátiles y el desembosque por medio de pequeñas máquinas (mula mecánica, pequeños vehículos 4x4 o incluso miniautocargadores) (sistemas MC-0-PQ, FE-0-PQ y ML-0-PQ) (figura 11.46). La mula mecánica es la máquina que simboliza las "pequeñas máquinas" o la "pequeña mecanización forestal" aunque no es la única en el mercado y existen otros equipos parecidos fabricados principalmente en países escandinavos y en Alemania (Pischedda 2009).

Figura 11.46. Ejemplos de pequeñas máquinas parar realizar el desembosque de madera (Fotos: M. Barrio Anta).

Organización y procedimiento operativo

La utilización de las pequeñas máquinas se puede emplear en terrenos con poca pendiente con los métodos de madera corta en la ejecución de claras, aunque también se podrían aplicar sobre madera larga o fuste entero siempre que el tamaño de los árboles no sea grande, volumen medio de los árboles menor de 1 m^3.

Para su ejecución es necesario definir calles o a arrastraderos en la masa, caso del uso de la mula mecánica o vehículos 4x4 con madera larga, para llevar a cabo el desembosque hasta una pista accesible a un camión o tractor forestal (figura 11.47). Dada la maniobrabilidad de estas máquinas no es necesario que las rutas de desembosque sean rectas o paralelos entre sí, de-

pendiendo su trazado y diseño de las características del terreno y de la masa de cada zona de corta. En todos los casos las rutas o calles de extracción deben estar libres de restos de corta o vegetación para facilitar el desemboque y evitar los riesgos de enganches en el vehículo o pinchazos en el caso de los vehículos 4x4 o miniautocargadores.

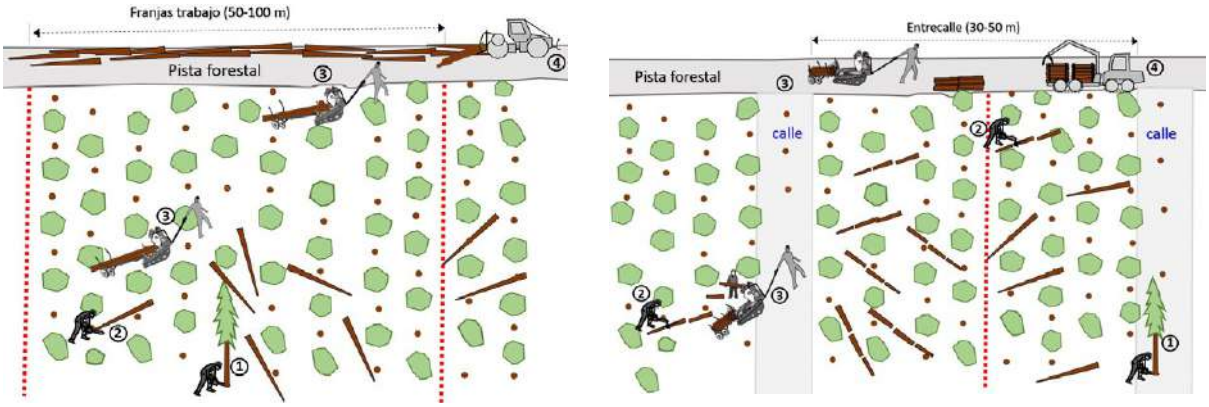


Figura 11.47. Esquema de trabajo en la ejecución de claras en terreno de poca pendiente por el método de fuste entero o madera larga (izquierda) y método de madera corta (derecha) y el empleo de mula mecánica o pequeños vehículos 4x4 para el desembosque. El motoserrista (1) tirará los árboles hacia el arrastradero o zona apta para el desplazamiento del vehículo más próxima, donde serán procesados (2). La mula mecánica o el pequeño vehículo 4x4 (3) desemboscaran los fustes o las trozas hasta una pista accesible a tractor forestal que hará un segundo desembosque (4) en los casos en los que la pista no sea accesible a camión.

3.3.3. Sistema que emplean canaletas artificiales

Se trata de un sistema de trabajo cuyo uso es apropiado con el método de aprovechamiento de madera corta (sistema MC-0-CN). Sin embargo, se pueden plantear variantes, como la ejecución en un primer momento de la corta por el método de fuste entero, reunión hasta línea de canaletas con tracción animal, tronzado de los fustes al lado de las canaletas y desembosque hasta pista por las canaletas artificiales.

La aplicación del sistema requiere una pendiente de al menos 15-20% para que el deslizamiento de la madera sea adecuado, pudiendo funcionar de forma adecuada hasta pendientes del 45%. La madera desliza mejor cuando las canaletas están húmedas por lo que en condiciones secas, si esto fuera posible, es útil verte un bidón de agua por la canaleta desde la parte superior. En pendientes superiores al 30% es necesario instalar mecanismos de frenado para reducir la velocidad de las trozas, habiéndose usado en el Reino Unido una troza colgada por la punta hasta el centro de la canaleta, las trozas que deslizan al chocar contra ella reducen sensiblemente la velocidad (Forestry Commission 1994). En pendientes superiores se pueden disponer las líneas de canaletas oblicuas para disminuir de esta forma la pendiente y poder utilizar adecuadamente el equipo.

El principal inconveniente de los canales artificiales de desembosque en comparación con los medios más mecanizados se relacionan con su manipulación o las operaciones manuales, como

son el transporte de las canaletas dentro de la masa forestal, la recogida y reunión de la madera hasta el canal y el montaje de la línea, sobre todo en condiciones de fisiografía desfavorables (Rodríguez et al. 2005).

Organización y procedimiento operativo

La zona de corta se organiza en franjas de trabajo de 10-50 m de anchura (dependiendo de la intensidad de la corta) en cuyo centro se instala una línea de canaletas (canal artificial) que habitualmente tiene menos de 100 m de longitud, aunque pueden llegar hasta 150-200 m de longitud máxima en condiciones favorables (Rodríguez et al. 2005). El número de operarios necesarios para llevar a cabo el apeo, procesado y desembosque mediante este sistema puede oscilar entre tres y seis. Una vez que los motoserristas han apeado los árboles señalados en el área de trabajo y tras su desramado y tronzado (1 en figura 11.48) se procede al montaje de la línea de canaletas y a la posterior reunión manual de la madera hasta ella (2 en figura 11.48) para su posterior desembosque por deslizamiento de las piezas por su interior hasta pista accesible a camión u otro medio de desembosque secundario en caso desfavorable (3 en figura 11.48).

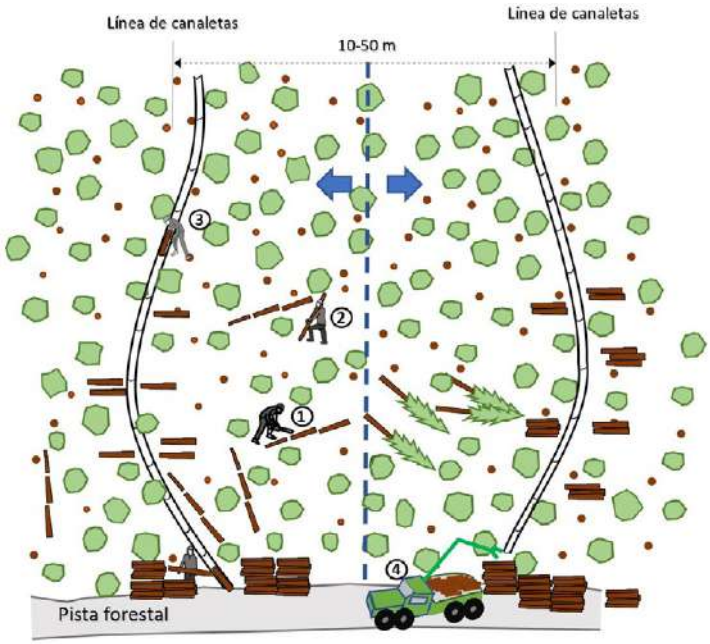


Figura 11.48. Esquema de trabajo en el desembosque con canaletas artificiales. Tras el trozando (1), los operarios realizan la reunión manual de las trozas (2) y las acumulan en el lateral de la línea de canaletas para su posterior deslizamiento por estas (3). En la pista se van apilando las trozas en espera de un segundo desembosque con autocargador (4), o bien de su carga en camión para transporte a destino (Fuente: adaptado de Tolosana et al. 2000).

Para iniciar la instalación de un canal artificial, es frecuente ayudarse de cabrestantes portátiles o de cabrestantes de tractores o vehículos 4x4 (figuras 11.49 y 11.50, izquierda). El traslado de canaletas a otra franja de trabajo se hace a mano en curva de nivel. En equipos de hasta 6 operarios y para evitar tiempos muertos y aumentar el rendimiento se pueden

tener instaladas dos líneas de canales artificiales consecutivas para que, de esta forma, y tras acabar el desembosque de la primera franja de trabajo, unos operarios comienzan el desembosque de la segunda franja, y otros trasladan la primera línea de canaletas a la tercera franja de trabajo.

Figura 11.49. Los cabrestantes portátiles son de gran ayuda para la instalación de las líneas de canaletas (izquierda). A la derecha detalle de una línea de canaletas (Fotos: Cumbria Woodlands).

Figura 11.50. Cabrestante sobre sobre trineo para desplazar las canaletas (izquierda) y detalles del desembosque (derecha) en una experiencia de uso de canaletas para desemboscar leñas en un aprovechamiento en el Parque Natural de la Garrotxa, Cataluña (Fotos: Wiebrig Broersma/ONF).

3.4. Sistemas para uso energético (Grupo 4)

Los sistemas para uso energético son aquellos que utilizan el método de madera astillada, astillado in situ a pie de tocón o en zona de corta de árboles enteros pequeños o trozos de árbol. En plantaciones forestales clásicas se distinguen los sistemas MA-0-ATA y MA-3-ATA, dependiendo de si el apeo es manual con motosierra o mecanizado con taladora-apiladora, tras lo cual, los arbolillos o trozos de árboles son astillados mediante el uso de astilladoras integradas en autocargadores (figuras 11.51 y 11.52). No se considera un sistema para uso energético cuando se extraen los árboles completos o trozos de árbol a cargadero para su posterior astillado. En este caso el método de aprovechamiento es el de árbol completo, considerándose el astillado en cargadero una transformación adicional que dará lugar a un sis-

tema de aprovechamiento diferente, pero no estaremos ante un método de aprovechamiento de madera astillada y por tanto, ante un sistema para uso energético tal y, como se han definido en este manual.

El método de madera astillada también se aplica con frecuencia en el caso del aprovechamiento de cultivos energéticos leñosos de sauce y chopo a turnos de 2-5 años (Sixto et al. 2010), donde los arbolillos son cortados y astillados de forma simultánea mediante el empleo de cosechadoras agrícolas con cabezales cosechadores adaptados al material leñoso (sistema MA-2-TA).

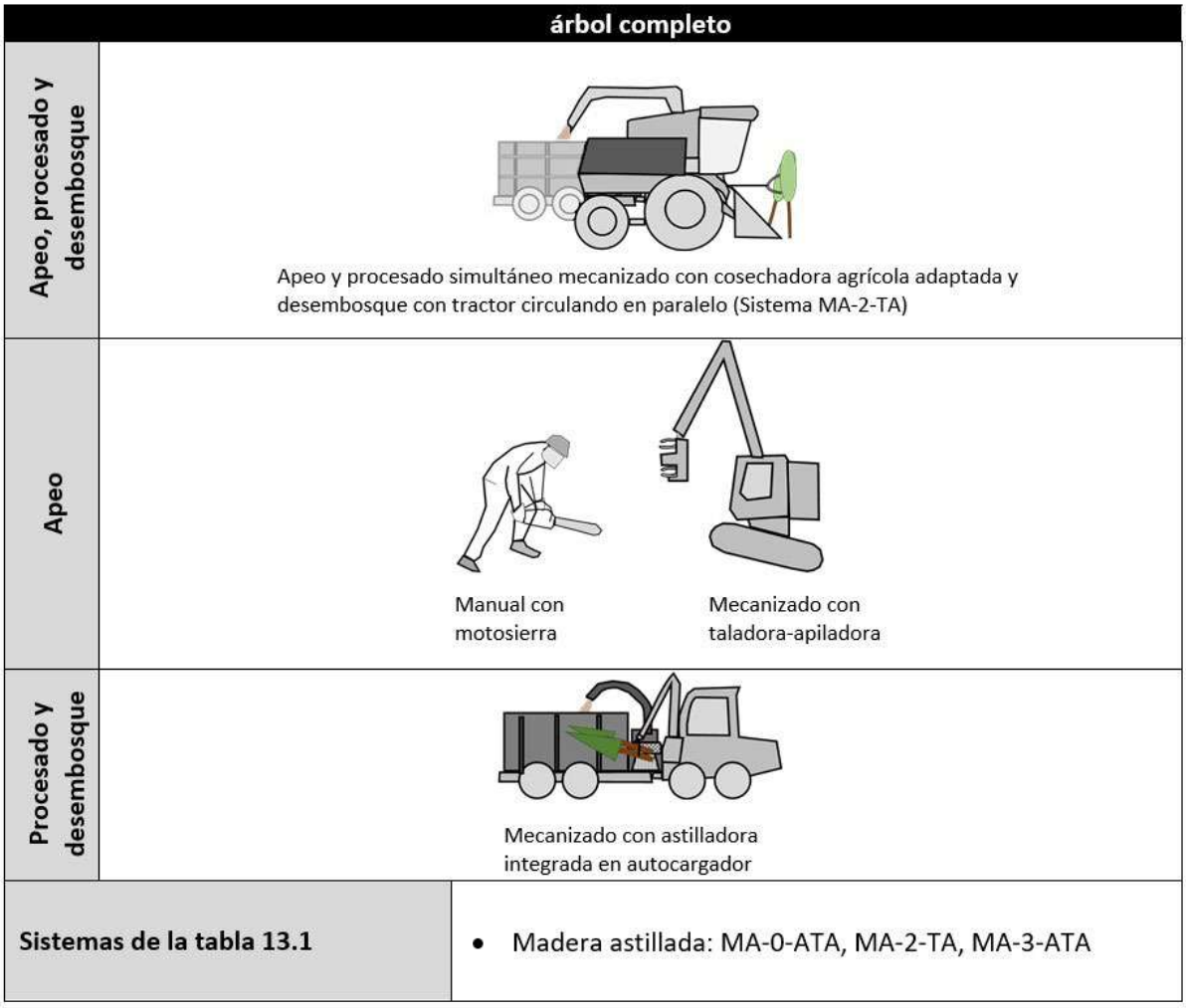


Figura 11.51. Máquinas y equipos usados en los sistemas de aprovechamiento para uso energético.

Condiciones de utilización en masas forestales clásicas

- Tanto para coníferas como para frondosas.
- Terreno con pendientes menores 20-30%.

Ventajas (masas forestales clásicas)

- Permite aplicar tratamientos a montes bajos de poco valor o degradados.
- Riesgo de accidentes reducido, sobre todo cuando está mecanizado también el apeo de los árboles.

Inconvenientes (masas forestales clásicas)

- La logística del manejo de astillas en monte puede ser complicado, siendo necesarios camiones especiales para su transporte.
- Se debe disponer de un autocargador con astilladora integrada, que son equipos de alto coste, aunque también se puede usar para el aprovechamiento de los residuos de aprovechamientos madereros clásicos.
- Organización complicada porque las fases de trabajo son interdependientes.
- Limitado a volúmenes de corta grandes y diámetros del arbolado pequeños.

Figura 11.52. Unidad de astillado Pezzolato sobre autocargador Dingo de 6 ruedas motrices astillando partes de árbol, en este caso a borde de pista, no en zona de corta (izquierda) y detalle del basculado lateral de la caja contenedora para el vertido de la astilla sobre caja de camión (derecha) (Fotos: Consejería de Medio Ambiente y Desarrollo Rural del Principado de Asturias).

Masas forestales clásicas

En este tipo de masas se aplica en clareos o primeras claras y la corta se puede ejecutar manualmente con motosierra (sistema MA-0-ATA) o de forma mecanizada con taladora apiladora (MA-3-ATA). En ambos casos la zona de corta se organizará por franjas cuya anchura máxima será el doble del alcance máximo de la grúa (de la taladora-apiladora o del autocar-

gador) para de esta forma garantizar que las máquinas lleguen a todos los árboles a apear. Al final de la franja de trabajo se lleva a cabo la apertura de calles de 3,5-4 m de anchura (corta sistemática del arbolado) por donde se moverá la taladora para ejecutar la corta selectiva de los árboles en la zona entre calles en el caso del apeo mecanizado (figura 11.52). Estas calles son igualmente necesarias en el caso del apeo manual para que el autocargador con astilladora que circule por ellas pueda acceder con la grúa a todos los árboles para su astillado. Las calles se trazarán siguiendo la línea de máxima pendiente, pudiéndose disponer en curvas de nivel o de forma oblicua en terrenos llanos o con muy poca pendiente (menor del 10%).

En el sistema completamente mecanizado (MA-3-ATA), la taladora se moverá por las calles apeando los árboles señalados en la clara y apilando los árboles en manojos al costado de las calles (1 en figura 11.53). Cuando los árboles son de mucha altura se suele dar un corte con la cizalla por la mitad (variante de partes de árbol) para facilitar el trabajo posterior de astillado. En el caso del sistema manual (MA-0-ATA), el motoserrista tirará los árboles de forma dirigida para facilitar su recogida posterior por parte del autocargador.

El autocargador circulará posteriormente por las calles y con ayuda de la pluma irá cogiendo los arbolillos a un lado y a otro con los que alimentará su astilladora que a través de una cañonera verterá las astillas en la caja cerrada del remolque (2 en figura 11.53). Cuando la caja esté llena el autocargador se desplazará a parque de monte y basculará las astillas sobre caja de camión o en contenedor.

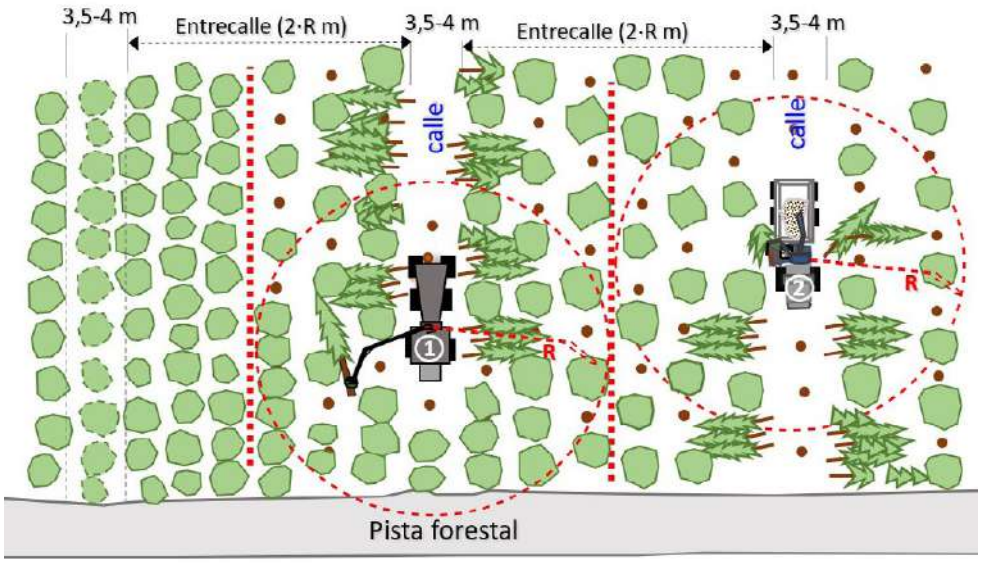


Figura 11.53. Esquema de trabajo de un aprovechamiento completamente mecanizado por el método de madera astillada, con uso de taladora-apiladora para el apeo (1), autocargador con astilladora integrada en el chasis para el astillado y posterior desembosque de las astillas hasta cargadero (2).

Plantaciones energéticas leñosas a turno corto (2-5 años)

El sistema MA-2-TA se emplea exclusivamente con plantaciones energéticas leñosas gestionadas a turno corto (2-5 años según especies y productividad del terreno). Se trata de plantaciones realizadas a alta densidad (5000-15.000 pies/ha) en filas separadas 3 ó 3,5 m con especies que rebrotan de cepa tras el cultivo (principalmente clones de especies de los géneros *Populus*, *Salix* y *Eucalyptus*). Estas plantaciones se llevan a cabo en terrenos llanos (muchas se riegan a manta o por goteo) o con muy poca pendiente (<10%).

Aunque existen otras posibilidades de aprovechamiento como aprovechamiento del árbol completo y astillado posterior en parque de monte; el cosechado y astillado in situ de los árboles es un **método** bastante habitual. Para el apeo, astillado y desembosque simultáneo se usan cosechadoras agrícolas adaptadas, a las que se les reemplaza su cabezal de cosechado estándar por otro adaptado al material leñoso, y tractores agrícolas con remolque de baldas cerradas circulando en paralelo a la cosechadora. En esta línea, existen diversas adaptaciones de maquinaria, como la de la empresa Biopoplar, realizada sobre un cabezal con posibilidad de utilizarlo con cosechadoras forrajeras de diversas marcas y capaz de cortar plantas de diámetros medios de 13-14 cm; la de la empresa New Holland (www.newholland.com) realizada sobre la máquina FR 9000 y el cabezal 130 FB para recolectar plantas con un diámetro de hasta 15 cm y, la realizada por Claas (www.claas.com) sobre la máquina Claas Jaguar a la que se le sustituye el cabezal para cultivos herbáceos por otros específicos para leñosos (Sixto et al. 2010) (figura 11.54).

Figura 11.54. Cosechado con cosechadora agrícola adaptada y desembosque con tractor agrícola con remolque de caja cerrada (Sistema MA-2-TA) (Fotos: Proyecto Rockwood, izquierda y Biopoplar, derecha).

También existen otras máquinas de diseño específico para el aprovechamiento de cultivos energéticos leñosos, como aquellas que incorporan astilladoras modificadas en la toma de fuerza de tractores agrícolas que circulan marcha atrás (ejemplo astilladora de la firma italiana Spapperi) y que requieren también que un tractor con remolque de baldas cerradas circule en paralelo para recoger las astillas (figura 11.55).

Figura 11.55. Cabezal de la firma italiana Spapperi para cosechar cultivos energéticos leñosos gestionados a turno corto (izquierda). Detalle de su utilización (derecha) (Fotos: Spapperi).

3.5. Tipos de sistemas de aprovechamiento en el mundo

En un estudio reciente, Lundbäck et al (2021) presentaron porcentajes de utilización a nivel internacional de los sistemas de aprovechamiento completamente mecanizados (SM) con los métodos de madera corta o larga (MC/ML) y con los métodos de árbol completo/fuste entero (AC/FE) (tabla 11.2). Este estudio presenta una visión muy amplia de la mecanización de los aprovechamientos madereros a nivel mundial, a pesar de que fueron excluidos del mismo, por falta de datos, países con importantes producciones madereras como China, Indonesia, India, Japón, Tailandia, Argentina, Portugal o Nigeria.

Según el mismo, América del Norte y Australia, son las regiones de mundo con un mayor porcentaje de aprovechamientos con sistemas completamente mecanizados, con un predominio claro de los métodos de árbol completo o fuste entero en la primera y con porcentajes similares en Australia entre los sistemas que usan estos métodos y los que emplean madera corta o madera larga.

En Europa el porcentaje de aprovechamientos completamente mecanizados también es alto (64%); sin embargo, hay un claro predominio de los métodos de madera corta/madera larga. El menor tamaño de los lotes de aprovechamiento maderero, que no permiten emplear las grandes máquinas norteamericanas, y la expansión hacia el resto de los países de los sistemas nórdicos mecanizados de madera corta, están en el origen de tal predominio. En general, salvo que se demande un producto que requiera gran longitud de madera, los métodos de fuste entero se han asociado con condiciones orográficas difíciles y es la razón de su predominio en países montañosos centroeuropeos (p.ej., Suiza y Austria). Sin embargo, como puede observarse en la tabla 11.2, su mecanización completa es muy difícil, incluso en países con tecnología avanzada y alto grado de mecanización forestal como el caso de Austria (<1% mecanización completa aprovechamientos por métodos FE/AC). La complicada orografía de este país hace que se emplee con frecuencia el desembosque con cable grúa para extraer los fustes enteros de los árboles tras el apeo, desramado y despuntado con motosierra; y este sistema, de acuerdo con el estudio de Lundbäck et al (2021), se incluiría en grupo “otros”, lo cual justifica su alto porcentaje

(65%). Sin embargo, los altos porcentajes de este grupo en otros países europeos como Eslovaquia (95%), Bulgaria (95%), Ucrania (92%), Turquía (92%) o Rumanía (90%) se deben seguramente a un bajo porcentaje de mecanización completa de los aprovechamientos forestales.

Según este estudio, España presenta un porcentaje alto de la mecanización completa de los sistemas que hacen madera corta o larga (60%). Esto, sin duda, se debe al empleo habitual, a lo largo de todo el país, de sistemas completamente mecanizados (apeo y procesado con cosechadora y saca con autocargadores o skidders) en la ejecución de primeras y segundas claras en las masas de pino y al alto grado de mecanización completa en la cornisa Cántabro-Atlántica en las cortas a matarrasa de los eucaliptares (apeo y procesado con cosechadora y saca con autocargador y/o apeo con taladora-apiladora, procesado con cosechadora y saca con autocargador).

Tabla 11.2. Volúmenes anuales de cortas de madera sin corteza (millones de m^3) y proporción se madera extraída según clases de sistemas de aprovechamiento maderero (Fuente: Lundbäck et al. 2021).

País	[a]Volumem de corta anual	[b]$SM_{MC/ML}$	[c]$SM_{AC/FE}$	[d]Otros
Austria	12,2	35	<1	65
Bielorrusia	11,3	10	10	80
Bulgaria	3,5	<5	<5	95
Republica Checa	14,1	30	10	60
Estonia	6,6	80	5	15
Finlandia	54,3	95	<1	<5
Francia	25,1	55	10	35
Alemania	42,8	65	10	25
Irlanda	2,7	98	0	2
Italia	2,1	60	<1	40
Letonia	11,4	70	5	25
Lituania	4,7	55	5	45
Noruega	1,3	95	<1	<5
Polonia	36,8	20	10	70
Rumanía	11	5	5	90
Eslovaquia	8,8	<5	<5	95
España	13,3	60	<1	40
Suecia	67,2	95	<1	<5
Turquía	20,4	2	6	92
Reino unido	8,7	90	0	10
Ucrania	8,2	<5	<5	95
Europa	375,5	59	5	36
Este de Canadá	57,9	75	20	5
Oeste de Canadá	99,9	S	80	15
Estados Unidos	356,6	15	70	15

País	[a]Volumem de corta anual	[b]$SM_{MC/ML}$	[c]$SM_{AC/FE}$	[d]Otros
América del Norte	514,4	20	66	14
Brasil	145,1	45	25	30
Chile	44,6	25	25	50
Uruguay	11,3	75	<1	25
América del Sur	201	42	24	34
Rusia	198,2	35	10	55
Malasia	13,9	<1	<1	<95
Australia	30,1	45	50	5
Nueva Zelanda	28,7	10	55	35
Sudáfrica	14,4	30	60	10
Total[e]	1 376		33	30

[a] Datos obtenidos del libro "Statistics yearbook forest products (FAO 2016)".

[b] Sistemas completamente mecanizados (SM) que hacen madera corta (MC) o madera larga (ML).

[c] Sistemas completamente mecanizados (SM) que hacen árbol completo (AC) o fuste entero (FE).

[d] Incluye todo tipo de sistemas manuales o sistemas parcialmente mecanizados (Nota: acepción diferente a la usada en este manual ya que se considera un sistema parcialmente mecanizado cuando el apeo y procesado es manual y el desembosque se lleva a cabo con medios mecánicos).

[e] Los porcentajes totales se han obtenido ponderando para cada país los porcentajes por el volumen cortado.

4. Elección de un sistema de aprovechamiento

Pocas actividades productivas, como el aprovechamiento maderero, tienen que hacer frente a una variedad tan grande de situaciones diferentes. Debido a ello, el éxito de esta actividad depende en gran parte de la elección del sistema más adecuado, y de su planificación, que llega a suponer hasta el 60-80% de los costes operativos del aprovechamiento, sin incluir el transporte, mientras que una buena ejecución de los trabajos solo representaría entre el 20-40% de estos costes (Frutig et al. 2007). Los factores que conducen a la elección de un sistema de aprovechamiento son numerosos (figura 11.56) y ya han sido explicados con detalle en el capítulo 5:

- *Legales*: titularidad del monte, estructura de la propiedad, normativa vigente.
- *Naturales*: clima, fisiografía (pendiente y escabrosidad), suelo (capacidad portante, adherencia, escabrosidad y pedregosidad), fauna y flora.
- *Selvícolas*: especies de árboles, estructura de la masa, tipo de corta, intensidad de corta.
- *Infraestructuras*: red de pistas, cargaderos, logística (existencia de talleres próximos, gasolineras, restaurantes, etc.).
- *Tecnológicos*: disponibilidad de máquinas y equipos.
- *Económicos*: productos demandados por el mercado, costes.

- *Sociales*: disponibilidad de mano de obra y su formación, seguridad y salud laboral, ergonomía, percepción social de los aprovechamientos madereros.

- *Ambientales*: efectos ambientales de los aprovechamientos, riesgos asociados.

Figura 11.56. Factores que condicionan la elección de los sistemas de aprovechamiento maderero.

Sin embargo, a pesar de que el análisis debe considerar estos múltiples factores, con frecuencia se ha simplificado y se ha asociado el sistema de aprovechamiento más adecuado con el menos costoso para el propietario. Aunque en la mayoría de los casos los costes son un factor importante o incluso esencial, se dice que un sistema de aprovechamiento es óptimo, cuando teniendo en cuenta los condicionantes anteriores, este responde de una forma más adecuada a los objetivos del propietario o gestor del monte (Frutig et al. 2007).

También se debe tener en cuenta que los sistemas de aprovechamiento maderero no son esquemas rígidos, ya que:

- Los sistemas pueden cambiar a lo largo del tiempo.

- El mismo sistema de aprovechamiento se puede aplicar a diferentes tipos de cortas si estas presentan circunstancias parecidas.

- Cada sistema puede tener variantes.

- Para un mismo tipo de corta se pueden aplicar dos sistemas diferentes, según la disponibilidad de materiales y equipos a disposición del aprovechamiento, sistema óptimo y sistemas alternativos.

Por último, la adecuada elección del sistema de aprovechamiento requiere un importante conocimiento práctico sobre las técnicas y procedimientos a utilizar y sobre las ventajas e inconvenientes de cada sistema. Por ello, es importante la colaboración de todos los agentes que intervienen en la cadena de la madera (propietarios, gestores, empresas de aprovechamiento, transportistas, empresas transformadoras, etc.).

4.1. Procedimiento

El procedimiento para la elección del sistema de aprovechamiento se basa en un análisis de viabilidad en tres fases o etapas: i) viabilidad técnica, ii) viabilidad económica y iii) viabilidad social y ambiental. En la primera etapa se analizan las condiciones existentes (legales, naturales, selvícolas e infraestructuras) y tras finalizarla se dispone de una colección de sistemas de aprovechamiento que técnicamente son posibles, pero que posteriormente deben ser evaluados desde el punto de vista de su rentabilidad económica en una segunda etapa. Por último, los sistemas retenidos en esta segunda etapa deben ser sometidos a un último análisis que tenga en cuenta criterios laborales, sociales y medioambientales (figura 11.57); tras lo cual, se decidirá el o los sistemas de aprovechamiento más adecuados.

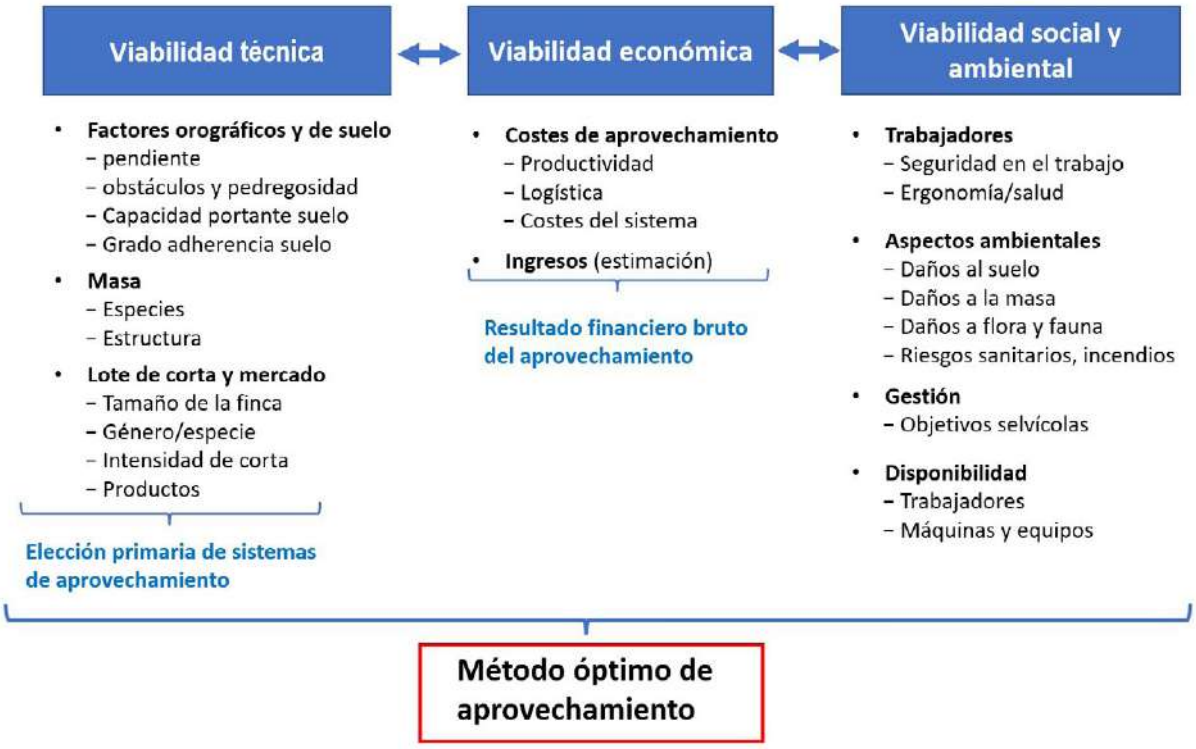
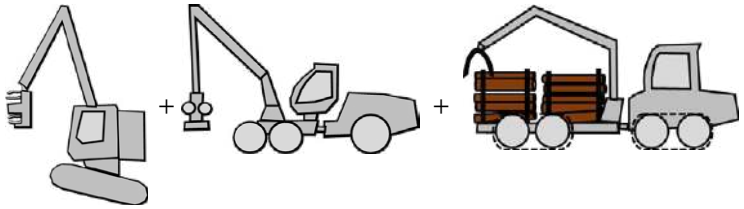
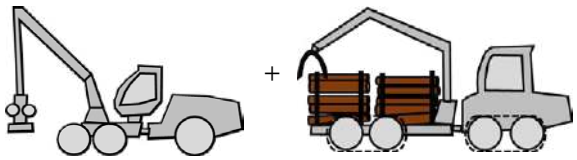


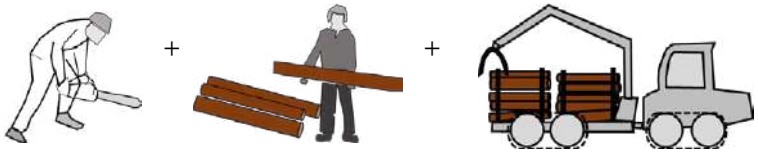
Figura 11.57. Esquema del procedimiento a seguir para elegir el sistema óptimo de aprovechamiento maderero (Fuente: adaptado de Frutig et al. 2007).

4.2. Ejemplos de elección de un sistema de aprovechamiento

A continuación, se presentan ejemplos de elección del sistema de aprovechamiento maderero para distintas situaciones. Para ello, se proporciona información sobre: i) la forma fundamental de masa, ii) el tipo de corta prevista, iii) las características del terreno, iv) el tipo de producto que demanda el mercado y v) el método de aprovechamiento más adecuado. En base a ello, se presenta la elección del sistema de aprovechamiento más adecuado, y también el segundo mejor sistema o sistema alternativo.

4.3.1. Ejemplos en Galicia y la Cornisa Cantábrica

Ejemplo 1: Masas de eucalipto	
Forma fundamental y principal de masa	Monte alto o monte bajo con selección de brotes. Masa coetánea
Tipo de corta prevista	Corta de generación a hecho o a matarrasa
Características de la masa	Marco y densidad: marcos de 2,5 x 2,5 a 3x3 (densidades de 1600 a 1100 pies/ha Diámetros a 1,3 m: 15-35 cm Volumen de corta por ha: 150-600 m^3/ha Conformación árboles: rectos y ramosidad confinada en el cuarto superior
Características del terreno	Acceso: buen acceso a la zona de corta y los camiones de transporte pueden llegar hasta el cargadero de monte Presencia de obstáculos: sin obstáculos significativos Pendiente: menor del 15% Superficie: mayor de 4 ha
Exigencias del mercado y comercialización	Madera para fabricación de pasta de celulosa
Método de aprovechamiento	Madera corta
Sistema propuesto	Sistema completamente mecanizado de madera corta (MC-3-AT): Apeo con taladora-apiladora, procesado y apilado con cosechadora forestal y desembosque con autocargador 
Sistema alternativo	Sistema completamente mecanizado de madera corta (MC-2-AT): Apeo, procesado y apilado con cosechadora forestal y desembosque con autocargador 

Ejemplo 2: Masa de coníferas (principalmente pino radiata, pino pinaster y pino silvestre)	
Forma fundamental y principal de masa	Monte alto. Masa coetánea o regular
Tipo de corta prevista	Corta de primeras o segundas claras
Características de la masa	Marco y densidad: marcos de 2 x 2 a 3x3 (densidades de 2500 a 1100 pies/ha en primera clara o de 1000 a 600 pies/ha en segunda clara) Diámetros a 1,3 m: 15-35 cm Volumen de corta por ha: mínimo 50 m^3/ha Conformación árboles: buena (aquellos con mala conformación deberán ser cortados y procesados con motosierra)
Características del terreno	Acceso: bueno y los camiones de transporte pueden llegar hasta el cargadero de monte Presencia de obstáculos: sin obstáculos significativos Pendiente: menor del 30% Superficie: mayor de 2 ha para corta y unas 14 ha para el lugar (puede haber varias parcelas próximas). Al menos 700 m^3 de corta en el mismo lugar para rentabilizar máquina cosechadora
Exigencias del mercado y comercialización	Madera trituración y madera aserrado
Método de aprovechamiento	Madera corta
Sistema propuesto	Sistema completamente mecanizado de madera corta (MC-2-AT): Apeo, procesado y apilado con cosechadora forestal y desembosque con autocargador
Sistema alternativo	**Sistema manual de madera corta (MC-0-AT)**: Apeo y procesado manual con motosierra, apilado manual y desembosque con autocargador
	

5. Bibliografía

Apffel C (2011) La traction animale en débusquage forestier. ONF - Direction territoriale Lorraine, 70 pp.

ARMEF (1993) Manuel d'exploitation forestières. Tome I, AMEF-CTB-IDF. Fontinebleau, 442 pp.

Bravo E, Ortuzar L (2016) Las taladoras de disco: experiencias en montes gallegos. Revista Foresta, Nº 65: 65-68.

Eroglu H, Acar H.H, Ozkaya M.S, Tilki F (2007) Using plastic chutes for extracting small logs and short pieces of wood from forests in Artvin, Turkey. Building and Environment 42: 3461–3465.

FAO (2016) Statistics yearbook forest products. Roma, Italia.

Forestry Commission (1994) Glenfinnan log chute. Technical Note 6/94, UK Forestry Commission, 10 pp.

Frutig F, Fahrni F, Stettler A, Egger A (2007) La récolte mécanisée des bois sur terrain en pente. La Forêt 6/2007, 16-21.

Grulois S, Magaud P, Périnot C (2014) La récolte forestière en montagne. FCBA, fiche technique, 17 pp.

Kollert W (2018) La populicultura en Europa y España. II Simposio del Chopo, Valladolid, 17-19 de cotubre de 2018. Actas del simposio, pp. 21-29.

Leinonen A (2004) Harvesting technology of forest residues for fuel in the USA and Finland. VTT Tiedotteita-Research Notes 2229. 132 p. + app. 10 p.

Lindroos O, La Hera P, Häggström C (2017) Drivers of advances in mechanized timber harvesting – a selective review of technological innovation. Croat J For Eng. 38(2):243–258.

Lundbäc, M, Häggström C, Nordfjell T (2021) Worldwide trends in methods for harvesting and extracting industrial roundwood. International Journal of Forest Engineering, 32:3, 202-215.

McNally J (1978) Planificación de carreteras forestales y sistemas de aprovechamiento. FAO, Roma.

Nisbet T, Dutch J, Moffat A (1997) Whole-tree harvesting. A Guide to good practice. Forestry Commission Research Agency, Edinburgh, 11 pp.

Pischedda D (coord.) (2009) Guide pratique pour une exploitation forestière respectueuse des sols et de la forêt «PROSOL». ONF, Paris, 110 pp.

RECOFTC (2005) Log chutes. Factsheet. RECOFTC - The Center for People and Forests, 12 pp. Tailandia.

Rodríguez J, Juanati C, Piqué M, Tolosana E (2005) Tècniques de desembosc en l'aprofitament forestal. Centre Propietat Forestal, Barcelona.

Sixto H, Hernández MJ, Ciria P, Carrasco JE, Cañellas I (2010) Manual de cultivo de *Populus ssp*. para la producción de biomasa con fines energéticos. Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria. Madrid, 60 pp.

Spinelli R, Magagnotti N, Lombardini C (2020) Low-investment fully nechanized harvesting of short-rotation poplar (*Populus spp*.) plantations. Forests 2020, 11, 502.

Sundberg U, Silversides CR (1988) Operational efficiency in forestry Vol. 1 analysis. Dordrecht Holland: Kluwer Academic Publishers.

Tolosana E, González VM, Vignote S (2000) El aprovechamiento maderero. Ediciones Mundi Prensa. 580 pp. Madrid.

Varch T, Erber G, Visser R, Spinelli R, Harrill H, Stampfer K (2021) Advances in cable yarding: a review of recent developments in skyline carriage technology. Current Forestry Reports, 7:181–194.

Vignote S, Tolosana E, Ambrosio Y, Vivar A, Blanco A, Pajares J, Martínez P, Rojo A, Torre M, Montero G (2001) Manual para la ejecución del aprovechamiento maderero en primeras claras sobre repoblaciones de coníferas. AITIM, Madrid.

Capítulo 12
El transporte de los productos madereros

Jesús Pemán García

1. Introducción

El transporte es la operación consistente en el traslado de la madera desde el cargadero dispuesto en el monte hasta la industria de destino. Esta operación comprende, también, la carga en origen y la descarga en destino. Este traslado puede realizarse utilizando un único modo de transporte o combinando varios. En el transporte de mercancías hay que tener en cuenta los siguientes factores:

1. Actores. Entre los que cabe destacar el transportista y las agencias de transporte. Las agencias son los intermediarios entre los cargadores y los transportistas. Los transportistas suelen ser empresas diferentes a las que realizan el aprovechamiento forestal, aunque cada más estas tienden a disponer de vehículos para su realización. En el transporte de madera por carretera se suele contratar directamente con el transportista.

2. Infraestructuras. Red de pistas, carreteras y sus características, líneas de ferrocarril, terminales de carga y descarga para el ferrocarril, puertos, instalaciones portuarias, etc.

3. Producto. Se transporta madera, normalmente en rollo, trozas o astilla, pero también agua y aire. Hay que tener en cuenta que este producto, en el caso de la astilla, tiene la consideración de sólido inflamable, por lo que en su manipulación hay que adoptar ciertas precauciones.

4. Coste. El transporte se suele pagar por peso. Debido al reducido valor de la materia prima, hoy día supone el 50% de los costes de explotación.

El sector del transporte está altamente regulado, siendo las principales normas que constituyen su marco legal las siguientes:

1. Transporte terrestre

- Ley 16/1987, de 30 de julio, de ordenación de los transportes terrestres.

- Real Decreto 1211/1999, de 28 de septiembre, reglamento de la L 16/1987

- Ley 15/2009, de 11 de noviembre, del contrato de transporte terrestre de mercancías.
- Ley 9/2013, de 4 de julio, por la que se modifica la L.16/1987.
- Real Decreto 70/2019, de 15 de febrero, por el que se modifica el RD 1211/1999

1.a. Transporte por carretera

- Real Decreto 1428/2003, de 21 de noviembre, por el que se aprueba el Reglamento General de Circulación (RGC).
- Real Decreto 282/98, Reglamento General de Vehículos (RGV).
- Orden PRE/2788/2015, de 18 de diciembre, por la que se modifica el anexo IX del Reglamento General de Vehículos.
- Real Decreto 902/2007, de 6 de julio, por el que se modifica el Real Decreto 1561/1995, de 21 de septiembre, sobre jornadas especiales de trabajo, en lo relativo al tiempo de trabajo de trabajadores que realizan actividades móviles de transporte por carretera (BOE 18/07/2007).
- Ley 37/2015, de 29 de septiembre, de carreteras.
- Real Decreto 563/2017, de 2 de junio, por el que se regulan las inspecciones técnicas en carretera de vehículos comerciales que circulan en territorio español

1.b. Transporte por ferrocarril

- Ley 38/2015, de 29 de septiembre, del Sector Ferroviario.
- Real Decreto 664/2015, de 17 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de Circulación Ferroviaria y su entrada en vigor el 19 de enero de 2017.

2. Transporte marítimo

- Ley 14/2014, de 24 de julio, de navegación marítima.
- Real Decreto Legislativo 2/2011, de 5 de septiembre, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Puertos del Estado y de la marina mercante.
- Real Decreto 145/1989, de 20 de enero, por el que se aprueba el Reglamento nacional de admisión, manipulación y almacenamiento de mercancías peligrosas en los puertos.

En los datos publicados por DIRCE en 2010 existen 1 362 industrias dedicadas al aserrado, cepillado y preparación industrial de la madera. En Cataluña existen 123. Estas serán una de

las primeras destinatarias del transporte de la madera desde el monte. El número de empresas dedicadas al transporte de madera por carretera superan las 600.

2. Modos de transporte

Los modos de transporte más utilizados en la madera son:

1. Terrestre. Puede ser por carretera o por ferrocarril. El transporte por ferrocarril debe ser combinado frecuentemente con el transporte por carretera para aproximar la carga a la estación de origen o de la estación de destino a la industria.

2. Marítimo. Se realiza por barco. Si se elige esta modalidad de transporte se precisa combinarla con otra modalidad de transporte terrestre que traslade la madera de su origen al puerto de embarque y desde el puerto de destino a la industria.

Las diferencias más singulares entre uno u otro modo de transporte hacen referencia a la versatilidad, disponibilidad, capacidad de carga y coste (tabla 12.1).

Tabla 12.1. Diferencias de los modos de transporte.

	Carretera	Ferrocarril	Marítimo
Versatilidad	+	-	-
Disponibilidad	++	+	-
Fiabilidad	-	+	+?
Capacidad carga	-	+	++
Coste unitario	++	-	-

Existen diferentes términos que hacen referencia a la combinación de varios modos de transporte que es necesario clarificar, aunque para su aplicación al transporte de los productos madereros exigiría no manipular la mercancía en los cambios de modo. Estos términos son (Ministerio Fomento 2005):

1. Transporte multimodal. Hace referencia al movimiento de mercancías usando dos o más modos de transporte, cubiertos por un contrato único de transporte.

2. Transporte intermodal. Es un tipo de transporte multimodal pero la mercancía se dispone en Unidades de transporte intermodal (contenedores, cajas móviles, semiremolques, etc.). Por tanto, no implica la manipulación de la mercancía. Para que se pudiera aplicar este concepto al transporte de los productos madereros, cuando se transporta por ferrocarril o por barco, la carga debería estar en contenedores para evitar los procesos de carga y descarga de la misma. En el caso del ferrocarril también se aplicaría este concepto cuando lo que se traslada es el semirremolque cargado.

3. Transporte combinado. Utiliza más de dos modos de transporte con un contrato independiente para cada uno de ellos. La responsabilidad sobre la mercancía recaerá en el responsable del modo de transporte en cada caso. Hace referencia al transporte intermodal de mercancías entre estados miembros de la Unión Europea en el cual los recorridos principales se realizan habitualmente en tren o por travesía marítima. El recorrido por carretera sería mínimo y estaría reservado a la etapa inicial y la final. El transporte combinado carretera/ferrocarril engloba varias alternativas:

3.a. Cargar el camión entero en un tren. Se distinguen las modalidades de acompañado o no acompañado para indicar cuando viaja o no el conductor.

3.b. Cargar un semiremolque o contenedor que sale del origen hacia una estación intermodal A en la cual la carga es transferida, sin transbordo o manipulación, a una plataforma ferroviaria; a partir de aquí, se inicia el trayecto ferroviario hasta una estación B, donde la carga se transporta por carretera hasta la industria.

En el transporte combinado hay, por tanto, una transferencia de la unidad de carga, sea un contenedor, una caja móvil o un semirremolque, entre el ferrocarril y la carretera. La filosofía esencial del transporte combinado carretera/ferrocarril es la de explotar las ventajas competitivas de dos modos de transporte terrestre: el ferrocarril y la carretera.

3. Transporte terrestre

El transporte terrestre puede realizarse por: 1) Carretera y 2) Ferrocarril. Son los dos principales modos de transporte de la madera y de sus derivados. La utilización de uno u otro depende de la distancia a la que haya que transportarla. Como referencia se podría decir que las distancias medias para el transporte por carretera son 100 km, mientras que para el ferrocarril superan los 200 km (Le Net et al. 2011).

Condiciones para el ejercicio de transportista

Ley 16/1987 de ordenación de los transportes terrestres

Según establece el marco jurídico actual, la realización del transporte público de mercancías precisa de estar en posesión de una autorización, tarjetas de transporte, que habilite para ello que expide el órgano competente de la administración. Los requisitos que establece la norma para otorgar dicha autorización son los siguientes:

a) Tener nacionalidad española o la de algún otro Estado miembro de la Unión Europea.

b) Cuando no se trate de una persona física, tener personalidad jurídica propia e independiente de la de aquellas personas que, en su caso, la integren. Tratándose de personas jurídicas, la realización de transporte público debe formar parte de su objeto social de forma expresa.

c) Contar con un domicilio situado en España en el que se conserven, a disposición de los Servicios de Inspección del Transporte Terrestre, los documentos relativos a su gestión y funcionamiento que reglamentariamente se determinen.

d) Disponer de uno o más vehículos matriculados en España.

e) Disponer de dirección y firma electrónica, así como del equipo informático necesario para documentar a distancia el contrato y otras formalidades mercantiles con sus clientes.

f) Cumplir las obligaciones de carácter fiscal, laboral y social exigidas por la legislación vigente.

g) Cumplir, en su caso, aquellas otras condiciones específicas en relación con la clase de transporte de que se trate en cada caso.

h) Cuando el transporte de mercancías se realiza en vehículos o conjunto de vehículos de MMA superior a 3,5 t deberán cumplir los requisitos de establecimiento, honorabilidad, capacidad financiera (capital y reservas por un importe mínimo de 9 000 € cuando se utilice un solo vehículo y 5 000 € por cada vehículo adicional) y competencia profesional exigidos por la reglamentación de la UE (se debe acreditar que la empresa dispone de una persona física que cumple las funciones de gestor de transporte).

Las autorizaciones de transporte se otorgarán sin plazo de duración prefijado, si bien su validez podrá quedar condicionada a su visado periódico, realizado de oficio, conforme a lo que reglamentariamente se determine.

3.1. Transporte por carretera

El transporte por carretera es el principal modo de transporte de la madera a la industria, justificado por la versatilidad de este modo de transporte ante la dispersión de los montes y las industrias. Representa más del 90% de la madera transportada en los principales países de la Unión Europea. Los elementos más característicos de este modo de transporte son: 1) Vehículos, 2) Infraestructuras, 3) Carga y 4) Cargadero.

3.1.1. Vehículos

El transporte por carretera se realiza con vehículos o conjunto de vehículos. Atendiendo a la clasificación de los vehículos según diferentes categorías, Directiva 2007/46/CE de 5 de septiembre, el tipo de categoría que hacen referencia a los vehículos utilizados para el transporte de madera serían:

- Categoría N. Vehículos a motor con al menos cuatro ruedas diseñados para el transporte de mercancías. Entre las subcategorías que contempla abarcarían:

- N_2. vehículos cuya masa máxima es superior a 3,5 t e inferior a 12 t.

- N_3. vehículos cuya masa máxima supera 12 t.

- Categoría O. Remolques (incluidos semiremolques). Las subcategorías serían:

  - O_4. remolques cuya masa máxima sea superior a 10 t.

Los vehículos o conjunto de vehículos utilizados para el transporte de mercancías pueden clasificarse en: 1) Camión rígido y 2) Conjunto de vehículos.

1. Camión rígido. Es un automóvil, con cuatro ruedas o más, concebido y construido para el transporte de mercancías, cuya cabina no está integrada en el resto de la carrocería y con un máximo de 9 plazas, incluido la del conductor (figura 12.1). Los camiones utilizados para el transporte de madera o de sus productos tienen la consideración de vehículos pesados, al superar la masa máxima autorizada las 3,5 t. Pueden llevar 2, 3 ó 4 ejes y disponer de 2 ruedas motrices o de todas las ruedas motrices. Los camiones que acceden a las pistas forestales suelen ser todoterreno. El RGV determina su masa máxima autorizada, longitud, altura y achura (tabla 12.2).

Figura 12.1. Camión rígido de 3 ejes con grúa montada sobre la parte delantera de la caja (izquierda) y de 4 ejes con grúa montada en la parte delantera de la caja (derecha) (Fotos: J. Pemán).

Tabla 12.2. Características dimensionales de los vehículos rígidos según el número de ejes ([1]: cuando el eje motor vaya equipado con neumáticos dobles suspensión neumática o cuando cada eje motor esté equipado de neumáticos dobles y la masa máxima de cada eje no exceda de 9,5 t; MMA: masa máxima autorizada).

	MMA (t)	Longitud (m)	Anchura (m)	Altura (m)
2 ejes	18	12	2,55	4
3 ejes	25			
3 ejes[1]	26			
4 ejes	32			

Para deducir la capacidad de transporte, bien en peso o en volumen, tenemos que calcular la carga y volumen útil que puede transportar el camión.

- Carga útil. Se determina restando a la Masa Máxima Autorizada por el RGV al vehículo su tara, es decir, su peso. Hay que tener en cuenta si el camión dispone o no de grúa ya que habrá que descontar su peso (2-4 t).

$$\text{Carga útil (t)} = \text{MMA (t)} - \text{Tara (t)}$$

- Volumen útil. Determina el volumen disponible para la carga. Dependerá de las dimensiones reales de las cajas de los camiones. Hay que tener en cuenta si el camión dispone o no de grúa ya que habrá que reducir la longitud útil de la caja del camión (1 – 1,5 m).

En la tabla 12.3, se detallan los rangos de variación que pueden tener la carga y el volumen útil de los camiones rígidos.

Tabla 12.3. Estimación de la carga y volumen útil para vehículos rígidos.

	Carga útil (t)	Longitud útil (m)	Anchura útil (m)	Altura útil(m)
2 ejes	9,5	8-10	2,45-2,50	2,7-2,9
3 ejes	12-16			
4 ejes	20			

Un camión especial es el portacontenedores o también denominado camión *multilift*. Consiste en un chasis rígido o en una cabeza tractora dotada de un gancho elevador, tipo *multilift*, para la elevación y carga de diferentes cajas y/o contenedores. Los contenedores más utilizados tienen rodillos (*roller containers*), lo que les permite un movimiento longitudinal, facilitando la realización de una descarga basculante. Es muy utilizado para el transporte de astilla. Este sistema permite que en el cargadero haya siempre algún contenedor vacío para que el astillado se vaya realizando directamente sobre el mismo. De esta manera se evita que la astilla tenga impurezas y se ahorra una operación de carga y la presencia de una máquina cargadora. Los contenedores que más se utilizan son los de 20 y 40 pies de largo (1 pie 30,48 cm) que permiten una capacidad de carga entre 20 y 30 t (tabla 12.4).

Figura 12.2. Camión portacontenedores con sistema *multilift* (izquierda) y astillado directo sobre contenedor (derecha) (Fotos: J. Pemán).

Camión portacontenedores

Tabla 12.4. Características de los modelos de contenedores marítimos (Fuente: icontainers.com).

Dimensiones y capacidades	Modelos open top (abiertos por arriba)	
	22 U1	42 OT
Dimensiones interiores (ancho x alto x largo) (m)	2,352 x 2,395x 5,9	2,352 x 2,395 x 12,01
Tara contenedor (kg)	2 394	3 850
Peso bruto máximo (kg)	23 994	30 480
Carga útil (kg)	21 600	26 630
Volumen contenedor (m^3)	33,23	67,65

2. Conjunto de vehículos. Formado por dos o más elementos rígidos, uno de ellos con capacidad de tracción que recibe el nombre de tractocamión o cabeza tractora. El RGV define el tractocamión como automóvil concebido y construido para realizar, principalmente, el arrastre de un semirremolque. Dentro de esta tipología se pueden distinguir: a) Vehículo articulado, b) Tren de carretera, c) Cabeza tractora más *dolly* o plataforma rodante, d) Configuración euromodular (megacamiones).

2.a. Vehículo articulado. Conjunto de vehículos constituido por un vehículo motor al que se le acopla un semiremolque. Se entiende por semiremolque el vehículo no autopropulsado diseñado y concebido para ser acoplado a un automóvil, sobre el que reposará parte del mismo, transfiriéndole una parte sustancial de su masa (figura 12.3, tabla 12.5).

Figura 12.3. Vehículo articulado con semiremolque de 5 ejes sin grúa (izquierda) y de 4 ejes con grúa en la parte delantera de la caja (derecha) (Fotos: J. Pemán).

El semiremolque tendrá una longitud máxima entre el eje del pivote de enganche y la parte trasera del mismo de 12 m. La distancia entre dicho eje y la parte delantera será de 2,04 m. En el transporte de madera se usan semiremolques de plataforma, que pueden ser extensibles (figura 12.4). La madera se suele cargar longitudinalmente en la caja, aunque también puede combinarse una carga transversal y longitudinal.

Tabla 12.5. Características dimensionales de los vehículos articulados según el número de ejes ([1]: Vehículo motor de 2 ejes, equipado en el eje motor con ruedas gemelas, suspensión neumática o reconocida como equivalente y por un semirremolque en el cual la distancia entre ejes sea superior a 1,80 metros, y se respeten la masa máxima autorizada del vehículo motor, [2]: Vehículo motor de 3 ejes con semirremolque de 2 ó 3 ejes llevando, en transporte combinado, un contenedor o caja móvil cerrados, igual o superior a 20 pies y homologado para el transporte combinado; [3]: Vehículo motor de 2 ejes con semirremolque de 3 ejes llevando, en transporte combinado, un contenedor o caja móvil cerrados, igual o superior a 20 pies y homologado para el transporte combinado MMC: masa máxima autorizada del conjunto).

	MMC (t)	Longitud máxima (m)	Anchura máxima (m)	Altura máxima (m)
Vehículo articulado de 4 ejes	36	16,5	2,55	4
Vehículo articulado de 4 ejes[1]	38			
Vehículos motor con 2 ejes y con semiremolque de 3 ejes	40			
Vehículos motor con 3 ejes y con semiremolque de 2 ó 3 ejes	40			
Vehículos articulados de 5 ó más ejes[2]	44			
Vehículos articulados de 5 o más ejes[3]	42			

Figura 12.4. Vehículo articulado con semiremolque de plataforma. Carga longitudinal de fuste entero (superior izquierda), carga transversal y longitudinal de madera corta (superior derecha), carga longitudinal de fuste entero en plataforma extensible (inferior izquierda) (Fotos: J. Pemán) y carga longitudinal de trozas largas (5,2 m) (inferior derecha) (Foto: A. Aunós).

Un semiremolque muy singular es el utilizado para el transporte de astilla, que dispone de piso móvil (figura 12.5), facilitando su descarga en destino. Para el transporte de astilla también se utilizan los semiremolques basculantes que pueden realizar la descarga lateralmente o por la parte trasera.

Figura 12.5. Piso móvil constituido por láminas deslizantes (izquierda) y semitrailer de piso móvil frecuentemente en el transporte de astilla (derecha) (Foto: J. Pemán).

La carga y volumen útil en los vehículos articulados puede ser variable según los chasis y plataformas que se utilicen (tabla 12.6).

Tabla 12.6. Estimación de la carga y volumen útil para vehículos articulados.

	Carga útil (t)	Longitud útil (m)	Anchura útil (m)	Altura útil (m)
Vehículo articulado de 4 ejes	23	12-13,6	2,45-2,5	2,7-2,9
Vehículos motor con 2 ejes y con semiremolque de 3 ejes	24-30			
Vehículos motor con 3 ejes y con semiremolque de 2 **ó** 3 ejes				
Vehículos articulados de 5 o más ejes [3]				

Un camión articulado especial que se utiliza para el transporte de astilla es el dotado de un remolque basculante, que se conoce vulgarmente como camión bañera o bañera. La caja bascula por la acción de un cilindro hidráulico. Las dimensiones de las cajas son muy variables aunque las más utilizadas tienen una capacidad entre 20 y 30 m^3 (figura 12.6).

2.b. Tren de carretera. Conjunto de vehículos constituido por un vehículo motor con un remolque enganchado. Se entiende por remolque el vehículo no autopropulsado diseñado y concebido para ser remolcado por un vehículo de motor (tabla 12.7, figura 12.7).

Los remolques de dos ejes tienen una masa máxima autorizada de 18 t y los de 3 ejes de 24 t. Su longitud máxima es de 12 m. Normalmente se utilizan para cargar madera corta de forma transversal aunque también pueden utilizarse para carga longitudinal (figura 12.7). En los

trenes de carretera la grúa suele ir en la parte trasera de la caja del camión rígido. La carga y volumen útil en trenes de carretera pueden ser variable según su número de ejes (tabla 12.8.)

Figura 12.6. Camión bañera dotado de un semiremolque basculante.

Tabla 12.7. Características dimensionales de los trenes de carretera según el número de ejes (MMC: masa máxima autorizada del conjunto).

	MMC (t)	Longitud máxima (m)	Anchura máxima (m)	Altura máxima (m)
Trenes de carretera 4 ejes. Vehículo motor de 2 ejes y remolque de 2 ejes	36	18,75	2,55	4
Trenes de carretera 5 o más ejes. Vehículo motor de 2 ejes con remolque de 3 ejes y vehículo motor de 3 ejes con remolque de 2 ó 3 ejes	40			

Tabla 12.8. Estimación de la carga y volumen útil para trenes de carretera.

	Carga útil (t)	Longitud útil (m)	Anchura útil (m)	Altura útil (m)
Trenes de carretera 4 ejes. Vehículo motor de 2 ejes y remolque de 2 ejes	22-24	12-14	2,45-2,5	2,7-2,9
Trenes de carretera 5 o más ejes. Vehículo motor de 2 ejes con remolque de 3 ejes y vehículo motor de 3 ejes con remolque de 2 ó 3 ejes	23,5-26			

2.c. Cabeza tractora más *dolly* (plataforma rodante). Conjunto de vehículos especial compuesto por una cabeza tractora y una plataforma *dolly* (figura 12.8). Este conjunto está pensado para el transporte de fuste entero de gran longitud. En Alemania y Francia se transportan de este modo fustes de 22 m de largo (Le Net et al. 2011). Los fustes apoyan en el extremo de la cabeza tractora, a la que se han acoplado unos teleros, y en la plataforma *dolly*, también dotada de unos teleros. La MMC depende del número de ejes motor, del número de ejes de la plataforma y de su separación, etc. Para la configuración de la figura 12.8, se

puede estimar que la MMC es de 35 t. La carga útil, descontada la tara de la tractora, la grúa y el *dolly*, estaría en 22-23 t.

Figura 12.7. Trenes de carretera. Carga transversal de trozas cortas (izquierda) y carga longitudinal de trozas largas (derecha) (Fotos: J. Pemán).

Figura 12.8. Conjunto de vehículos compuesto por cabeza tractora de 3 ejes más plataforma *dolly* de 2 ejes (Fotos: J. Pemán).

Carga en largo de madera de abeto en tractora con dolly

2.d. Conjunto de vehículos en configuración euromodular (EMS, *European modular system*). Conjunto de vehículos que posean más de 6 líneas de ejes, que pueden llegar hasta un máximo de 25,25 m y 60 t de masa máxima de conjunto y cuyos módulos separadamente no superen los límites máximos de masas y dimensiones establecidos en el RGV para los vehículos rígidos a motor, remolques y semirremolques (tabla 12.9).

Tabla 12.9. Características dimensionales del conjunto de vehículos de configuración euromodular (MMC: masa máxima autorizada del conjunto).

	MMC (t)	Longitud máxima (m)	Anchura máxima (m)	Altura máxima (m)
Conjunto de vehículos de más de 6 ejes	60	25,25	2,55	4

Las combinaciones de elementos para desarrollar este tipo de configuración pueden ser muy variadas (tabla 12.10, figura 12.9).

Tabla 12.10. Características dimensionales del conjunto de vehículos de configuración euromodular ([1]: Dolly, plataforma con un número variable de ejes que permite el apoyo de la carga, de un remolque o de un semiremolque; [2]: Link-trailer, remolque que dispone de un dispositivo de anclado en su parte trasera para el acoplamiento de un semiremolque).

Composición		Longitud máxima (m)	Anchura máxima (m)	Altura máxima (m)
Cabeza tractora	Semiremolque	13,62	2,55	4
	Remolque	7,82	2,55	4
Cabeza tractora	*Link-trailer*[2]	7,82 (trailer)	2,55	4
	Semiremolque	13,62	2,55	4
Camión rígido		7,82	2,55	4
	Dolly[1]			
	Semiremolque	13,62	2,55	4

Figura 12.9. Plataforma dolly (izquierda) y link-trailer (centro) y configuración euromodular de camión rígido+dolly+semiremolque (derecha) (Fuente: http://sciencenordic.com/sites/default/files/imagecache/440x/truck_0.jpg).

Los requisitos que la Orden de 2015 establece para este tipo de conjuntos son los siguientes:

- Los módulos utilizados habrán de constar en el Registro de Vehículos de la Dirección General de Tráfico y deberán cumplir todos los requisitos establecidos en el RGV para su puesta en circulación por vías de uso público.

- No podrán superar los valores límites de masas y dimensiones establecidos en el RGV para vehículos rígidos a motor, remolques y semirremolques.

- Suspensión neumática o equivalente en los ejes motrices.

- Espejos para ángulo muerto.

- Sistema de advertencia de abandono de carril o asistencia de mantenimiento en el mismo.

- Sistema capaz de detectar automáticamente una situación de emergencia y activar el sistema de frenado del vehículo para su desaceleración a fin de evitar o mitigar una colisión.

- Sistema electrónico de control de estabilidad.

- El vehículo motriz ha de estar homologado para una masa máxima de conjunto (MMC) de 40 t.

- El vehículo motriz que actúe como remolcador deberá estar equipado con un dispositivo de acoplamiento homologado e instalado en unas condiciones que garanticen una MMC de 60 t.

- Tanto el vehículo motriz como los vehículos de categoría O_4 que actúen de intermedios serán remolcadores, debiendo por tanto disponer del adecuado equipamiento eléctrico, neumático y mecánico para remolcar.

En Francia, según datos de AFOCEL en 2005, el 70% del transporte se realiza con cabeza tractora y semiremolque y un 18% con trenes de carretera (Le Net et al. 2011). En su análisis de los modelos de transporte de la madera en la Unión Europea, Le Net *et al.* (2011) describen que los conjuntos de vehículos en Francia y Alemania suelen ser de 5 ejes aunque en la actualidad se están desarrollando de 6 ejes. Por otro lado, en los Países nórdicos los conjuntos de vehículos más frecuentes son los trenes de carretera con 7 u 8 ejes. Una combinación muy frecuente de vehículos para el transporte de la madera en rollo en el norte de Suecia es un camión de 3 ejes y un remolque de 4 ejes con grúa desmontable. La tara de estas combinaciones es de 21 t con grúa y 17 t sin ella, lo que permite una capacidad de carga de madera entre 39 y 43 t. El sistema más frecuente en el Reino Unido es un camión articulado de 6 ejes, con grúa o sin ella, con una masa máxima autorizada de 44 t y una capacidad de carga de 25 t.

3.1.1.2. Las grúas

Un aspecto a determinar en la elección del tipo de vehículo o conjunto de vehículos a utilizar es si deben disponer o no de grúa y, en caso de que dispongan, donde debe ubicarse: 1) Parte delantera, 2) Medio del conjunto de vehículos, 3) Parte trasera.

Que el vehículo o conjunto de vehículos disponga de grúa implica disminuir la capacidad de carga entre 2 y 4 t, según el modelo de grúa. Dado que en la industria de destino se dispone de medios para realizar la descarga, la decisión de portar o no la grúa dependerá del modo de caga en origen. Es por ello, que muchos transportistas optan por disponer de una grúa desmontable según las necesidades. En los transportes en los que el vehículo carga a pie del área de corta, en pista o en cargadero en el monte, es frecuente la necesidad de disponer de grúa. Pero, en ocasiones, dependiendo del sistema de desembosque elegido y la distancia del monte a la industria, puede no ser necesaria la grúa en el camión (figura 12.10).

La posición de la grúa dependerá del tipo de vehículo o del conjunto de vehículos y del tipo de trozas a transportar. En el caso de vehículos articulados utilizados para cargar madera larga de forma lon-

gitudinal, la grúa se ubica en la parte delantera del semiremolque. Una excepción podría ser los vehículos articulados utilizados para el transporte de trozas para desenrollo donde, debido a la longitud de las trozas de 5,2 m, la grúa se puede localizar en la parte central del semiremolque (figura 12.11).

Figura 12.10. Camión rígido con grúa, que realiza la parte final del desembosque, carga el vehículo articulado sin grúa para el transporte (izquierda) y vehículo articulado con grúa cargando a pie de pista (derecha) (Fotos: J. Pemán y A Aunós).

Figura 12.11. Vehículo articulado donde la grúa se ubica en la parte central del semiremolque, cargando trozas de chopo de 5,2 m (Foto: A. Aunós).

En el caso de los camiones rígidos la posición de la grúa dependerá si el camión se utiliza directamente para el transporte, en cuyo caso la grúa se ubica en la parte delantera, o para la formación de trenes de carretera, en cuyo caso la grúa se suele ubicar en la parte trasera de la caja (figura 12.12).

Figura 12.12. Camión rígido con grúa ubicada en la parte delantera (izquierda) y camión rígido con la grúa ubicada en la parte trasera de la caja (derecha) (Fotos: J. Pemán).

3.1.2. Infraestructuras

La infraestructura del transporte con vehículos automóviles son las carreteras, entendidas estas como vías de transporte de dominio y uso público, proyectadas y construidas fundamentalmente para la circulación de vehículos automóviles. Según la L. 37/2015, las carreteras se clasifican en: autopistas, autovías, carreteras multicarril y carreteras convencionales (tabla 12.11).

Tabla 12.11. Características de los diferentes tipos de carretera según la L37/2015.

Tipos	Características
Autopistas	Las propiedades colindantes no tienen acceso a las mismas Ninguna otra vía de comunicación o servidumbre de paso las cruza a nivel Tienen distintas calzadas, para cada sentido de circulación, separadas entre sí, salvo en puntos singulares o con carácter temporal, por una franja de terreno no destinada a la circulación o, en casos excepcionales, por otros medios
Autovías	Tienen calzadas separadas para cada sentido de la circulación, Accesos limitados a y desde las propiedades colindantes Carecen de cruces a nivel
Carreteras multicarril	Tienen al menos dos carriles destinados a la circulación para cada sentido, con separación o delimitación de los mismos, pudiendo tener accesos o cruces a nivel.
Carreteras convencionales	Las carreteras que no reúnen las características propias de las autopistas, ni las de las autovías, ni las de las carreteras multicarril.

A finales de 2015, la red de carreteras en España estaba constituida por 166 003 km, de los cuales 26 329 km están gestionados por la Administración Central y recogen el 51,8% del tráfico total y el 63,3% del tráfico pesado. 71 324 km que están gestionados por las CC.AA. y soportan el 42,5% del tráfico, y 68 349 km por las Diputaciones Provinciales, que suponen el 5,7% del tráfico restante (tabla 12.12). Además, los ayuntamientos tienen a su cargo, según la última medición realizada con carácter oficial en 1998, 489 698 km de los cuales 361 517 km son interurbanos. Finalmente, existen 11 355 km de vías dependientes de otros organismos.

En las carreteras que conforman la Red del Estado se deben distinguir unas zonas de: 1) Dominio público, 2) Servidumbre y 3) Afección (figura 12.13).

1. Dominio público. Sólo podrán realizarse obras, instalaciones u otros usos en la zona de dominio público cuando la prestación de un servicio público de interés general así lo exija. Se precisa la previa autorización del Ministerio competente de la vía. El uso especial o la ocupación del dominio público comportarán la obligación, por el beneficiario de la correspondiente autorización de uso u ocupación, del abono de un canon.

2. Servidumbre. No podrán realizarse obras o instalaciones ni se permitirán más usos que aquellos que sean compatibles con la seguridad viaria y la adecuada explotación de la vía, previa autorización, en cualquier caso, del Ministerio competente de la vía. Se podrá utilizar o autorizar a terceros la utilización de la zona de servidumbre por razones de interés general

o cuando lo requiera el mejor servicio de la carretera. Serán indemnizables la ocupación de la zona de servidumbre y los daños y perjuicios que se causen por su utilización.

3. Zona de afección. Para ejecutar en la zona de afección cualquier tipo de obras o instalaciones fijas o provisionales, cambiar el uso o destino de las existentes y plantar o talar árboles, se requerirá la previa autorización del Ministerio competente de la vía.

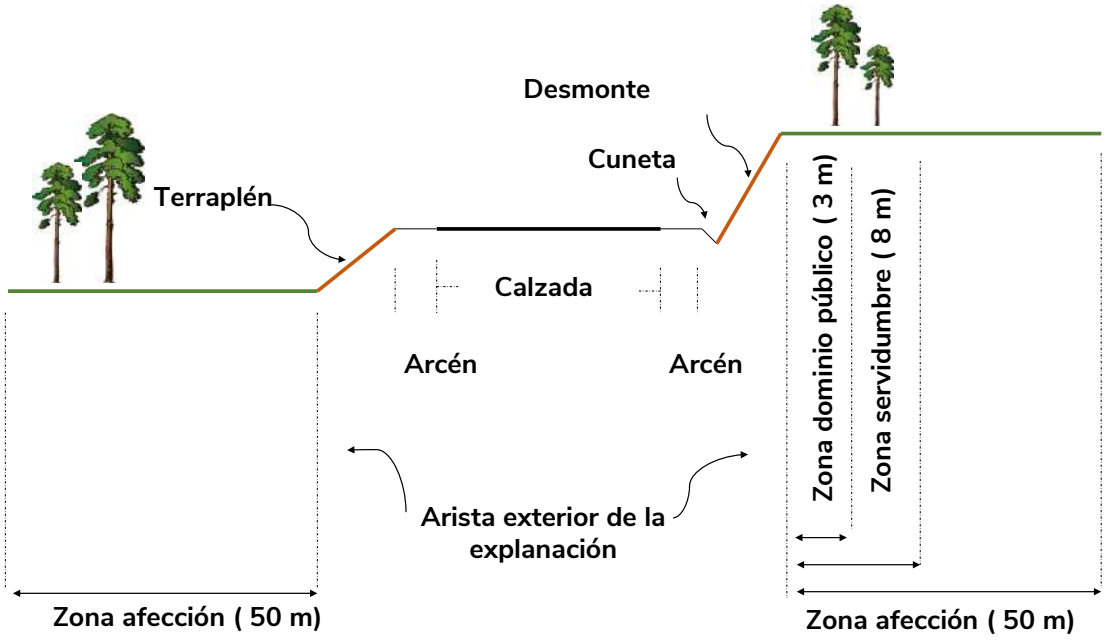


Figura 12.13. Esquema de las zonas de dominio público, servidumbre y afección de una carretera convencional según la L.37/2015.

En la circulación de vehículos con configuración euromodular deberá existir un informe favorable de los titulares de las vías. En dicho informe se establecerá la capacidad física de las mismas para soportar el paso de este tipo de conjuntos y las prescripciones técnicas que tengan por objeto evitar daños sobre la infraestructura, que tendrán el carácter de vinculantes. Las vías habrán de ser autopistas, autovías o carreteras convencionales con calzadas separadas para cada sentido de la circulación (DGT 2019). Solo se podrán incluir vías convencionales de una sola calzada para los dos sentidos de la circulación cuando ello sea necesario para llegar hasta el lugar donde el conjunto realizará las operaciones de carga o descarga debido a que se trata de la única alternativa viable. Los puntos de carga y descarga para los cuales se requiera la circulación por carreteras convencionales de una sola calzada para los dos sentidos deberán estar situados en polígonos industriales, centros logísticos o áreas similares a éstos.

La ruta de transporte debe planificarse convenientemente, seleccionando la mejor ruta en términos de longitud, tiempo, seguridad, restricciones de la carretera e impactos sobre la comunidad (Timber Transport Forum 2012). Especial atención merecen los puntos críticos que pueda tener la ruta, como paso por núcleos de población, puentes estrechos, curvas cerradas, pendientes longitudinales elevadas, estrechamientos en la calzada, etc. Asimismo, hay que planificar la ruta para minimizar los retornos en vacío.

Tabla 12.12. Inventario de la red de carreteras 2016 (Fuente: Ministerio de Fomento).

Comunidad Autónoma	Total general (km)	Carreteras de una calzada (km)				Carretera multicarril (*) (km)	Autovías y autopistas libres (km)	Autopistas de peaje (km)
		Total	< 5 m	5 a 6,99 m	≥ 7 m			
Andalucía	23 174	20 361	2 100	10 027	8 234	229	2 335	249
Aragón	11 659	10 814	3 298	3 427	4 089	56	632	157
Principado de Asturias	5 043	4 577	1 186	2 417	974	13	431	22
Illes Balears	2 155	1 965	306	712	947	97	94	--
Islas Canarias	4 219	3 852	534	1 388	1 929	115	253	--
Cantabria	2 571	2 313	183	1 446	684	3	255	--
Castilla y León	33 022	30 564	6 606	12 984	10 974	103	2 078	277
Castilla-La Mancha	19 601	17 766	1 381	6 449	9 935	20	1 601	214
Cataluña	12 018	10 408	945	4 317	5 146	155	823	633
Comunitat Valenciana	8 311	6 885	472	2 206	4 207	243	816	367
Extremadura	9 208	8 438	836	2 396	5 206	68	703	--
Galicia	17 743	16 536	4 504	5 017	7 015	102	778	327
Comunidad de Madrid	3 319	2 339	67	812	1 460	209	610	161
Región de Murcia	3 449	2 785	43	791	1 951	91	458	115
Comunidad Foral de Navarra	3 866	3 460	858	1 018	1 584	26	236	144
País Vasco	4 180	3 556	792	1 275	1 488	128	241	255
La Rioja	1 879	1 694	183	555	956	4	62	119
Ceuta y Melilla	66	63	--	32	31	3	--	--
Total	**165 483**	**148 374**	**24 296**	**57 268**	**66 810**	**1 665**	**12 405**	**3 039**

Con carácter general deben evitarse producir daños en la calzada, extremando la precaución en los puntos de acceso a la carretera desde las pistas para evitar dañar, ensuciar o introducir objetos en la misma. En el caso de carreteras locales, para evitar los daños que pudieran producir estos vehículos sobre la calzada por la carga que transportan, puede reducirse la presión de inflado de los neumáticos.

3.1.3. Carga

Según lo dispuesto en el RGC en ningún caso la carga transportada por los vehículos que se dediquen al transporte de mercancías excederá de lo dispuesto en las normas que regulen las dimensiones de los diferentes vehículos, no sobresaliendo de la proyección en planta del vehículo. Cuando la carga se considere indivisible, caso por ejemplo del transporte de postes o puntales, en los vehículos de longitud superior a 5 m, la carga no podrá sobresalir más de 3 m por la parte posterior. En estos casos, la carga deberá señalizarse con la señal V-20 en el extremo posterior de la carga y perpendicular al eje del vehículo (figura 12.14).

Figura 12.14. Carga que sobresale de la caja del camión (izquierda) (Foto: J. Pemán) y señal V20 que indica que la longitud de la carga sobresale a la proyección horizontal de la caja del vehículo (derecha).

La carga deberá estar estibada de tal forma que no se pueda arrastrar o caer parcialmente, desplazarse de forma peligrosa, comprometer la estabilidad del vehículo o producir polvo. En el caso del transporte de astillas, susceptibles de producir polvo o caerse el vehículo deberá disponer de sistemas que las cubran eficazmente. En el transporte de la madera en rollo o en trozas en camiones con caja tipo de plataforma, cuando se carga longitudinalmente, se suelen utilizar teleros dispuestos longitudinalmente en la caja del camión para evitar el desplazamiento lateral de la carga. Para evitar el desplazamiento longitudinal de la carga hacia delante, las cajas de los camiones suelen estar cerradas por la parte delantera o disponer de una parrilla que bloquee el desplazamiento de la carga en ese sentido. En el caso de que las trozas se carguen transversalmente en la caja del camión, los teleros deberán ubicarse en la parte delantera y trasera de la caja para evitar su desplazamiento longitudinal. Estos elementos constituyen los llamados dispositivos de bloqueo para el desplazamiento de la carga. Para la colocación de los teleros hay que tener en cuenta (IRU 2014):

- Hay que poner 2 si la longitud de la troza es menor a 3 m y 3, si es superior a dicha longitud.

- Para asegurar la fijación lateral, la longitud de las trozas o fustes deberán sobrepasar en 30 cm, por cada lado, la longitud de separación de los puntales.

- La altura de la carga en la caja del camión no deberá superar la longitud de los teleros. Los troncos situados en la parte superior central han de estar más altos que los situados en los laterales para coronar la carga y permitir una tensión correcta de los sistemas de sujeción.

- Los teleros deben diseñarse de manera que, juntas, puedan resistir una fuerza lateral equivalente al 50% del peso máximo de la carga, ejercido a media altura de dicha carga (H/2) por encima de la plataforma del vehículo (figura 12.15).

Además de estos elementos de bloqueo, si la carga se ha colocado longitudinalmente en la caja del camión debe ir amarrada para evitar su desplazamiento longitudinal hacia la parte trasera de la caja. Por amarre se entiende el método de fijación en el que se utilizan dispositivos flexi-

bles para la fijación de la carga en un vehículo. En el caso del transporte de la madera, el sistema de amarre para evitar el deslizamiento de la carga sobre la caja es por rozamiento. Para ello se precisan de unos dispositivos de amarre, que debidamente tensados, incrementan la fuerza de rozamiento de la superficie de contacto de la carga y así evitan su deslizamiento. Con estos dispositivos se realiza un amarre superior de la carga, pasándolos por la parte superior de la pila. Cuando hay varios dispositivos de tensado se colocarán de forma alternativa sobre lados opuestos de la carga. Estos dispositivos suelen ser cintas de amarre textiles dotadas de un dispositivo tensor, generalmente de trinquete (AENOR 2001) (figura 12.16).

En el caso de madera en rollo con cierta conicidad la colocación de los fustes en la caja debe realizarse de forma contrapeada para garantizar una carga equilibrada (figura 12.17).

Figura 12.15. Carga a soportar por los teleros o puntales (Foto: J Pemán).

Figura 12.16. Disposición de los teleros longitudinalmente en la caja del camión según la longitud de las trozas (izquierda). Amarre de la carga de leña con cinta textil y tensor de trinquete. Se puede observar que por cada carga de leña cargada longitudinalmente se han dispuesto dos teleros que evitan el desplazamiento lateral. Asimismo, la longitud de las trozas supera en 30 cm a cada lado la separación de los teleros (derecha).

Carga en largo de vehículo articulado en pista

Para calcular la fuerza de tensado se debe tener en cuenta la norma UNE EN 12195-1 (AENOR 2011) que establece el cálculo de las fuerzas de amarre.

$$F_T > \frac{(C_{x,y} - \mu.C_z)m.g}{2.n.\mu.sen\alpha} f_s$$

Donde: FT: fuerza de tensado (N); $c_{x,y}$: coeficiente de aceleración longitudinal o transversal (para el transporte por carretera el coeficiente de aceleración longitudinal hacia atrás es 0,5); c_z: coeficiente de aceleración vertical (en el transporte por carretera este coeficiente hacia abajo es 1); μ: factor de rozamiento; m: masa de la carga (kg); g: aceleración por gravedad (m s^{-2}); n: número de dispositivos de amarre; α: ángulo que forma el dispositivo de amarre con el plano horizontal de la caja que sustenta la carga (se puede considerar que en amarres de madera este ángulo es próximo a 90º); f_s: factor de seguridad para el rozamiento del amarre (en el transporte por carretera se considera 1,1 para todas las direcciones horizontales que no sean para adelante, en cuyo caso es 1,25).

Para determinar el número de dispositivos de amarre, se despejará de la desigualdad anterior el término n:

$$n > \frac{(C_{x,y} - \mu.C_z)m.g}{2.\mu.sen\alpha.\mathrm{FT}} f_s$$

Real Decreto 563/2017, de 2 de junio, por el que se regulan las inspecciones técnicas en carretera de vehículos comerciales que circulan en territorio español.

Inspección de la sujeción de la carga. Criterios que pueden utilizarse para determinar si el estado del transporte es aceptable (Anexo III).

Elemento	Deficiencia	Evaluación		
		Leve	Grave	Peligrosa
10	Idoneidad del vehículo			
10.1	Pared frontal (si se utiliza para la sujeción de la carga)			
10.1.1	Parte oxidada o deformada		x	
	Parte fisurada que pone en peligro la integridad del compartimento de carga			x
10.1.2	Resistencia insuficiente (certificado o etiqueta si procede)		x	
	Altura insuficiente en relación con la carga transportada			x
10.2	Paredes laterales (si se utilizan para la sujeción de la carga)			
10.2.1	Parte oxidada o deformada; mal estado de bisagras o cerraduras		x	
	Parte fisurada; faltan bisagras o cerraduras, o no funcionan			x
10.2.2	Resistencia insuficiente del soporte (certificado o etiqueta si procede)		X	
	Altura insuficiente en relación con la carga transportada			X
10.2.3	Mal estado de los paneles de las paredes laterales.		X	
	Parte fisurada			X

10.3	Pared posterior (si se utiliza para la sujeción de la carga)			
10.3.1	Parte oxidada o deformada; mal estado de bisagras o cerraduras		x	
	Parte fisurada; faltan bisagras o cerraduras, o no funcionan			X
10.3.2	Resistencia insuficiente (certificado o etiqueta si procede)		x	
	Altura insuficiente en relación con la carga transportada			X
10.4	Teleros (si se utilizan para la sujeción de la carga)			
10.4.1	Parte oxidada o deformada, o amarre insuficiente al vehículo		X	
	Parte fisurada; amarre al vehículo inestable			X
10.4.2	Mala resistencia o diseño.		X	
	Altura insuficiente en relación con la carga transportada			X
10.5	Puntos de amarre (si se utilizan para sujeción de la carga)			
10.5.1	Mal estado o diseño		X	
	No pueden soportar las fuerzas de amarre necesarias			X
10.5.2	Número insuficiente		X	
	Número insuficiente para soportar las fuerzas de amarre necesarias			X
10.6	Estructuras especiales exigidas (si se utilizan para la sujeción de la carga)			
10.6.1	Mal estado, dañado		X	
	Parte fisurada; no apta para soportar la fuerza de retención			X
10.6.2	No apta para la carga transportada		x	
	Ausente			X
10.7	Suelo (si se utiliza para la sujeción de la carga)			
10.7.1	Mal estado, dañado		X	
	Parte fisurada; No apto para soportar carga			X
10.7.2	Límite de carga insuficiente		X	
	No apto para soportar carga			X
20	Cierre, bloqueo y amarre directo			
20.1	Amarre director de la carga (bloqueo)			
20.1.1	Demasiada distancia entre la carga y la parte frontal			
20.1.1.1	Demasiada distancia con la pared frontal si se utiliza para la sujeción directa de la carga		X	
	Más de 15 cm y riesgo de atravesar la pared			X
20.1.1.2	Demasiada distancia con las paredes laterales si se utilizan para la sujeción directa de la carga		X	
	Más de 15 cm y riesgo de atravesar la pared			X
20.1.1.3	Demasiada distancia con la pared posterior si se utiliza para la sujeción directa de la carga		X	
	Más de 15 cm y riesgo de atravesar la pared			X
20.1.2	Dispositivos de sujeción, como raíles de amarre, vigas de bloqueo, tablillas y cuñas en las paredes frontal, laterales y posterior			
20.1.2.1	Fijación al vehículo inadecuada	X		
	Fijación insuficiente		X	
	No aptos para soportar las fuerzas de retención, flojos			X
20.1.2.2	Sujeción inadecuada	x		
	Sujeción insuficiente		X	
	Totalmente ineficaces			X

20.1.2.3	Equipo de sujeción poco adaptado		x	
	Equipo de sujeción totalmente inadecuado			X
20.1.2.4	Método escogido para la sujeción del embalaje: subóptimo		X	
	Método elegido totalmente inadecuado			X
20.1.3	Sujeción directa con redes y lonas			
20.1.3.1	Estado de las redes y de las lonas (falta la etiqueta/están dañadas pero pueden servir)	X		
	Dispositivos de retención de la carga dañados		X	
	Dispositivos de retención de carga muy deteriorados y que no son ya apropiados para el uso			X
20.1.3.2	Resistencia insuficiente de las redes y lonas		X	
	Capacidad inferior a dos tercios de las fuerzas de retención requeridas			X
20.1.3.3	Fijación insuficiente de las redes y lonas		X	
	Fijación con una capacidad menor para soportar dos tercios de las fuerzas de retención requeridas			X
20.1.3.4	Adecuación insuficiente de las redes y lonas para la sujeción de la carga		X	
	Totalmente inadecuadas			X
20.1.4	Separación y relleno de las unidades de carga o de los espacios libres			
20.1.4.1.	Inadecuación de la unidad de separación y relleno		X	
	Separación o espacios libres demasiado amplios			X
20.1.5	Amarre directo (horizontal, transversal, diagonal, con bucles o resortes)			
20.1.5.1.	Las fuerzas de sujeción requeridas son inadecuadas		X	
	Inferiores a dos tercios de la fuerza requerida			X
20.2	Sujeción por fricción			
20.2.1	Alcance de las fuerzas de sujeción requeridas			
20.2.1.1	Las fuerzas de sujeción requeridas son inadecuadas		X	
	Inferiores a dos tercios de la fuerza requerida			X
20.3	Dispositivos de retención de la carga utilizados			
20.3.1	Inadecuación de los dispositivos de retención de la carga		X	
	Dispositivo totalmente inadecuado.			X
20.3.2	Falta la etiqueta (por ejemplo placa/remolque)/está dañada pero el dispositivo funciona adecuadamente	X		
	Falta la etiqueta (por ejemplo placa/remolque)/está dañada y el dispositivo está muy deteriorado.		X	
20.3.3	Dispositivos de retención de la carga dañados		x	
	Dispositivos de retención de carga muy deteriorados y que no son ya apropiados para el uso			X
20.3.4	Tornos de amarre utilizados de forma incorrecta		X	
	Tornos de amarre defectuosos			X
20.3.5	Uso incorrecto de los dispositivos de retención de la carga (por ejemplo falta de protección de las aristas)		X	
	Uso defectuoso de los dispositivos de retención de la carga (por ejemplo nudos)			X

20.3.6	Fijación de los dispositivos de retención de la carga inadecuada		X	
	Inferiores a dos tercios de la fuerza requerida			X
20.4.	Equipo adicional (por ejemplo alfombras antideslizantes, protectores de aristas, ríeles)			
20.4.1	Se emplea un equipo inadecuado	X		
	Se emplea un equipo incorrecto o defectuoso		X	
	Se emplea un equipo totalmente inadecuado			X
20.5	Transporte de productos a granel, ligeros y sueltos			
20.5.1	Productos a granel que vuelan al circular el vehículo y que pueden distraer a otros vehículos		X	
	Supone un peligro para los demás vehículos			X
20.5.2	Productos a granel mal sujetos		X	
	Pérdida de la carga que supone un peligro para los demás vehículos			X
20.5.3	Productos ligeros sin cubrir		X	
	Pérdida de la carga que supone un peligro para los demás vehículos			X
20.6	Transporte de trozas			
20.6.1	Pérdida parcial del producto transportado (troncos)			X
20.6.2	Fuerzas de sujeción de la unidad de carga inadecuadas		X	
	Inferiores a dos tercios de la fuerza requerida			X
30	Carga totalmente suelta			X

En las configuraciones euromodulares la carga a transportar deberá ser estibada de forma que se impida un desplazamiento de la misma durante la circulación que comprometa la estabilidad de los conjuntos. Las operaciones de carga y descarga deberán realizarse siempre fuera de la vía.

Figura 12.17. Madera en rollo cargada de forma contrapeada para garantizar la estabilidad de la carga (Foto: J. Pemán).

El pesado de la carga suele hacerse en destino o en ruta, mediante la utilización de las básculas públicas que pudieran existir a lo largo de la misma. En el caso de que se planee su utilización deberá previamente verificarse su calibrado. No obstante, hoy en día, ya hay dispositivos que permitirían realizar el pesaje en el propio monte (Cuchet y Lamiscarre 2005). Según establece

el RGC los excesos de peso o sobrepesos serán sancionados de acuerdo con la magnitud de los mismos (tabla 12.13).

Tabla 12.13. Tipo de sanción de los excesos de peso en vehículos de máxima autorizada o masa máxima de conjunto superior a 20 t según Reglamento General de Circulación.

Sanción	Importe (€)	Exceso sobre un eje (%)	Exceso total (%)
Leve	301 a 400	20 a 25	2,5 a 6
Grave	1 5001 a 2 000	25 a 30	6 a 15
Muy grave	3 301 a 4 600	> 30	> 15

Según establece la L. 15/2009 las operaciones de carga de las mercancías a bordo de los vehículos, así como las de descarga de éstos, serán por cuenta, respectivamente, del cargador y del destinatario, salvo que expresamente se asuman estas operaciones por el transportista. En el transporte por carretera de productos madereros el transportista suele realizar la carga del vehículo.

3.1.4. Cargadero

El cargadero es el lugar habilitado y acondicionando para realizar el desembosque de los productos, su clasificación y su carga en el medio de transporte. Pueden estar ubicados en el monte, normalmente a pie de pista, o en un lugar habilitado para ello que sea accesible a los medios de transporte. Cuando el monte no es accesible a los medios de transporte el cargadero se ubica en las proximidades de la carretera de acceso al mismo.

En la elección de los cargaderos influye quien sea el titular de la superficie, puede o no ser el mismo que el del monte que se aprovecha, y sus características, normalmente la accesibilidad a la carretera y su capacidad para almacenar la carga (figura 12.18). Algunas de las consideraciones que hay que tener en cuenta para los lugares elegidos como posibles cargaderos son (Timber Transport Forum 2012):

- No pueden establecerse sobre las vías de comunicación, debiendo ubicarse a una distancia de seguridad de las mismas. Para su ubicación hay que tener la autorización de la administración gestora de la carretera o del propietario, en el caso de que sea de titularidad privada.

- A ser posible el cargadero debe ser llano, pero si eso no fuera posible, las pilas que se formen deben permitir ser cargadas con el camión ubicado ladera abajo.

- Las pilas no deben superar los 2 m de altura y deben apilarse, preferentemente, en dirección perpendicular al eje de la carretera.

- Debe haber buena visibilidad de los accesos a la carretera, para evitar problemas en la circulación por el continuo movimiento de camiones.

- El cargadero debe organizarse para que no se obstaculicen las operaciones de carga con las de descarga, en el caso de que estas se hagan de forma independiente. Si fuera preciso debe señalizarse la circulación en el mismo.

- La zona donde se formen las pilas no debe encharcarse con facilidad, y deben estar libre de rocas y de vegetación. Hay que tener precaución con que la madera de las pilas no se ensucie, se manche con barro, etc.

- Las trozas de las pilas deben estar limpias de ramas.

- Las pilas de madera deben estar alejadas de las líneas eléctricas para evitar posibles accidentes en las operaciones de carga y descarga.

Figura 12.18. Cargadero ubicado a pie de carretera con acceso y explanada habilitada para la carga (Fotos: J. Pemán).

3.2. *Ferrocarril*

La madera se transporta en un tren desde una estación o terminal de carga a una estación de descarga. Es frecuente auxiliarse del transporte por carretera hasta la terminal de carga, al igual que en la de descarga, aunque algunas industrias cuentan con su propia terminal (figura 12.19).

Una modalidad del transporte combinado entre carretera y ferrocarril es la carretera rodante. Es una tecnología, de origen suizo, para transporte de camiones enteros y de vehículos articulados utilizando vagones con ruedas de diámetro reducido (transporte combinado carretera/ferrocarril acompañado). El embarque de los camiones es longitudinal, por un extremo del tren. Esta técnica permite acoger la mayoría de los remolques en explotación sin modificación ni levantamiento del remolque y es utilizada en el túnel bajo el Canal de la Mancha y en los Alpes centrales y orientales en Suiza, Italia, Alemania Austria y Eslovenia (Ministerio Fomento 2005).

Desde 2003 en España el transporte de mercancías por ferrocarril está liberalizado por lo que se pueden encontrar diferentes operadoras, entre las que cabe destacar: Grupo Renfe, Transfesa, Hispanauto Empresas Agrupadas AEIE, Tramesa, Comsa Rail Transport (Grupo Comsa),

Continental Rail (Grupo ACS), Constru-Rail (Renfe y Continental Rail), Logística y Transporte Ferroviario LTF (Grupo ACS) o Pecovasa. En la actualidad, Renfe opera aproximadamente el 72% del transporte de mercancías, al poseer el 90% de las locomotoras y el 90% de los vagones. La empresa pública Adif es la encargada de la gestión de las infraestructuras ferroviarias.

Figura 12.19. Terminal de descarga en Torraspapel (Zaragoza) (izquierda) y tren cargado de trozas (derecha). (Fuente: https://previews.123rf.com/images/raecher/raecher1503/raecher150300110/38740894-Transporte-de-madera-por-ferrocarril-Foto-de-archivo.jpg).

3.2.1. *Trenes y vagones*

Según establece el RD. 664/2015 las características de los trenes de mercancías varían en función del ancho de vía, régimen de frenado y el tipo de composición (tabla 12.15).

Tabla 12.15. Características de los trenes de mercancías según el ancho de vía, el régimen de frenado y el tipo de composición según establece el RD. 664/2015. ([1]: En España coexisten tres anchos de vía: El métrico (1 000 mm) son las vías estrechas existentes en el norte; el ibérico (1 668 mm) mayoritario en la red que no es de alta velocidad y el de alta velocidad que es el estándar en Europa (1 435 mm); [2]: Régimen de frenado; G: es el propio de los trenes largos de mercancías, el tren tarda más tiempo en frenar y lo hace uniformemente; P: para trenes cortos, el frenado suele ser muy rápido).

Ancho de vía (mm)[1]	Régimen de frenado	Tipo de composición	Masa remolcada (t)	Longitud total (m)	Velocidad (km h^{-1})
1 668 y 1 435	P	Composición general	< 1 200	<750	<120
		Composición específica solo por vagones de *bogies*	< 1 500	<750	<120
		Composición específica solo por vagones homogéneos de *bogies* cargados	< 2 200	<350	<120
	G	Composición general		< 750	< 100
1 000	P	Composición general	< 1 500	< 400	< 50
			< 1 200	< 330	< 70
	G	Composición general		< 550	< 30

En la operadora Renfe se ofertan como vagones que pueden transportar una mercancía como la madera el tipo X7 de la serie Ekklos, el tipo X8 de la serie Elos, el tipo XX de la serie Ealos y el tipo MMS de la serie Roos (tabla 12.16, figura 12.20).

Tabla 12.16. Características de los diferentes vagones para transporte de madera de la operadora Renfe (Fuente: https://www.renfe.com/empresa/alquilerdematerial/MaterialMercancias/Vagones/docs/CatalogoVagones2015.pdf).

Serie	Ekklos	Elos	Ealos	Roos
Tipo	X7	X8	XX	MM5
Carga máxima (t)	28,2	26,7	57,5	52
Velocidad máxima (km h^{-1})	100	100	100	100
Características	Abierto	Abierto	Abierto	Plataforma
Largo (m)	8,75	8,76	12,8	18,2
Ancho (m)	2,94	2,7	2,76	2,26
Alto (m)	2	2	2	2
Volumen útil (m^3)	51	48	70	82
Tipo de producto	Trozas, astilla			Madera en rollo

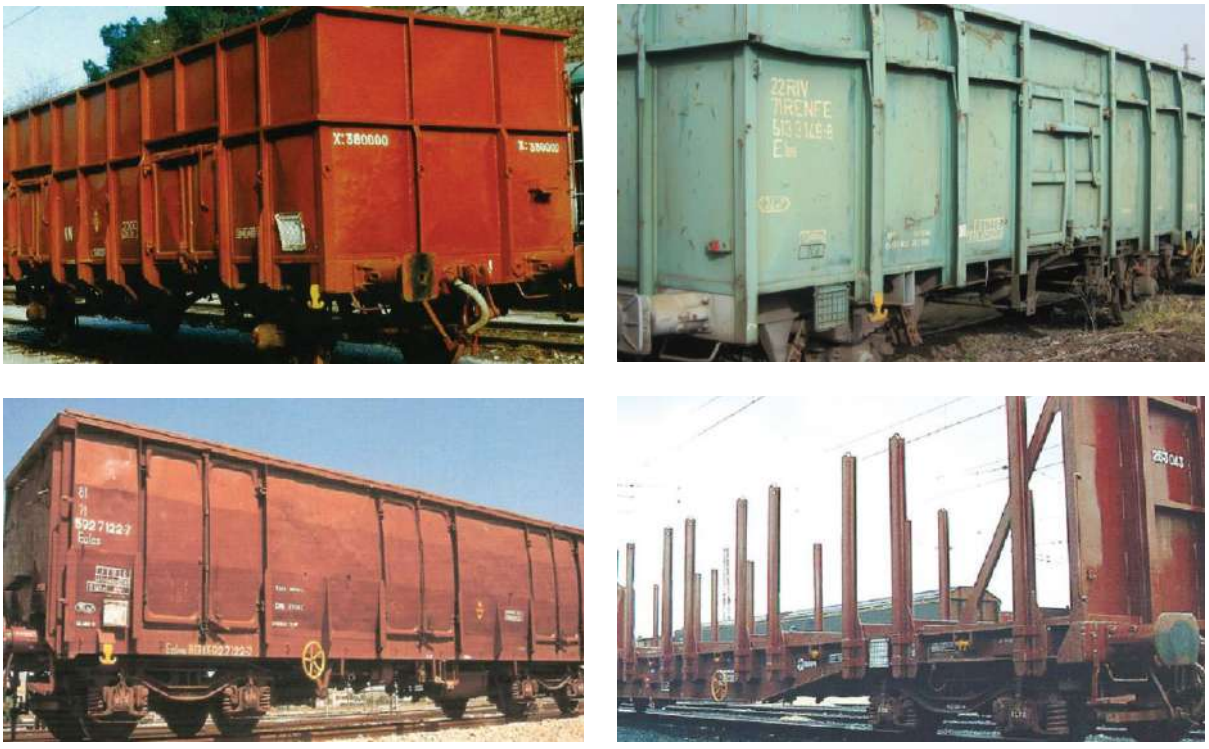


Figura 12.20. Tipos de vagones para transporte de madera: X7 (superior izquierda), X8 (superior derecha), XX (inferior izquierda), MM5 (inferior derecha) (Fuente: Renfe).

3.2.2. Red de ferrocarril

La red de ferrocarril de interés general es gestionada por Adif y ofrece una serie de terminales logísticas para el transporte de mercancías. La longitud total de esta red es de 12 180 km y dispone de 39 terminales principales de mercancías. La empresa gestora elabora la Declaración sobre la Red, que es un documento que expone las características de la infraestructura puesta a disposición de las Empresas Ferroviarias y contiene información sobre las condiciones de acceso a la misma. En ella se detallan las normas generales, plazos, procedimientos y criterios relativos a los sistemas de cánones y adjudicación de capacidad (Adif 2017).

Rail freight transport

Le Net E, Bajric F, Vötter D, et al. (2011) Identification of existing transport methods and alternative methods or new approaches with data about costs, labour input and energy consumption EFI**. Joensuu**

German experience is interesting concerning the development of this mode for wood. Organization conditions have been developed for making this mode interesting: regularity, massive and long flows and/or frequency combining raw material and semi-final products. On the contrary, in the current situation, the French case is the “bad” example.

France

The strategy of the State owned Railway company is not favourable to wood transportation (during the last 2 years, dramatic reduction of the number of wood railway stations from 200 to 40 and a 30% increase of the fees in average – more is planned; poor quality services and delays). The monopolistic situation of this historic railways operator is such that the wood market is declining sharply for this transportation mode

Currently in France, there are eight operators that could providing till now or in the near future rail freight services: Europorte2 (Eurotunel), Veolia Cargo France (Velio Transport), VFLI (SNCF), Euro Cargo Rail (EWSI from UK), CFL (Luxembourg enterprises and Arcelor), SNCB (Belgium) and Rail4Chem (BASF and other German chemistry enterprises). The Fret SNCF competitors represent less than 10% of railways freight in France, but could increase their market shares due to lower tariffs (up to 30%). Two operators are interested in wood as raw materials (for export in particular), but wood flows are difficult to develop due inner structural organization (frequency).

The trend in their activities is to focus on the local actors, able to ensure large quantities of freight and on regular basis.

Germany

Nieten Fracht Logistics, a 100% subsidiary of the Deutsche Bahn, is one of the biggest railway transport companies. They are specialized in the transport of wood (timber, trimmed timber and

wood fiberboards) in single wagons or whole trains. Since a certain time now they have also specialized themselves in transporting firewood, wood pellets and wood chips.

Nieten Fracht says that the business with the fuels out of the wood is not yet well organized in equipments and logistic. They say that until now they have had only big orders because the flexibility for smaller orders is not possible at the moment because they would not be profitable. The most efficient and the largest products offered by the railway companies are the “Woodliner“ and the “Nordhafenzug“:

The Woodliner consists of block trains rather than wagonload transports. The cooperation of Rail Cargo Austria and the Stinnes AG (former DB-Cargo) brings along a very efficient possibility of wood transport. The aim is to transport German logs to sawmills in Austria, here the wood is produced into trimmed timbers and other forms of wood products. There are 30 loading stations in Germany to load timber, which should be transported to Austria. At the beginning of the program in 2003 (June 2003) the Woodliner transported 140.000 tons, in 2004 840.000 tons, in 2005 nearly 900000 tons and in the first half of the year 2006 the transport volume was already at 770.000 tons of timber which should go up to the intended 1.2 Mio tons of timber for the year 2006.

Starting from Freilassing in Germany the Nordhafenzug transports the final products from sawmills from Austria and Germany all the way through Germany to the seaports in the north of the country from where the products will be shipped to the whole world. In Freilassing all the different wagons from the whole Austria are assembled to one big train. The train only needs one whole day from the Alps to the seacoast.

4. Marítimo

Modo de transporte por el que la mercancía se transporta en un buque o navío desde un puerto de embarque a un puerto de destino mediante el abono de un precio, el flete. En el transporte marítimo se debe distinguir: 1) Los actores que participan, 2) Los barcos, 3) Los puertos y 4) La carga.

4.1. Los actores

En el transporte marítimo intervienen diferentes actores o agentes con diferentes responsabilidades:

- Armador. Propietario real de un buque, registrado a su nombre, que lo acondiciona para su navegación. Puede explotar el buque utilizándolo en diversos servicios o alquilarlo bajo contrato de diversos tipos: por tiempo determinado, por viaje, etc.

- Fletador. Persona física o jurídica que alquila un buque para su explotación en la manera que estime conveniente. El fletador y el propietario real del buque establecen los oportunos contratos que convierten al fletador en el transportista efectivo ante los cargadores.

- Agente marítimo o consignatario. Representante del armador o del fletador del buque en el puerto. Realiza todas las gestiones necesarias para el despacho documental frente a las autoridades locales, por ejemplo, da atención a la tripulación y al buque así como los suministros que precise, etc. El consignatario, por cuenta del armador, negocia, gestiona, liquida los fletes y gastos ocasionados por las mercancías y firma los conocimientos de embarque de las mercancías de exportación y recibe los conocimientos canjeables por las mercancías descargadas de importación.

- Estibador. Empresa o persona que efectúa las operaciones de manipulación de las mercancías en tierra, como la carga y descarga de los buques. Habitualmente es contratada por los agentes del armador/fletador.

4.2. Los barcos

Los barcos utilizados para el transporte de madera pueden ser: 1) Cargueros de transporte de carga sólida en general, 2) Graneleros.

Los cargueros de transporte de carga sólida en general, transportan mercancías diversas, carga general, a granel. Normalmente llevan grúas en el centro para su propia carga y descarga (figura 12.21).

Figura 12.21. Transporte de madera en rollo (Fuente: http://transportemaritimodemadera.blogspot.com.es).

- *Handysize*. Con capacidad de 10 000 a 35 000 t

- *Handymax*. Con capacidad de 35 000 a 50 000 t

- *Panamax*. Con capacidad de 50 000 a 80 000 t

- *Capesize*. Con capacidad de más de 80 000 t

Para transporte de astilla en rutas por el Mediterráneo normalmente se utilizan graneleros más pequeños, con una capacidad de 4 000 t (figura 12.22). Para distancias más largas se utilizan de 8 000 t.

Figura 12.22. Barco granelero de 4 000 t para el transporte de astilla en el puerto de Palamós (Girona) (Foto: J. Pemán).

Debido a que la madera o la astilla son consideradas materias sólidas inflamables (código 4.1 del reglamento IMDG, BOE 29.9.2015), los buques deben cumplir con las estipulaciones establecidas por la OMI.

4.3. Los puertos

Los puertos constituyen las terminales de carga y descarga para este modo de transporte (figura 12.23). La red de puertos de interés general en España, que gestiona la Administración del Estado, la constituyen 46 puertos, según establece la norma actual (RDL.2/2011, de 5 de septiembre, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Puertos del Estado y de la Marina Mercante):

- País Vasco. Pasaia y Bilbao.
- Cantabria. Santander.
- Asturias. Gijón-Musel y Avilés.
- Galicia. San Cibrao, Ferrol y su ría, A Coruña, Vilagarcía de Arousa y su ría, Marín y ría de Pontevedra y Vigo y su ría.
- Andalucía. Huelva, Sevilla y su ría, Cádiz y su bahía, Tarifa, Bahía de Algeciras, Málaga, Motril, Almería y Carboneras.
- Ceuta y Melilla.

- Murcia. Cartagena.
- Comunidad Valenciana. Alicante, Gandía, Valencia, Sagunto y Castellón.
- Cataluña. Barcelona y Tarragona.
- Illes Balears. Palma, Alcúdia, Maó, Eivissa y la Savina.
- Canarias. Arrecife, Puerto Rosario, Las Palmas (que incluye el de Salinetas y el de Arinaga), Santa Cruz de Tenerife (que incluye el de Granadilla), Los Cristianos, Guía de Isora, San Sebastián de la Gomera, Santa Cruz de la Palma y la Estaca.

Red Puertos del Estado es el organismo gestor de la red. El transporte de mercancías en 2016 alcanzó la cifra record de 508 millones de toneladas. Algeciras y Valencia son los primeros puertos por volumen de mercancías. Además de la red de Puertos del Estado las CC.AA. pueden tener su propia red portuaria.

En el caso del transporte de astilla o biomasa forestal deben valorarse las características de las instalaciones portuarias para el transporte de esta mercancía, como es el caso de disponibilidad en las terminales de almacenes techados y abiertos, ausencia de riesgo de mezcla con cuerpos extraños, etc. (tabla 12.17).

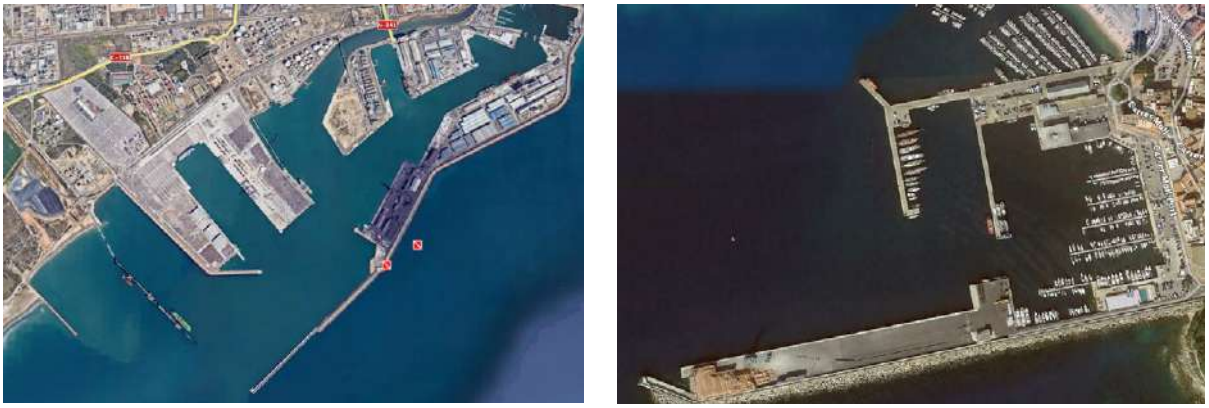


Figura 12.23. Vista aérea del puerto de Tarragona perteneciente a la red de Puertos del Estado (izquierda) y del de Palamós perteneciente a la red de puertos de la Generalitat de Catalunya. Obsérvese la presencia de astilla en su muelle (derecha) (Fuente: GoogleEarth).

Tabla 12.17. Características de los muelles de carga de los puertos de Tarragona y Palamós (Fuente: https://www.porttarragona.cat/es/, http://ports.gencat.cat/es/puerto-de-palamos/).

Características técnicas	Palamós	Tarragona
Calado muelle carga (m)	14	>12
Muelles de carga	1	32
Longitud muelles de carga (m)	386	11 283 (2 421 para graneles sólidos)

Características técnicas	Palamós	Tarragona
Anchura muelles de carga (m)	30	11 a 52
Grúas muelle	2	12
Grúas automóviles		14
Capacidad de carga grúas móviles (t)	65	6 a 71
Cintas transportadas carga a granel	Si	
Número de cucharas		34
Capacidad carga cucharas (m^3)	12 a 25	8,3 a 45
Número de palas cargadoras		35
Superficie útil muelle (m^2)	14 385	3 080 000
Almacén general (m^2)		
Almacenes descubiertos (m^2)	7 500	2 106 879
Almacenes cubiertos (m^2)	21 600	
Almacenes cerrados (m^2)		378 493

4.4. La carga

El tipo de carga puede ser madera en rollo o astilla. En el caso de la madera en rollo esta se puede trasladar en bodega y sobre la cubierta. En el caso de que se traslade en cubierta debe instalarse teleros o posteleros cuya altura sea superior a la pila de madera formada. Cada una de las pilas de madera en rollo deben trincarse o ligarse para garantizar la estabilidad de la carga. Cuanto mayor sea la altura de la carga la distancia entre las trincas se reducirá.

La carga de la astilla en la bodega del barco se suele realizar mediante el empleo de cintas transportadoras que la descargan directamente en la bodega (figura 12.24). Una máquina cargadora, transportada expresamente a la bodega, realiza la función de redistribución de la carga en la misma. También se puede utilizar para la carga las cucharas de 12 a 25 m^3 de capacidad que suelen disponer las grúas móviles ubicadas en los muelles de carga.

Figura 12.24. Carga de la bodega mediante cinta transportadora y redistribución de la astilla con máquina (izquierda) y cucharas de carga en grúa móvil en el muelle de carga (derecha) (Fotos: J. Pemán).

El cálculo de la carga del barco, sobre todo en los buques graneleros, se realiza mediante la inspección del calado (*draught survey*), es decir, mediante la inspección de la profundidad de la parte sumergida del barco antes y después de la carga. Esta inspección puede realizarse a partir de la lectura del calado en las marcas fijas de calado que el buque tiene en su casco (figura 12.25). Estas marcas normalmente son seis, distribuidas en partes iguales a babor y a estribor. Una en la proa, otra en el centro del buque y otra en la popa. La otra forma de realizar la inspección del calado es a partir de la lectura en un puntos fijos de referencia. Las marcas del calado pueden estar expresadas en las unidades del sistema métrico decimal o en el sistema anglosajón de unidades. En este último caso pueden estar expresadas en números romanos o arábigos. La precisión en la medición del calado es trascendental puesto que un error de un centímetro puede ser una diferencia de peso de 15 t. En el acto de la inspección del calado están presentes todas las partes interesadas: compañía transportadora, el comprador de la carga, el vendedor, etc.

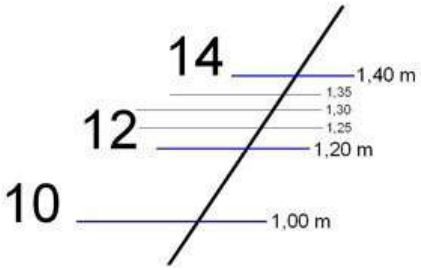


Figura 12.25. Esquema de las marcas fijas de calado expresadas en el sistema métrico decimal.

En el proceso de carga de la astilla debe tenerse en cuenta que normalmente se produce una pérdida de parte de la carga que puede alcanzar hasta un 6% del total entrado en puerto, correspondiéndose con los componentes más finos. Esto puede deberse a la pérdida de humedad de la astilla durante su almacenamiento hasta que es cargada, la pérdida del material durante la fase de carga o por posibles errores durante el proceso de inspección del calado.

La característica de la astilla como sólido inflamable por su propia naturaleza, hace que se deben respetar unas precauciones en el manejo y manipulación de dichas cargas (Real Decreto 145/1989, de 20 de enero, por el que se aprueba el Reglamento Nacional de Admisión, Manipulación y Almacenamiento de Mercancías Peligrosas en los Puertos).

Carga de astilla en barco granelero

Logística portuaria de la biomasa

Pablo Rodero/AVEBIOM (consultado 27.11.2015).

Los puertos marítimos son los grandes movilizadores de productos sólidos a granel en el mundo. Para gestionar este trasiego de millones de toneladas de material, entre ellos, la biomasa, las Autoridades Portuarias deben coordinar los diferentes servicios y actividades que tienen lugar durante la llegada del buque, su carga o descarga, y su partida, garantizando la máxima seguridad, eficacia, eficiencia, satisfacción de los clientes y sostenibilidad [...].

Cómo atraer el trasiego de biomasa a un puerto

Que las terminales cuenten con instalaciones específicas, como aspiradores de polvo en la descarga desde el barco, una buena capacidad de silos de almacenamiento dotados de sensores de temperatura y sistemas antincendios, o cintas transportadoras basculantes que varían el ángulo de elevación y por tanto la altura desde la que cae el pellet, es muy apreciada por los comercializadores de biomasa, asegura Marco Montalto, de Axpo Iberia. Si bien no son infraestructuras exclusivas para el pellet, contribuyen a una mejor manipulación del producto y a reducir mermas por polvo, que en el caso del pellet industrial pueden llegar a un 10-12%.

Para cualquier compañía logística de biomasa del mundo, lo ideal es que el material esté el menor tiempo posible "parado". Montalto no desea que su biomasa permanezca más de una o dos semanas en el puerto; lo mismo opina Boris Sviderski, director comercial de la terminal RBT en el Puerto de Rotterdam. Para su empresa estibadora, lo más rentable es que el flujo de productos sea continuo, sin grandes periodos de almacenamiento. El comercializador de biomasa quiere llegar a una terminal que ofrezca infraestructura de almacenamiento adecuada a la biomasa que transporta; suelos limpios, sin piedras u otros elementos que puedan contaminar su material. También es determinante la plancha, o tonelaje de carga o descarga que garantizan el agente o el estibador por día de trabajo, y si el estibador trabaja el fin de semana o no. Y por supuesto, que el puerto asegure siempre un buen calado que permita acceder a los barcos de mayor capacidad independientemente de las mareas. El puerto de Rotterdam permanece operativo las 24 h los siete días de la semana, lo que confiere una gran flexibilidad de horarios de trabajo a las terminales.

Coordinar global

La Autoridad Portuaria (AP) coordina los diferentes servicios y actividades que tienen lugar en el puerto, ayudando a reducir costes a sus usuarios; si quiere lograr buena reputación debe garantizar un flujo de mercancías continuo y el buen funcionamiento de las instalaciones; por ejemplo, mantener el calado mínimo de entrada a las terminales, proporcionar diversidad de operadores logísticos y de conexiones hacia el interior; y de gestionar ágilmente el tráfico por el interior del puerto. En los grandes puertos, las prestaciones son incontables: desde los imprescindibles agentes de aduanas y estibadores, a servicios de recambios de partes, recarga de combustible, catering para la tripulación, pintado de la embarcación... y un largo etcétera.

El estibador

La misión de la terminal o compañía estibadora es recibir, descargar y almacenar mercancías, o, en su caso, cargar y repartir adecuadamente el peso en el interior de la bodega de la nave. Trabaja en estrecho contacto con los propietarios de la carga y con los agentes consignatarios de los barcos y sus cargas, a los que ofrece estos servicios. El terreno sobre el que se asienta la terminal pertenece a la AP, con quien la empresa estibadora firma un contrato de arrendamiento. Las instalaciones, incluidos edificios de oficinas, espacios de almacenamiento y muelle son propiedad de la empresa, y es ella la que se encarga de su mantenimiento, incluso dragado si llega el caso. En las instalaciones de RBT, Sviderski asegura que pueden descargar cada día entre 10 000 t, si es en almacén, y 18 000 t, si es directa a la barcaza con destino a cliente final. Mediante grúas flotantes es posible

realizar transbordo directo de material de barco a barcaza sin necesidad de pasar por una terminal. Gracias a su fondo plano, las barcazas se emplean para el transporte fluvial de los productos tierra adentro. Algunas compañías están convirtiéndose también en agencias y/o extendiendo la variedad de servicios ofrecidos, aunque Sviderski cree que mantener una elevada especialización y profesionalidad le otorga a su empresa una gran ventaja competitiva.

Particularidades del pellet

La diferencia sustancial entre el pellet y otras mercancías a granel de similar densidad y naturaleza, como el grano, es la necesidad de controlar la temperatura en el caso del pellet, lo que en la práctica obliga a que se almacene bajo techo, encareciendo la operación total. La temperatura del pellet almacenado ha de controlarse de forma muy estricta para evitar riesgo de incendio; la descarga debe realizarse antes de alcanzar los 50 °C ó 40 °C si se realiza bajo el esquema ENplus. También se comprueba si existe contaminación por CO o por cuerpos extraños. Los finos generados en las instalaciones de la terminal durante los procesos de manipulación del pellet se venden a terceros o son entregados a un gestor de residuos autorizado previo pago. En algunos puertos donde se descargan grandes barcos se han instalado pequeñas peletizadoras para reprocesar estos restos...

Cargar un barco

El primer paso es encontrar el barco adecuado; para ello el comercializador cuenta con los servicios de un broker, que contacta con el armador o propietario del barco y acuerda unas condiciones de transporte. El comercializador suele pesar los camiones de biomasa que llegan al puerto para asegurarse que tiene material suficiente para cargar el barco y cumplir el contrato, pues en caso contrario incurrirá en "falso flete" y deberá pagar una penalización. En algunos casos, el comercializador ha comprado biomasa fuera de temporada y necesita almacenarla hasta el flete. Este acopio se puede hacer bien en las instalaciones del productor, en el puerto o en almacenes propios, si se cuenta con ellos. Si es necesario acopiar durante un tiempo en el puerto antes de cargar, lo ideal sería volver a pesar el material y comprobar que no ha habido mermas, pero esto supone un coste extra y a menudo no se ejecuta.

En cualquier caso, una compañía de control acreditada se encarga de realizar el calado final de la embarcación para calcular el peso real de lo que en ella se transporta. Antes de cargar un barco habitualmente se realiza una inspección *clean on board* para verificar que las bodegas están limpias para que la carga no se contamine. Luego hay que elegir la cuchara adecuada para evitar mermas y/o demoras en la operación. Con la ayuda de una pala cargadora se distribuye la carga de biomasa correctamente en el interior de la bodega del barco. Para reducir las mermas por finos en la carga del pellet es fundamental que éste tenga una alta durabilidad; las mermas por caídas durante la carga se minimizan eligiendo las grúas y elementos de carga adecuados a la mercancía. Si por causas no establecidas en el contrato, el estibador se demora en la carga o descarga y no cumple con la plancha, el armador factura un recargo en el flete, pues él se verá obligado también a pagar más por permanecer en el puerto, además de perder la oportunidad de realizar otra carga. Entre los documentos que acompañan a la operación figura el *Statement of Facts* u hoja de hechos, que recoge información detallada sobre tiempos de llegada, atraque, circunstan-

cias climatológicas, comienzo de las operaciones, discrepancias, etc., y es firmado por el capitán, su agente y el estibador.

Los incoterms definen con claridad, en un sistema adoptado internacionalmente, de quién es la propiedad y responsabilidad de la mercancía en cada momento de la compra venta y las operaciones intermedias de logística...

Los biocombustibles son considerados "mercancía peligrosa, clase 4"; por ello, los barcos para su transporte han de estar en posesión de la clasificación IMO. Algunas legislaciones nacionales también regulan aspectos de seguridad, como la italiana, que indica expresamente que el motor debe estar a una distancia mínima de la bodega de carga.

Los costes logísticos (transporte a puerto, carga, alquiler del barco, descarga, trasiego hasta el cliente, etc.) de la biomasa pueden suponer hasta un 50% de su precio final, por eso es fundamental un control estricto de las operaciones de manipulación: reducir las mermas de volumen, debidas al viento o a una elección incorrecta de la cuchara; o de poder calorífico porque se realizó la operación mientras llovía -el cliente habitualmente penaliza el menor PCI del producto en la recepción-. Por otro lado, concertar el precio de la operación en euros o dólares, o incluso en moneda local, añade costes extra según el tipo de cambio. Una cuestión nada desdeñable son las emisiones de CO_2 que genera la movilización de la biomasa, puesto que repercute en las subvenciones que reciben las centrales eléctricas. En principio, utilizar mayores embarcaciones reduce la huella de carbono del transporte.

5. Costes

Para el cálculo real de los costes directos de transporte hay que tener en cuenta una serie de conceptos que dependen del modo de transporte (tabla 12.18).

Tabla 12.18. Conceptos a tener en cuenta en el cálculo de los costes de transporte de mercancías según el modo.

Modo de transporte	Conceptos	Referencia
Carretera	i) Costes de amortización, ii) Costes financieros, iii) Costes personal de conducción, iv) Seguros, v) Costes fiscales, vi) Dietas, vii) Combustible, viii) Neumáticos, ix) Mantenimiento, x) Reparaciones	(Ministerio Fomento 2016)
Ferrocarril	i) Costes de consumo de energía, ii) Costes de personal de conducción, iii) Costes de mantenimiento de vagones y locomotoras, iv) Coste de amortización de locomotoras y vagones, v) Coste de financiación de locomotoras y vagones, vi) Cánones de circulación y vii) Servicios terminales	(Rallo 2008)
Marítimo	i) Costes de capital, ii) Costes de reparaciones, seguros, mantenimiento, iii) Costes de tripulación, iv) Costes de tasas y tarifas portuarias, v) Coste operativa portuaria y vi) Coste de combustible	(Álvarez 2012)

En teoría, el transporte por carretera es considerado como el más económico para distancias cortas siendo el más caro para las distancias más largas (Le Net et al. 2011). Determinar la distancia a partir de la cual es más eficiente un modo u otro precisará de un análisis de los costes unitarios. Habrá que tener en cuenta que la elección de transporte ferroviario o marítimo normalmente exigirá de una combinación con el transporte por carretera para llegar la carga desde el monte a la terminal de carga o desde la terminal de descarga a la industria.

5.1. Coste del transporte de mercancías por carretera

Según el observatorio de costes para el transporte de mercancías por carretera para el cálculo de los costes directos anuales hay que tener en cuenta los siguientes conceptos (Ministerio Fomento 2016): 1) Costes de amortización, 2) Costes financieros, 3) Costes personal de conducción, 4) Seguros, 5) Costes fiscales, 6) Dietas, 7) Combustible, 8) Neumáticos, 9) Mantenimiento, 10) Reparaciones.

1. Costes de amortización. Es la suma de los costes anuales de amortización de los diferentes elementos (vehículo de tracción, carrozado del vehículo de tracción, semirremolque, remolque y equipos auxiliares). Se determina mediante la expresión:

$$A = \frac{C-R-N}{v}$$

   Siendo: A (€): Coste anual de amortización del elemento; C (€): Valor de adquisición, R (€): Valor residual, N (€): Valor de los neumáticos del elemento, v (años): Vida útil del elemento. Todos los valores sin IVA.

2. Costes de financiación. Es la suma de los costes anuales de financiación de los diferentes elementos que se hayan comprado (vehículo de tracción, carrozado del vehículo de tracción, semirremolque, remolque y equipos auxiliares). Se determina mediante la expresión:

$$F = \frac{\frac{(n\ P\ i\ j)}{j-1} - P}{v}$$

   Siendo: F (€): Coste anual de la financiación del elemento; P (€): Préstamo para la compra del elemento; i: Interés en tanto por uno; n (años): Periodo de financiación; $j= (1+i)^n$.

3. Personal de conducción. Es el coste anual para la empresa de los chóferes. No se incluyen las dietas.

4. Seguros del vehículo. Coste anual de los seguros del vehículo.

5. Costes fiscales.

6. Dietas del chófer.

7. Combustible. Suma de los costes anuales. Se determina mediante la expresión:

$$C = C_v + C_e$$

$$C_v = \frac{pv\ cv\ k}{100}$$

$$C_e = pe\ ce\ h$$

siendo: C (€): Coste anual de combustible; C_v (€): Coste anual de combustible del vehículo de tracción; C_e (€): Coste anual de combustible de los equipos; pv (€ l^{-1}): Precio de adquisición sin IVA del combustible del vehículo de tracción; cv (l 100 km^{-1}): Consumo medio de combustible del vehículo de tracción; k (km): Kilómetros recorridos anualmente por el vehículo de tracción; pe (€ l^{-1}): Precio de adquisición sin IVA del combustible de los equipos; ce (l h^{-1}): Consumo medio de combustible de los equipos; h (h): Horas anuales de funcionamiento de los equipos.

8. Neumáticos. Es la suma de los costes anuales de los diferentes tipos de neumáticos. Se determina mediante la expresión:

$$N = \frac{p\ n\ k}{d}$$

9. Siendo: N (€): Coste anual de un tipo de neumáticos, p (€): Precio sin IVA de sustitución de un neumático de este tipo, n: número de neumáticos de este tipo, k (km): Kilómetros anualmente recorridos por el vehículo, d (km): Duración media de este tipo de neumáticos.

10. Mantenimiento. Es el coste anual de mantenimiento del vehículo y de los equipos. Se determina mediante la expresión:

$$M = m\ k$$

Siendo: M (€): Coste anual de mantenimiento, m (€ km^{-1}): Coste kilométrico sin IVA del mantenimiento del vehículo y de los equipos, k (km): Kilómetros recorridos anualmente por el vehículo.

11. Reparaciones. Es el coste anual de las reparaciones del vehículo y de los equipos. Se determina mediante la expresión:

$$R = r\ k$$

Siendo: R (€): Coste anual de reparaciones, r (€ km^{-1}): Coste kilométrico sin IVA de las reparaciones del vehículo y de los equipos, k (km): Kilómetros recorridos anualmente por el vehículo.

A partir de estos conceptos, se calculan los costes unitarios de transporte por carretera (tabla 12.19).

Tabla 12.19. Costes directos anuales de diferentes tipos de vehículo según los conceptos que conforman el coste (Ministerio Fomento 2016).

Tipo de vehículo	Costes directos (€ km^{-1} recorrido)	Costes directos (€ km^{-1} cargado)
Vehículo articulado, 420 CV, MMA 40 t, carga útil 25 t. Kilómetros anuales 120 000. En carga 85%	0,986	1,160
Vehículo 3 ejes 325 CV, MMA 26 t, carga útil 16 t. Kilómetros anuales 95 000. En carga 85%	0,930	1,095
Vehículo 2 ejes, 250 CV, MMA 18 t, carga útil 9,5 t. Kilómetros anuales 90 000. En carga 85%	0,846	0,995
Tren de carretera, 385 CV, MMA 40 t, carga útil 23,5 t. Kilómetros anuales 120 000. En carga 85%	0,949	1,116

En un análisis realizado por Le Net *et al.* (2011) sobre el coste de transporte de madera en varios países de la UE, con diferentes configuraciones de vehículos, obtuvieron valores que oscilaron entre 0,39 y 0,74 € km^{-1} (tabla 12.20).

Tabla 12.20. Costes de transporte de madera en varios países de la UE con diferentes configuraciones de vehículos (Le Net et al. 2011).

País	Configuración	€ km^{-1}	€ h^{-1}	€ $día^{-1}$
Francia	Tractora + semitrailer 5 ejes sin grúa. Madera en rollo	0,46	21,54	183,46
	Tractora + semitrailer 5 ejes con grúa. Madera en rollo	0,49	21,54	202,26
	Tractora + semitrailer 6 ejes con grúa. Madera en rollo	0,53	21,54	215,19
	Tren de carretera con 5 ejes con grúa. Madera en rollo	0,62	21,54	156,61
	Tren de carretera con 6 ejes con grúa. Madera en rollo	0,65	21,54	182,14
Alemania	Tractora + semitrailer 5 ejes con grúa. Madera en rollo	0,51	18,24	149,04

Ejercicio

Para los datos del vehículo articulado que se refieren a continuación interesa calcular los costes unitarios por kilómetro recorrido y cargado a partir de los conceptos anteriormente descritos.

Potencia (CV)	420	
Masa Máxima Autorizada (kg)	40 000	
Carga útil (kg)	25 000	
Número de ejes	6	
Número de neumáticos	12	6 tractores
		6 semiremolque

Recorrido anual (km)	120 000		
Recorrido en carga (%)	85		
Recorrido anual en vacío (%)	15		
Consumo medio (L km^{-1})	38,6		
Precio venta cabeza tractora sobre tarifa (€)	99 998,44	Descuento sobre tarifa (%)	10
Precio venta semiremolque sobre tarifa (€)	33 723,32	Descuento sobre tarifa (%)	0
Vida útil cabeza tractora (años)	6		
Vida útil semiremolque (años)	8		
Valor residual de la cabeza tractora sobre precio de venta (%)	20		
Valor residual semiremolque sobre precio de venta (%)	15		
Capital a financiar sobre precio de adquisición (%)	70		
Periodo de financiación (años)	5		
Interés financiación (EURIBOR un año + diferencial) (%)	2,042	EURIBOR un año (%)	0,042
		diferencial (%)	2
Coste anual del conductor (incluida Seguridad Social) (€)	31 411,48		
Coste anual de Seguros (responsabilidad civil cabeza tractora, etc.) (€)	7 301,84	Responsabilidad civil cabeza tractora(€)	2 411,14
		Accidente del conductor (€)	102,4
		Retirada carné (€)	110,94
		Responsabilidad civil semiremolque (€)	687,86
		Seguro mercancías (€)	571,76
		Responsabilidad civil mercancía (€)	324,28
		Daños propios (todo riesgo) (€)	3 093,47
Coste fiscal anual (ITV, IAE; IVTM, revisión tacógrafo) (€)	1 002,96	Visados (€)	31,23
		ITV (€)	89,23
		IAE (€)	427,41
		IVTM (€)	414,92
		Revisión tacógrafo (€)	40,16
Dietas y plus de actividad anual (€)	15 456	Dieta media (€)	43,68
		Número de días	200
		Plus de actividad (€ km^{-1})	0,056
Precio del gasóleo en surtidor (con IVA) (€ L^{-1})	0,934	Descuento (€ L^{-1})	0,03
Precio medio neumático (sin IVA) (€ unidad $^{-1}$)	692,83		
Duración media neumáticos (km)	135 000		
Coste mantenimiento (sin IVA) (€ km^{-1})	0,0191		
Coste reparaciones (sin IVA) (€ km^{-1})	0,0339		

Solución: 0,986 € km^{-1} recorrido y 1,160 € km^{-1} cargado.

5.2. Coste del transporte de mercancías por ferrocarril

El análisis de los costes de transporte de mercancías por ferrocarril ha sido realizado por Rallo (2008) a partir de la consideración de los siguientes costes directos: 1) Costes de consumo de energía, 2) Costes de personal de conducción, 3) Costes de mantenimiento de vagones y locomotoras, 4) Coste de amortización de locomotoras y vagones, 5) Coste de financiación de locomotoras y vagones, 6) Costes de circulación y 7) Servicios terminales.

1. Costes de consumo de energía. Deben diferenciarse los costes entre locomotoras diésel o eléctricas, cuyos costes energéticos son muy diferentes. Rallo (2008) indica, como cifra orientativa, que una locomotora de alrededor de 3 000 kW de potencia, circulando a plena carga por un trayecto en rampa de 15 milésimas, llega a consumir hasta 10 l km^{-1} de gasóleo. En cambio, con esa misma carga en sentido descendente, no llega a consumir ni siquiera un litro por kilómetro. Entre estos consumos extremos, las publicaciones especializadas y los propios constructores suelen dar una cifra de consumo medio de 4,5 l km^{-1} para una locomotora de 2 500 kW remolcando trenes de hasta 800 t por líneas ferroviarias de perfiles medios. En el caso de locomotoras eléctricas el coste a pagar al gestor por el consumo de la energía obtenida a través de la catenaria se obtiene por las toneladas kilómetro brutas (tkbr) remolcadas por cada tren. En España se aplica la proporción de 1,86 € cada 1 000 tkbr, lo que significa que el tren medio de 800 t, antes citado en la descripción de la tracción diésel, tendría un coste kilométrico de: 1,86 x 0,8 = 1,48 €.

2. Coste del personal de conducción o maquinista. En el coste anual del maquinista se incluyen, además de la retribución del trabajador y sus costes de seguros sociales, diversos gastos asociados como pueden ser los de dietas, hospedajes fuera de la residencia, compensaciones por trabajos imprevistos a efectuar en días de descanso o de vacaciones, formación para reciclajes, los reconocimientos médicos obligatorios. La producción media de un maquinista en tráfico de mercancías no suele superar los 40 000 km $año^{-1}$.

3. Costes de mantenimiento de locomotoras y vagones. La fórmula de pago que suelen suscribir las operadoras con el constructor se incluyen la suma de dos componentes, uno fijo, independiente de la producción, y otro variable, proporcional a los kilómetros recorridos. De la suma de ambos, con producciones medias de entre 80 000 y 130 000 km y costes de adquisición de entre 2,3 y 3,4 M€, resulta un coste medio por km tren producido que oscila entre los 0,9 € km^{-1}, para locomotoras eléctricas de última generación, y los 2,55 € km^{-1} para las locomotoras diésel. En cuanto al mantenimiento de los vagones, en algunos países europeos se considera aceptable evaluar el coste anual, para recorridos medios de 40 000 km, en el 3% del importe de su adquisición.

4. Coste de amortización de la locomotora y los vagones. Para su estimación se pueden tener como referencia un coste de adquisición de 3 M€, un plazo de amortización de 25 años y 100 000 km anuales de recorrido medio. En el caso de los vagones su coste suele oscilar entre 60 y 120 000 €, con el mismo plazo de amortización y una producción de 20 ó 30 000 km $año^{-1}$.

5. Costes financiación de la locomotora.

6. Cánones de circulación. Realmente está integrado por tres tipos: i) Canon de acceso, ii) Canon de reserva de capacidad y ii) Canon de circulación.

7. Servicios terminales. Las terminales españolas son propiedad de Adif que las gestiona ofreciendo una serie de servicios a las empresas ferroviarias por los que percibe unas determinadas cantidades calculadas de acuerdo con unos precios unitarios establecidos en la declaración sobre la Red.

Teniendo en cuenta estos componentes de los costes directos Rallo (2008) estima unos valores unitarios entre 11,65 € km^{-1} para los remolcados por tracción eléctrica y 13,97 € km^{-1} para los que disponen de tracción diésel.

Las tarifas de las diferentes operadoras dan valores de 12,5 € $tren^{-1}$ km^{-1} y de 0,040 € t^{-1} km^{-1} según costes medios de Renfe en 2007. Comsa tiene una tarifa de 0,038 € t^{-1} km^{-1} para transporte de madera en trenes de 1 050 t, de 11 a 13 vagones, entre Figueira da Foz (Portugal) y Lugo (distancia por carretera 495 km) (Ferropedia 2011).

5.3. Coste del transporte de mercancías por barco

De forma similar al análisis de los costes de transporte por ferrocarril, Álvarez (2012) considera los siguientes componentes de los costes internos del transporte marítimo: 1) Costes de capital, 2) Costes de reparaciones, seguros, mantenimiento, 3) Costes de tripulación, 4) Costes de tasas y tarifas portuarias, 5) Coste operativa portuaria y 6) Coste de combustible.

Del análisis de estos componentes el coste medio unitario estimado es de 0,654 € km^{-1}.

6. Transporte internacional

El transporte internacional, como es el caso de la venta de astilla para biomasa a Italia, Dinamarca o Suecia, exige la necesidad de realizar un contrato internacional para el transporte de mercancías. Los Incoterms (*International commercial terms*) se refieren a un estándar internacional de once términos comerciales desarrollados por la Comisión de Derecho y Práctica Mercantil de la Cámara de Comercio Internacional (ICC). Estos términos estandarizados facilitan el comercio internacional, al permitir que agentes de diversos países realicen una misma interpretación sobre las condiciones de entrega de las mercancías. La ICC (*International Chamber of Commerce*) se ha encargado, desde 1936, de la elaboración y actualización de estos términos de acuerdo con los cambios que va experimentando el comercio internacional. Actualmente están en vigor los Incoterms 2020 (desde el 1 de enero de 2020). Su principal ventaja consiste en haber simplificado mediante 11 denominaciones normalizadas un cúmulo de condiciones que tienen que

cumplir las dos partes contratantes. Gracias a esta armonización o estandarización, la parte compradora y la parte vendedora saben perfectamente a qué atenerse. En cualquier caso, su aceptación por parte del comprador y vendedor es voluntaria y, de producirse, habrá de figurar en el contrato de compraventa. Regulan cuatro aspectos básicos del contrato de compraventa internacional:

1. La entrega de mercancías.

2. La transmisión de riesgos.

3. La distribución de gastos.

4. Los trámites de documentos aduaneros.

Hay definidos 11 modelos de Incoterms, los cuales se pueden clasificar por diferentes criterios. Atendiendo a los modos de transporte: 4 de ellos son específicos del transporte marítimo (FAS, FOB, CFR y CIF) y 7 para cualquier modo de transporte. Atendiendo a las diferentes obligaciones de la parte vendedora y compradora se pueden agrupar en: 1) Grupo E, 2) Grupo F, 3) Grupo C y 4) Grupo D (tabla 12.21).

1. Grupo E. El vendedor pone las mercancías a disposición del comprador en los propios locales del vendedor. Tipo:

- EXW. *EX Works (named place)*. En fábrica.

2. Grupo F. Al vendedor se le encarga que entregue la mercancía a un medio de transporte elegido y pagado por el comprador. Esto es, una entrega indirecta sin pago del transporte principal por el vendedor. Tipos:

- FCA. *Free CArrier (named place)*. Franco transportista. El vendedor se compromete a entregar la mercancía en un punto acordado dentro del país de origen, que pueden ser los locales de un agente de carga, una estación ferroviaria (este lugar convenido para entregar la mercancía suele estar relacionado con los espacios del transportista). Se hace cargo de los costes hasta que la mercancía está situada en ese punto convenido.

- FAS. *Free Alongside Ship (named loading port)*. Franco al costado del buque. El vendedor entrega la mercancía en el muelle pactado del puerto de carga convenido; esto es, al lado del barco. Es propio de mercancías de carga a granel o de carga voluminosa porque se depositan en terminales del puerto especializadas, que están situadas en el muelle. El vendedor es responsable de las gestiones y costes de la aduana de exportación.

- FOB. *Free On Board (named loading port)*. Franco a bordo. El vendedor entrega la mercancía sobre el buque. El comprador se hace cargo de designar y reservar el transporte principal

(buque). Es uno de los más usados en el comercio internacional. Se debe utilizar para carga general (contenedores, etc.) de mercancías. No utilizable para carga en granel.

3. Grupo C. El vendedor contrata el transporte, pero sin asumir el riesgo de pérdida o daño de la mercancía o de costes adicionales por los hechos acaecidos después de la carga y despacho; esto es, una entrega indirecta con pago del transporte principal por el vendedor. Tipos:

- CFR. *Cost and Freight (named destination port)*. Coste y flete. El vendedor se hace cargo de todos los costes, incluido el transporte principal, hasta que la mercancía llegue al puerto de destino. Sin embargo, el riesgo se transfiere al comprador en el momento que la mercancía se encuentra cargada en el buque, en el país de origen. Se debe utilizar para carga general, que se transporta en contenedores; No es apropiado para granel.

- CIF. *Cost, Insurance and Freight (named destination port)*. Coste, seguro y flete. El vendedor se hace cargo de todos los costes, incluidos el transporte principal y el seguro, hasta que la mercancía llegue al puerto de destino. Aunque el seguro lo ha contratado el vendedor, el beneficiario del seguro es el comprador. Como en el modelo anterior, el riesgo se transfiere al comprador en el momento que la mercancía se encuentra cargada en el buque en el país de origen. Es uno de los más usados en el comercio internacional porque las condiciones de un precio CIF son las que marcan el valor en aduana de un producto que se importa. Se debe utilizar para carga general o convencional. Se utiliza en el comercio de astilla.

- CPT. *Carriage Paid To (named place of destination)*. Transporte, pagado hasta. El vendedor se hace cargo de todos los costes, incluido el transporte principal, hasta que la mercancía llegue al punto convenido en el país de destino. Sin embargo, el riesgo se transfiere al comprador en el momento de la entrega de la mercancía al transportista dentro del país de origen. Si se utilizan varios transportistas para llegar a destino, el riesgo se transmite cuando la mercancía se haya entregado al primero.

- CIP. *Carriage and Insurance Paid (To) (named place of destination)*. Transporte y seguros pagados hasta. El vendedor se hace cargo de todos los costes, incluidos el transporte principal y el seguro, hasta que la mercancía llegue al punto convenido en el país de destino. Aunque el seguro lo ha contratado el vendedor, el beneficiario del seguro es el comprador.

4. Grupo D. El vendedor soporta todos los gastos y riesgos necesarios para llevar la mercancía al país de destino, esto es, una entrega directa a la llegada. Los costes y los riesgos se transmiten en el mismo punto.

- DAP. *Delivered At Place (named destination place)*. Entrega en lugar convenido. El vendedor se hace cargo de todos los costes, incluidos el transporte principal y el seguro (que no es obligatorio), pero no de los costes asociados a la importación, hasta que la mercancía se ponga a disposición del comprador en un vehículo listo para ser descargado. También asume los riesgos hasta ese momento.

- DPU. *Delivered at Place Unloaded*. Entrega en lugar de descarga acordado. El vendedor se hace cargo de todos los costes, incluidos el transporte principal y el seguro (que no es obligatorio), hasta que la mercancía es descargada en el lugar de destino. También asume los riesgos hasta ese momento.

- DDP. *Delivered Duty Paid (named destination place)*. Entrega derechos pagados. El vendedor paga todos los gastos hasta dejar la mercancía en el punto convenido en el país de destino. El comprador no realiza ningún tipo de trámite. Los gastos de aduana de importación son asumidos por el vendedor. El tipo de transporte es polivalente/multimodal.

Tabla 12.21. Incoterms 2020 (C: coste asumido por el comprador; V: coste asumido por el vendedor. Modo transporte: T: todos; M: marítimo).

Salida fábrica	Transporte principal no pagado por el vendedor				Transporte principal pagado por el vendedor			Gastos de envío asumidos por el vendedor hasta el destino			
Incoterm /Coste	EXW	FCA	FAS	FOB	CFR	CIF	CPT	CIP	DAP	DPU	DDP
Embalaje	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V
Carga en fábrica	C	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V
Transporte interior	C	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V
Aduana exportación	C	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V
Manutención al partir	C	C	C	V	V	V	V	V	V	V	V
Transporte principal	C	C	C	C	V	V	V	V	V	V	V
Seguro de transporte	C	C	C	C	C	V	C	V	V	V	V
Manutención al llegar	C	C	C	C	C	C	C	C	V	V	V
Aduana importación	C	C	C	C	C	C	C	C	C	V	V
Al finalizar la ruta	C	C	C	C	C	C	C	C	C	V	V
Descarga fábrica	C	C	C	C	C	C	C	C	C	V	A pactar
Modo de transporte	T	T	M	M	M	M	T	T	T	T	T

7. Bibliografía

Adif (2017) Declaración sobre la red.

AENOR (2001) UNE-EN 12195-2. Dispositivos para la sujeción de la carga en vehículos de carretera. parte 2: Cintas de amarre fabricadas a partir de fibras químicas.

AENOR (2011) UNE-EN 12195-1. Dispositivos para la sujeción de la carga en vehículos de carretera. Parte 1: Cálculo de las fuerzas de fijación.

Álvarez B (2012) Estudio del transporte marítimo, por carretera y ferroviario en España mediante modelos numéricos para el análisis de costes. Barcelona.

Cuchet E, Lamiscarre J (2005) Comment peser le chargement des camions de bois en forêt ? 1-6.

DGT (2019) Red de autopistas, autovías y carreteras multicarril para la circulación de vehículos con configuración euromodular (https://sede.dgt.gob.es/sede-estaticos/Galerias/movilidad/

autorizaciones-especiales-de-circulacion/autorizaciones-conjuntos-euro-modular/red_euro-modulares.pdf).

Ferropedia (2011) Ferropedia.

IRU (2014) Código de buenas prácticas para la estiba segura de la carga en el transporte por carretera. Ginebra.

Ministerio Fomento (2005) El lenguaje del transporte intermodal. Minist Fom 41.

Ministerio Fomento (2016) Observatorio de costes del transporte de mercancías por carretera. Madrid.

Le Net E, Bajric F, Vötter D, et al. (2011) Identification of existing transport methods and alternative methods or new approaches with data about costs, labour input and energy consumption. Joensuu.

Rallo Guinot V (2008) Costes del transporte de mercancías por ferrocarril Una primera aproximación para su estudio sistemático.

El proyecto técnico para las operaciones de extracción de los productos madereros

Capítulo 13

El proyecto técnico para las operaciones de extracción de los productos madereros

Jesús Pemán García

1. Estructura del proyecto

No es muy frecuente redactar un proyecto técnico que aborde la realización de estas operaciones. Lo más parecido son los proyectos de tratamientos selvícolas que se realizan como proyectos de obra cuando la madera que de los mismos se obtiene no es suficiente para compensar los costes de la extracción. No obstante, tiene un gran interés formativo, desde el punto de vista académico, para analizar los aspectos a considerar en la planificación del mismo.

El proyecto técnico se estructura, como cualquier proyecto de obra, en los siguientes documentos: Memoria, Planos, Pliego de Condiciones y Presupuesto. A estos documentos habrá que añadir el Estudio de Seguridad y Salud y la Evaluación ambiental como consecuencia del desarrollo de diferentes leyes sectoriales. En ocasiones, estos dos últimos documentos se incorporan como Anejos a la Memoria, aunque se estima más oportuno incluirlos como documentos independientes.

2. Memoria

2.1. Estructura general

Describe detalladamente las soluciones adoptadas, así como todos los datos de interés general del proyecto. Presenta la información de una manera sintética y clara, de modo que de su lectura rápida se comprenda la totalidad del proyecto. Aunque la estructura concreta y definitiva de la memoria varía según la tipología de cada proyecto, debe responder a una estructura general (figura 13.1). Los aspectos más sobresalientes de la misma son:

- Objeto del Proyecto. Se deberá describir de la manera más precisa y breve la naturaleza de la obra, su localización y su dimensión.

- Antecedentes. Se hará referencia al promotor del proyecto, y la razón que justifica el mismo, así como cualquier otro tipo de información administrativa o de carácter general que sirva para comprender mejor su naturaleza. Deben describirse y detallarse las razones a las que obedece este proyecto, como pueda ser la existencia de un Plan de Ordenación o Gestión que lo contemple, o una norma por la cual se toma esta iniciativa o, simplemente, la petición del propietario del terreno. Asimismo, se describirán los estudios y trabajos previos ya existentes cuya información pueda ser de utilidad en el proyecto.

1. OBJETO DEL PROYECTO
2. ANTECEDENTES
3. BASES DEL PROYECTO
3.1. DIRECTRICES DEL PROYECTO
Objetivos
Condicionantes de los promotores
Criterios de valor
3.2. CONDICIONANTES DEL PROYECTO
Legales y administrativos
Naturales: climáticos, fisiografía, vegetación, suelo, fauna, riesgos fitosanitarios
Selvícolas: tipo de corta, intensidad de la corta, características de la masa.
Infraestructuras: red de pistas
Industria
3.3. ZONIFICACIÓN o APEO DE RODALES
Definición de los productos a obtener en cada rodal
4. ACTUACIONES TÉCNICAS
Método y sistema de aprovechamiento
Definición del procedimiento de apeo y procesado
Definición del procedimiento de saca
Definición del medio de transporte
Diseño y trazado de las pistas de desembosque
Localización de l*as zonas de cargadero*
5. INGENIERÍA DEL PROYECTO
Ingeniería *del* Proceso
Ingeniería de las *obras (pistas)*
6. PLANIFICACIÓN DE LA EJECUCIÓN (PLAN DE OBRA)
*Evaluación d*e medios
Programación *temporal*
7. PRESUPUESTO
Ejecución material
Contratación

Figura 13.1. Esquema de la estructura de la Memoria.

1. Directrices del proyecto. Comprende los objetivos perseguidos, así como los condicionantes impuestos por los promotores del proyecto y los criterios de valor que se establezcan. Deben definirse claramente los objetivos que se pretenden con el proyecto, ya que según los mismos, se decidirán las diferentes actuaciones a realizar.

2. Condicionantes del proyecto. Es un aspecto que se considera básico en todo proyecto técnico por la influencia directa que tienen en la elección de la alternativa técnica más óptima en cada decisión estratégica del proyecto. Conviene, por tanto, sistematizar y protocolizar su estudio para poder elegir en cada monte los que tienen un carácter más determinante en la selección de las diferentes alternativas. En la memoria descriptiva del proyecto aparecerá un resumen de los mismos, dejando para los Anejos su descripción más detallada, que abarcará los documentos, datos y cálculos que fueran necesarios. Aunque en la bibliografía forestal sobre estas operaciones no hay muchas publicaciones que los aborden de forma específica merece destacarse el trabajo de De la Maza (1970), ya todo un clásico, y el de Rodríguez et al. (2005). Entre los condicionantes que hay que analizar, cabe citar:

2.a. Legales y administrativos. Describirán la propiedad de la superficie objeto del proyecto, el conocimiento claro de sus límites, así como las limitaciones al uso que pueda tener. Así, deberá describirse la posición administrativa, la pertenencia, los límites del monte, enclavados, superficies o cabidas, servidumbres, ocupaciones, usos y costumbres. Debe hacerse mención a los diferentes documentos de planificación existentes sobre el territorio y que puedan restringir el uso del mismo, así como a las diferentes normas que puedan condicionar alguna de las decisiones. Asimismo, deberá detallarse las restricciones que impongan las diferentes normas sectoriales.

2.b. Naturales. Describirán los factores físicos y bióticos que pueden influir en las decisiones del proyecto, es decir: el clima, la fisiografía, el suelo, la vegetación, la fauna, los riesgos fitosanitarios, etc.

2.c. Selvícolas. Describirán aquellos aspectos que se consideren más relevantes: tipo de corta, intensidad de la corta, características de la masa forestal, etc.

2.d. Infraestructuras. Describirán la red de infraestructuras existentes, así como las limitaciones que las mismas plantean para la ejecución de las diferentes operaciones del proyecto.

2.e. Industria. Describirán los tipos de productos que pueden demandar las industrias de destino del aprovechamiento (Rodríguez *et al*. 2005).

El estudio de los condicionantes se aborda con más detalle en el capítulo 6.

3. Zonificación. En función de los objetivos planteados y de las características del medio antes descritas, se procederá a la zonificación. Esta zonificación consiste en la delimitación que

se realiza en la superficie objeto del aprovechamiento atendiendo a sus diferentes características. Esto puede implicar que en cada uno de los rodales la solución técnica puede ser diferente o, lo que es lo mismo, puede representar una unidad de obra distinta. Para cada uno de estos rodales se debe definir los productos que se pretenden obtener de la masa, el método de aprovechamiento a realizar y proceder a la identificación, evaluación y elección de la alternativa técnica más apropiada de cada una de las actuaciones estratégicas del proyecto.

4. Actuaciones técnicas. Para cada uno de los rodales identificados se deberá definir: el método de aprovechamiento, el procedimiento de apeo y procesado, el procedimiento de desembosque y el medio de transporte. En la Memoria solo constarán las alternativas elegidas en cada uno de los rodales, recogiéndose en el Anejo correspondiente todo el proceso de selección. De una forma más detallada se describe en el apartado 2.1.2.

5. Ingeniería del Proyecto. Se compone tradicionalmente de dos epígrafes que hacen relación a la Ingeniería del proceso y a la Ingeniería de las obras. La Ingeniería del proceso comprende el Programa productivo y el Proceso productivo. En un proyecto de esta naturaleza la Ingeniería del proceso quedará reducida al proceso productivo, entendiendo por este último el conjunto de operaciones necesarias para disponer la madera en la industria. La Ingeniería de las obras hace referencia a todas las infraestructuras o instalaciones necesarias para la realización del proyecto. En este caso deberá detallarse la realización de las pistas necesarias y la ubicación y diseño de los cargaderos.

6. Planificación de la ejecución. Presenta la estimación general de los medios necesarios y la programación detallada de la ejecución. Esta última se suele presentar en forma de diagrama PERT, GANNT, etc.

7. Presupuesto. Se deberá realizar un análisis de los costes de las diferentes operaciones para determinar el precio de ejecución material y el de contratación. Como consecuencia del mismo se podría estimar el precio de la madera en pie.

2.2. Las actuaciones técnicas

Dentro de este epígrafe de la memoria del proyecto se deberá describir: 1) Método de aprovechamiento, 2) Operaciones técnicas. Estas últimas describirán las operaciones de apeo, procesado, tratamiento de los residuos, reunión, desembosque, apilado, clasificación y transporte.

2.2.1. Método y sistema de aprovechamiento

Se entiende por método de aprovechamiento el grado de transformación que se realiza del árbol a pie de tocón o en la zona de corta. Se denomina sistema de aprovechamiento al con-

junto formado por los medios, equipos, máquinas y técnicas (y el lugar donde se usan) que se emplean para llevar a cabo el aprovechamiento de un área determinada. Los componentes individuales de un sistema pueden cambiar sin que haya cambio del método de aprovechamiento (ver capítulo 11). Los tres métodos de aprovechamiento principales descritos son (McNally 1978):

- Método de árboles completos. En el método de árboles completos no se produce ninguna transformación a pie de tocón o en la zona de corta de los árboles apeados (figura 13.2). Así los árboles, una vez apeados, se extraen del área de corta y se trasladan hasta el cargadero de forma íntegra (sin desramar ni tronzar).

- Método de fustes enteros. En este método, el árbol una vez apeado es desramado y descopado o despuntado en el área de corta, pero no se trocea (figura 13.3). Es el método indicado cuando se desea obtener madera con destino a postes, puntales o madera estructural.

- Método de madera corta. En este método, el árbol una vez apeado es desramado, descopado y dividido en trozas de 2 a 2,5 m de longitud en el área de corta, según las exigencias de la industria (figura 13.4). Se precisará de la reunión y apilado de las trozas previamente a su desembosque

Hoy en día, estos métodos se pueden completar con otros, como es el caso de el de madera larga, el mixto o el de la astilla. En relación a los sistemas, en el capítulo 11 se han descrito 31.

Figura 13.2. Cabezal cortador de cizalla Woodcracker 250 montado sobre retroaraña (izquierda) y autocargador John Deer 1910E descargando el árbol entero en la pila para su posterior astillado (derecha) (Fotos: J. Pemán).

Figura 13.3. Apeo manual (izquierda), desembosque con *skidder* del fuste entero (centro) y transporte con cabeza tractora más plataforma rodante (*dolly*) (derecha) (Fotos: J. Pemán).

Figura 13.4. Apeo con cabezal cosechador (superior izquierda), desembosque de la madera corta con autocargador (inferior izquierda) y transporte con vehículo articulado (derecha) (Fotos: J. Pemán).

2.2.2. Operaciones técnicas

Figura 13.5. Fases y operaciones del aprovechamiento maderero.

2.2.2.1. Operaciones previas

Esta fase abarca el conjunto de actuaciones que cabe realizar con anterioridad a la ejecución de los aprovechamientos. Son muy variadas y dependerán de las características de cada uno de los montes.

Siempre se iniciará con la fase de señalamiento o demarcación, según la cosa cierta objeto del aprovechamiento. Delimitado el aprovechamiento en el espacio, se analizarán las infraestructuras necesarias para su ejecución, como son la red de pistas o el establecimiento de las zonas de cargadero. Asimismo, se valorará la necesidad de realizar operaciones de desbroce para facilitar las operaciones del aprovechamiento o el establecimiento de sus infraestructuras.

2.2.2.2. Apeo

Esta fase puede comprender desde la corta del árbol, únicamente, hasta su procesado al pie del mismo que comprendería las operaciones de desramar, descopar o despuntar y de trozar o tronzar (figura 13.6). El apeo y el resto de las operaciones podrá realizarse de una forma manual, con motosierra, o mecanizada, con cortadora o cosechadora. Estas operaciones se describen con más detalle en los capítulos 7 y 8.

Figura 13.6. Apeo con motosierra (izquierda), con un cabezal cortador cizalla Woodcracker 350 acoplado a una retroexcavadora (centro) y con cabezal cosechador (derecha) (Fotos: J. Pemán).

El desrame consiste en la eliminación de las ramas del fuste hasta el diámetro mínimo de aprovechamiento del mismo, es decir, el diámetro en punta delgada (figura 13.7). A continuación de esta fase se realiza el despunte o descope consistente en la corta del fuste a partir del diámetro en punta delgada. Ello implica la separación de la copa o raberón del fuste con aprovechamiento comercial. Dependiendo del sistema de aprovechamiento seguido, esta fase continúa con el tronzado del fuste, consistente en la realización de cortes perpendiculares al eje del tronco. Las dimensiones de las trozas está en función del destino de la madera. Todas estas operaciones podrán realizarse de manera manual o mecanizada y se describen con más detalle en los capítulos 6 y 7.

Figura 13.7. Desrame y tronzado manual con motosierra (izquierda), y desrame, despunte y tronzado con cabezal procesador (centro y derecha) (Fotos: J. Pemán).

Una operación en desuso, en esta fase, sería el descortezado, que en la actualidad , salvo en el caso del eucalipto, se realiza en la industria (figura 13.8).

Figura 13.8. Descortezado manual con pala o hacha, ya en desuso (izquierda) y descortezado mecanizado a la entrada de la industria (derecha) (Fotos: J. Pemán).

2.2.2.3. Saca

Conlleva las operaciones de extracción del árbol, fuste o trozas desde el área de corta o desde el punto de reunión, hasta el lugar desde el que se va a trasladar a fábrica. Este lugar puede ser a pie de pista, si es accesible para los camiones, o desde el cargadero. Dependiendo del método de aprovechamiento elegido y de las características del monte, esta operación puede comprender otras de carácter previo como son las de reunión y apilado. El rollo y/o la troza en el desembosque se podrá transportar de forma: i) Arrastrada, ii) Semisuspendida o iii) Suspendida.

La reunión es una operación previa al desembosque consistente en la agrupación de la madera apeada, generalmente formando pilas de pequeño tamaño, para hacer más eficiente el proceso de desembosque con el método elegido. La reunión se suele realizar a lo largo de las pistas de desembosque o calles de saca por donde transitará el medio que realice el desembosque. En el apilado, el tamaño de la pila que se forma dependerá, también, del medio elegido para el desembosque, ya que su objetivo es reducir la duración de los ciclos de carga. En el caso de que el desembosque se realice de forma suspendida con un tractor arrastrador (*skidder*), el tamaño de la pila oscila alrededor de los 3 estéreos. El desembosque por arrastre de la madera puede hacerse con tracción animal, si la distancia es reducida, o mediante tractores agrícolas y tractores forestales arrastradores (*skidders*). El desembosque de forma suspendida de la madera puede realizarse mediante autocargadores, *skidders*, cable grúa o helicóptero (figura 13.9).

Para la elección del procedimiento más adecuado de desembosque habrá que valorar las características del monte, sobre todo su fisiografía, el método de aprovechamiento elegido, las características selvícolas de la masa, el tipo de corta planificada y su intensidad.

Las diferentes técnicas para la realización de la saca se describen con más detalle en los capítulos 8 y 9.

Figura 13.9. Desembosque arrastrando fuste entero con caballo (superior izquierda), fuste entero semisuspendido con *skidder* (superior derecha), madera corta suspendida con autocargador (inferior izquierda) y fuste entero suspendido con cable grúa (inferior derecha) (Fotos: J. Pemán).

2.2.2.4. Tratamiento de los residuos del aprovechamiento

Los residuos del aprovechamiento son los restos de corta que no tienen un valor comercial y que, por tanto, se dejan en el monte. Están normalmente compuestos por las ramas y los raberones producto de las operaciones de desramado y despuntado. Normalmente estos residuos están dispersos por toda el área de corta, o acumulado en las calles, cuando el apeo es mecanizado con cosechadora, o acumulado en el cargadero cuando en el se realizan las operaciones de procesado del fuste.

Si existe la posibilidad de que el residuo tenga un valor comercial, en el caso de la biomasa forestal, el tratamiento normalmente de estos residuos es mediante astillado. Generalmente, es el caso de montes que permiten una mecanización y el tránsito de un astilladora móvil que se acopla a tractores o autocargadores y realiza el astillado *in situ*. En el caso de que el residuo no tenga valor comercial los tratamientos que se han realizado a los mismos varían entre diferentes alternativas: i) Fragmentación del residuo en el momento de la corta, ii) Acordonado y quema, iii) Acordonado y triturado. En laderas con fuertes pendientes y riesgo de producirse fuertes escorrentías los residuos pueden acumularse siguiendo las curvas de nivel para frenar dicho flujo. No obstante, en muchas CC.AA., no se realiza tratamiento alguno de los mismos (figura 13.10).

Figura 13.10. Eliminación de los restos de corta, después de una corta a hecho de una superficie afectada por un incendio forestal, mediante tractor de cadenas con desbrozadora de martillos (izquierda) y estado de los residuos de corta después del paso de la desbrozadora por uno de los montones (derecha) (Fotos: J. Pemán).

La descripción más detallada de los diferentes tratamientos se realiza en el capítulo 10.

2.2.2.5. *Transporte*

El transporte es la operación que comprende el traslado del producto desde el cargadero hasta la industria de destino. Los diferentes modos de transporte (carretera, ferrocarril y marítimo), determinan las alternativas posibles. En España el medio más utilizado es el transporte por carretera seguido del ferrocarril. Normalmente se emplea el transporte por carretera para distancias inferiores a 200 km y el ferrocarril para distancias mayores. El marítimo se emplea, sobre todo, en el comercio internacional.

El transporte por carretera presenta numerosas alternativas según la configuración de vehículos elegida. Se puede hacer con camiones rígidos o con conjuntos de vehículos que ofrecen una variedad de alternativas como son los vehículos articulados, los trenes de carretera o las configuraciones euromodulares (figura 13.11). La elección de un tipo u otro dependerá de las características de la madera a transportar, de las características de las vías que deberán ser utilizadas y de la distancia al punto de destino.

El transporte por ferrocarril es la alternativa para grandes distancias. La red de vía férrea en España para mercancías es de 1 210 km y las principales industrias de transformación del sector disponen de terminales de ferrocarril. Los vagones tipo de los que dispone Renfe y que se suelen emplear para el transporte de madera pueden ser de tipo plataforma y los vagones abiertos (serie Ekklos, Elos, Ealos) (figura 13.12). Los de tipo de plataforma admiten una carga máxima por vagón de 27 t y disponen de un volumen útil de 100 estéreos. En los vagones de tipo abierto la carga máxima oscila entre 28 y 57 t, según la serie, y el volumen entre 50 y 70 estéreos. El transporte por ferrocarril normalmente obliga a un transporte por carretera hasta la terminal de carga.

Figura 13.11. Tren de carretera (superior izquierda), camión rígido (superior derecha) y vehículo articulado con semiremolque extensible (inferior izquierda) (Fotos: J. Pemán).

Figura 13.12. Terminal de tren en la fábrica de TorrasPapel de Montañana (Zaragoza) (izquierda), vagón tipo plataforma (derecha y superior) y vagón abierto de mercancías serie Ekklos (derecha inferior) (Fuente: Google Maps y Renfe).

El transporte marítimo es muy reducido en el ámbito de las exportaciones españolas de productos madereros (figura 13.13), aunque sí tiene cierta relevancia en el caso de las importaciones. Es el caso del puerto de Marín (Pontevedra) donde el 25% de su tráfico anual tiene como destino la fábrica de Ence de Lourizán. En este puerto, el volumen importado en 2007 de madera en rollo fue de 30 000 t y 28 000 t de astilla. Al igual que en el transporte por ferrocarril, el trans-

porte marítimo debe combinarse con el transporte por carretera o ferrocarril a las terminales de carga y entre la terminal de descarga y el destino final.

Figura 13.13. Barco granelero para el transporte de astilla en el puerto de Palamós (izquierda), carga de la bodega (centro) y llegada del vehículo articulado de piso flotante al muelle del puerto (derecha) (Fotos: J. Pemán).

Los diferentes modos de transporte se describen más detalladamente en el capítulo 12.

2.3. Planificación de las pistas de desembosque y el diseño de los cargaderos

Las pistas de desembosque o vías de saca constituyen la infraestructura básica para la ejecución del aprovechamiento forestal (figura 13.14). Limita las características del desembosque, de tal manera, que según su densidad puede hacerlo inviable.

Figura 13.14. Tipología de vías forestales en el desarrollo de un aprovechamiento maderero en una repoblación de *Pinus sylvestris* por terrazas en la Sierra de Ayllón (Fuente: Google Earth).

La falta de regulación sobre las características de las pistas forestales ha dado lugar a una gran variedad de clasificaciones (Sedlack 1984; Tolosana et *al*. 2000; Elorrieta 2005). Una de las más sencillas es la propuesta por Valero et *al*. (1999) que distingue cuatro tipos:

1. Camino rural o principal. Conecta con la red de carreteras y soporta un tráfico elevado. El mantenimiento debe adecuarse al volumen del tráfico.

2. Camino primario o camino forestal**.** Conecta a las fincas forestales, pero tiene una utilidad pública y no es exclusiva de una propiedad. Soporta una circulación moderada de vehículos. Por esta vía acaban saliendo los productos forestales de las diferentes propiedades. Debe de disponer de sobreanchos que permitan el cruce de vehículos.

3. Camino secundario o pista forestal**.** Se construye para la gestión de un monte que puede tener o no comunicación con otros montes vecinos. Circulación de baja intensidad por lo que requerirá de un mantenimiento cada cuatro o cinco años.

4. Pista de desembosque**.** Permite la extracción de los productos forestales de una unidad de gestión. Su circulación es muy reducida y se concentra en el tiempo. No suele estar interconectada con el resto de unidades de gestión. Es aconsejable que permita el cambio de sentido al final de la misma.

En ocasiones se puede considerar otra tipología de vía que son las calles de saca que son unidades más elementales que las pistas de desembosque, tanto por su anchura como por el nulo movimiento de tierras que implican.

Los cargaderos son las instalaciones donde se almacenan temporalmente los productos obtenidos del monte que tienen que ser transportados a las industrias de destino. Su diseño y ubicación debe permitir el acceso de los medios de desembosque para hacer la descarga y de los medios de transporte para realizar la carga de los productos. La planificación de estas infraestructuras se describe con más detalle en el capítulo 16.

3. Presupuesto

Este documento debe recoger el coste económico del Proyecto. Para obtenerlo es preciso, primero, realizar las mediciones de las distintas unidades de obra que lo componen y determinar el precio unitario de cada una de ellas para que, al combinar ambos valores, se pueda obtener el coste total del mismo (figura 13.15).

Si es necesario, en los Anejos a la Memoria, se incluirá un apartado de Justificación de precios, en donde se indicarán los precios unitarios simples de mano de obra, de las máquinas, etc.

Como consecuencia del cálculo de costes, si interesa, se puede determinar el precio de la madera en pie mediante la utilización del método analítico (ver capítulo 15).

1. ESTADO DE MEDICIONES
2. CUADRO DE PRECIOS
3. PRESUPUESTO
PRESUPUESTOS PARCIALES
PRESUPUESTO GENERAL
Presupuesto de ejecución material
Presupuesto de contratación

Figura 13.15. Estructura del presupuesto.

4. Pliegos de Prescripciones Técnico-Facultativas Particulares (PPTFP)

En este documento se recogen las exigencias de índole técnica y legal que han de regir para la ejecución del mismo. Regulan los derechos, responsabilidades, obligaciones y garantías mutuas entre las partes que intervienen en la ejecución, puesta en práctica y desarrollo del proyecto (Trueba et *al.*1982). Comúnmente se hace referencia a él como la ley del proyecto. Se estructura de forma similar a como lo hacen las leyes, por lo que pueden diferenciarse títulos, capítulos y artículos o cláusulas. El PPTFP describe los trabajos a realizar por el adjudicatario y define las características, condiciones y criterios a tener en cuenta en la ejecución de los trabajos.

La redacción del PPTFP se describe con más detalle en el capítulo 14.

5. Estudio de seguridad y salud laboral

Desde la aprobación de la Ley 31/1995 de Prevención de Riesgos Laborales (LPRL), en la elaboración de cualquier proyecto de obra es necesario controlar los riesgos para la seguridad y salud de los trabajadores, por lo cual, se hace necesario proceder a la evaluación inicial de ellos. Aunque se ha discutido si el sector forestal estaba debidamente recogido en las normas que han desarrollado esta ley, como las que hacen referencia a las máquinas o al lugar de trabajo, el riesgo de siniestralidad asociado a la ejecución del aprovechamiento forestal aconseja siempre la evaluación de los mismos (figura 13.16).

Figura 13.16. Transporte prohibido de un trabajador subido al escudo del cabrestante de un tractor agrícola (izquierda), motosierrista sin EPI al que se le atasca la motosierra en el apeo (centro) y cabina de tractor sin sistemas de protección FOPS y OPS (Fotos: J. Pemán).

En el capítulo 17 se describe con más detalle la elaboración del Estudio de Seguridad y Salud.

6. Evaluación ambiental

Cualquier proyecto de obra en la actualidad exige que las decisiones técnicas que en él se tomen cumplan una triple viabilidad: i) Técnica, ii) Económica y iii) Ambiental.

Desde este punto de vista y como consecuencia que tanto las operaciones necesarias para la ejecución del aprovechamiento como la construcción de las infraestructuras necesarias para su realización pueden tener un impacto sobre los elementos bióticos y abióticos del mismo, se recomienda la realización de una evaluación ambiental de la obra (figura 13.17). En algunas circunstancias, como son los trabajos en Espacios Naturales Protegidos, algunas administraciones públicas quieren exigir la evaluación ambiental previa de los mismos.

Figura 13.17. Rodadas en pistas de desembosque (izquierda) y área de corta a hecho (derecha) (Fotos: J. Pemán).

7. Bibliografía

Elorrieta J (2005) Vías forestales. En: Valladares A (ed) Prontuario Forestal. Madrid, p 59

FAO (1984) La explotación maderera de los bosques de montaña. Roma.

Maza de la J (1970) Criterios y factores que condicionan los aprovechamientos forestales (I). Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias, Madrid.

McNally J (1978) Planificación de carreteras forestales y sistemas de aprovechamiento. FAO, Roma.

Rodriguez J, Juanati C, Piqué M, Tolosana E (2005) Tècniques de desembosc en l'aprofitament forestal. Centre Propietat Forestal, Barcelona.

Sedlack O (1984) Principios generales sobre planificación de redes de carreteras forestales. En: Heinrich R (ed) La explotación maderera de bosques de montaña. FAO, Roma, pp 27-48.

Tolosana E, González V, Vignote S (2000) Aprovechamiento maderero. Fundación Conde del Valle de Salazar y Mundi Prensa, Madrid.

Valero J, Abian J, Rodriguez J, *et al*. (1999) Els camins forestals. Apunt Silvic 6:7-40.

Capítulo 14

El pliego de Prescripciones Técnico-Facultativas

Jesús Pemán García

1. Introducción

El Pliego de prescripciones, cláusulas o condiciones, puede definirse, con carácter general, como el "conjunto de cláusulas, especificaciones, condiciones, limitaciones o condicionantes, debidamente articulados que se debe cumplir para la ejecución de un proyecto" (Pellicer 2006). Normalmente se utiliza el término de cláusulas para referirse a las de contenido económico-administrativo y el de prescripciones para las de contenido técnico-facultativo. En este capítulo se sigue este criterio, que es el expuesto en la ley de contratos del sector público (L 9/2017). Es muy corriente observar como se usa el término de condiciones como sinónimo de ambas. En este capítulo se utilizará esta referencia cuando se haga alusión en general a todos los pliegos. Se ha interpretado, tradicionalmente, que el Pliego de condiciones es la ley del contrato, es decir, recoge las cláusulas o condiciones de obligado cumplimiento para todas las partes que intervienen en el mismo. Se estructuran como las normas, en: libros, títulos, capítulos y artículos o cláusulas.

Existe una variada tipología de pliegos de condiciones, que se pueden agrupar según dos criterios: 1) Contenido o tipo de cláusulas que recogen, 2) Grado de concreción respecto del proyecto que se ejecuta

1. Por el contenido, se distinguen:

- Pliego de cláusulas económico-administrativas. En el caso de que una de las partes del contrato sea la administración pública se precisa de este pliego que regula las relaciones entre esta y el ejecutor del proyecto, desde el punto de vista contractual y económico. Lo redacta el órgano de contratación administrativa.

- Pliego de prescripciones técnicas. Recoge las condiciones o prescripciones de carácter técnico que se deben tener presentes en la ejecución del contrato. En ocasiones también incluyen unas cláusulas que regulan las relaciones entre la dirección de obra y el adjudicatario en cuyo caso se denomina pliego de prescripciones técnico-facultativas. Lo redacta el personal técnico.

2. Por el grado de concreción o referencia respecto del contrato concreto que se ejecuta, se distinguen:

- Pliego General. Describe condiciones de carácter general, tanto en lo relacionado con las cláusulas económico-administrativas, como en lo relativo a las prescripciones técnico-facultativas. En el caso de los aprovechamientos forestales, y en referencia a las prescripciones técnico-facultativas, describirá aspectos relacionados con la enajenación en general de los diferentes productos forestales, las actuaciones previas a la ejecución, el control del disfrute, el cumplimiento, la suspensión o prórroga del contrato y las responsabilidades y sanciones. La existencia del mismo NO es necesaria para la formalización del contrato. Es potestativo de la administración proceder a su elaboración.

- Pliego Especial. Describe condiciones de carácter general, tanto económico-administrativas como técnico-facultativas, en referencia a un tipo de contrato específico. En el ámbito técnico hacen referencia a un tipo de producto forestal concreto, por ejemplo: la madera, el corcho, los pastos, etc. En el ámbito económico-administrativo podían ser las relativas a la enajenación de los productos forestales. Por el respeto a la estructura jerárquica, lo indicado en el mismo debe ajustarse a lo indicado en el Pliego General, en caso de que este existiese. Como en el caso anterior, la existencia del mismo NO es necesaria para la realización del contrato de enajenación. Es potestativo de la administración proceder a su elaboración.

- Pliego Particular. Hace referencia a un contrato en concreto, es decir, que corresponde a un producto concreto, en un monte concreto. La redacción del mismo SI es necesaria para la realización de la enajenación del producto forestal de ese monte en concreto y su aprobación debe ser previa a la licitación. Con posterioridad a la licitación solo pueden ser modificados por “error material, de hecho o aritmético” y siempre conllevará la retroacción de las actuaciones (art.122 y 124 LCSP). Debido a la jerarquía existente, lo dispuesto en el Pliego particular debe respetar lo dispuesto en los Pliegos general y especial en el caso de que los hubiera. A la hora de redactar el Pliego particular habrá que tener muy en cuenta, por tanto, la existencia de los anteriores, tanto para no repetir y respetar lo consignado en ellos, como para hacer referencia a los aspectos a los que normalmente hacen referencia en el caso de que no existan.

Por tanto, el número máximo de pliegos que podría tener un contrato es la combinación de ambas clasificaciones, es decir, seis. El número mínimo serían dos. A la hora de nombrarlos, se puede establecer como criterio general hacer primero referencia al contenido y luego al grado de concreción; es decir, Pliego de Prescripciones Técnico-Facultativas Generales para regular la ejecución de los aprovechamientos forestales. Esta norma general, no obstante, se suele romper al referirse al pliego especial.

Ejercicio

1. **A la vista de las características de los diferentes tipos de Pliegos de Condiciones, indique el tipo de Pliego en el que deberían consignarse las cláusulas o prescripciones que se relacionan a continuación. Para la realización de esta clasificación agrupe las cláusulas según su contenido y luego según su grado de detalle. Para este último aspecto hay que tener presente si la cláusula puede aplicarse al conjunto de los productos forestales, a un solo tipo o depende del monte al que haga referencia.**

- La época de exclusión del disfrute
- Los tipos de actas que deben formalizarse en un aprovechamiento para controlar la ejecución del mismo, indicándose su significado, contenido, personas que deben firmarlas o la capacidad de impugnación de los aspectos que en la misma se tratan
- El plazo de garantía del aprovechamiento
- Las condiciones exigibles a los licitadores para presentar una oferta
- La condición de daño evitable o inevitable en la ejecución de un aprovechamiento forestal
- Personas competentes para la vigilancia y control del aprovechamiento
- Las actas que en concreto van a levantase para el control de la ejecución del aprovechamiento en el monte
- La superficie de monte circundante al aprovechamiento donde se valorarán los daños que se produzcan en el mismo
- Las condiciones exigibles para obtener la licencia de disfrute
- Uso de los caminos y pistas forestales existentes en el monte
- Las posibilidades de subcontratación de un aprovechamiento
- De los productos no extraídos del monte una vez finalizado el plazo de ejecución
- Las normas y pliegos que condicionan el aprovechamiento
- Los gastos que se originen consecuencia del proceso de licitación (tasas administrativas, costes de los anuncios, etc.)
- Garantías exigibles al aprovechamiento
- Suspensión o prórroga del aprovechamiento
- Modalidad de control de las unidades del aprovechamiento en el caso de que se realice con liquidación final

2. Pliego de Cláusulas Económico-Administrativas

Cuando en la contratación de un aprovechamiento forestal interviene una administración pública es preciso que antes de que se produzca la licitación del aprovechamiento se apruebe el Pliego de Cláusulas Económico-Administrativas Particulares que haga referencia al mismo. Así, el Estado, las CC.AA., las administraciones locales (Diputaciones provinciales y Ayuntamientos) y otros organismos públicos (Confederaciones Hidrográficas) que liciten aprovechamientos forestales en montes de su propiedad deberán disponer de estos Pliegos, que son redactados por cada uno de sus órganos de contratación. Las cláusulas de este tipo de contratos regulan la relación en términos económicos y administrativos entre la Administración y los licitadores

y adjudicatarios. La ley de Contratos del Sector Público (L.9/2017, de 8 de noviembre) refiere algunos de los criterios que pueden recogerse en los mismos:

- Criterios de solvencia y adjudicación del contrato.
- Las consideraciones sociales, laborales y ambientales que, como criterios de solvencia, de adjudicación o como condiciones especiales de ejecución, se establezcan.
- Los derechos y obligaciones de las partes del contrato.
- La previsión de cesión del contrato salvo en los casos en que la misma no sea posible.
- La obligación del adjudicatario de cumplir las condiciones salariales de los trabajadores conforme al Convenio Colectivo sectorial de aplicación.
- Las penalidades que se establezcan para los casos de incumplimiento o de cumplimiento defectuoso de la prestación.

Además de estos criterios, se pueden añadir otros que hagan relación al contenido del contrato, las normas que lo regulan en cuanto a la contratación, el plazo de ejecución o vigencia del contrato, el precio de licitación, la forma de pago, los gastos de contratación, el procedimiento de contratación, las garantías, la devolución de las garantías, la capacidad y solvencia para contratar, la presentación de las proposiciones, la apertura de las ofertas, la constitución del contrato, etc.

Las diferentes administraciones públicas pueden redactar Pliegos Generales de Condiciones Económico-Administrativas para la realización de este tipo de contratos. Un ejemplo de ello es la Comunidad Valenciana que aprobó la Orden 10/2015, de 28 abril, por la que se regulan los aprovechamientos forestales en la Comunitat Valenciana. En el anexo III de esta orden se incluye el *Pliego General de Condiciones Económico-Administrativas para la enajenación de los aprovechamientos forestales y la concesión del uso privativo de dominio público forestal para la explotación de instalaciones, en montes propiedad de la Generalitat*. Este Pliego se estructura en 5 capítulos y 14 artículos, con los siguientes contenidos:

- Capítulo I. Disposiciones de carácter general.
- Capítulo II. Enajenación de aprovechamientos forestales y del uso privativo de dominio público forestal para la explotación de instalaciones.
- Capítulo III. Prerrogativas de la administración y Jurisdicción.
- Capítulo IV. Particularidades en la adjudicación de la actividad cinegética.

- Capítulo V. Modelos de formularios normalizados para la presentación de la oferta económica, la declaración responsable de la capacidad del licitador en adjudicación de aprovechamientos o concesión de usos privativos forestales.

3. Pliego de Prescripciones Técnico-Facultativas

En una determinada Comunidad Autónoma, el contrato de un aprovechamiento forestal determinado en un monte concreto puede estar regulado por tres tipos de Pliegos de prescripciones técnico-facultativas que se complementan entre si, a saber: 1) Pliego General, 2) Pliego Especial relativo a un producto forestal y 3) Pliego Particular relativo a un contrato en concreto, que normalmente hace referencia a un monte y a un producto forestal.

3.1. Pliego de Prescripciones Técnico-Facultativas generales

Hacen referencia a los aspectos de carácter general que regulan la enajenación y ejecución de los aprovechamientos y disfrutes de los diferentes productos forestales (tabla 14.1). La mayoría de los Pliegos Generales, hasta la fecha aprobados, se han elaborado para los montes gestionados por las Comunidades Autónomas. Solo la Comunitat Valenciana ha elaborado un Pliego General para los montes de titularidad privada.

Por lo general, los pliegos que hacen referencia a los montes gestionados por la administración forestal se han inspirado en el Pliego General elaborado en 1975 por el Estado para los montes gestionados por el ICONA (Instituto Nacional para la Conservación de la Naturaleza). Atendiendo a la estructura de estos pliegos se puede esquematizar su contenido en los siguientes aspectos:

- Disposiciones de carácter general. Puede hacer referencia a las definiciones de lo que se entiende por aprovechamiento o disfrute, el objeto del pliego y su ámbito de aplicación, los agentes o las partes a los que obliga, el conjunto de normas o pliegos a los que también puede quedar condicionado, etc.

- Enajenación o venta del aprovechamiento o disfrute. Puede hacer referencia a la forma en que se determinarán los aprovechamientos, las condiciones para poder licitar a un aprovechamiento y obtener una licencia o las formas de adjudicación.

Tabla 14.1. Pliegos de Prescripciones Técnico-Facultativas Generales para regular la ejecución de los contratos de aprovechamiento forestal (ICONA: Instituto Nacional para la Conservación de la Naturaleza (ya desaparecido), UP: Montes de Utilidad Pública).

Ámbito territorial	Tipo de monte	Disposición	Estructura
Estado	Gestionados por el ICONA (Propios, UP, Consorcios)	R 24.4.1975, Pliego General de Condiciones Técnico-Facultativas para regular la ejecución de disfrutes en montes a cargo del ICONA	10 capítulos y 46 artículos. C.I: Introducción, C.II: Enajenaciones, C.III: Actuaciones previas a la ejecución de los disfrutes, C.IV: Determinación y control de los disfrutes, C.V: Ejecución de los disfrutes, C.VI: Inspección de los disfrutes, C.VII: De la policía de los disfrutes, C.VIII: Cumplimiento, suspensión, prórroga y denuncia del contrato para la ejecución de los disfrutes, C.IX: Responsabilidades y sanciones, C.X: Condiciones complementarias
Aragón	Gestionados por el departamento competente en materia de gestión forestal	Anuncio, 23.2.2012, sobre el Pliego General de Condiciones Técnico-Facultativas para regular la ejecución de aprovechamientos forestales en montes gestionados por el departamento competente en materia de gestión forestal	9 capítulos y 37 artículos. C.I: Introducción, C.II: Enajenaciones, C.III: Actuaciones previas a la ejecución de los aprovechamientos, C.IV: Determinación y control de los aprovechamientos, C.V: Ejecución de los aprovechamientos, C.VI: Inspección de los aprovechamientos, C.VII: Consideraciones de los aprovechamientos, C.VIII: Cumplimiento, suspensión, anulación, prórroga y denuncia del contrato para la ejecución de los aprovechamientos, C.IX: Responsabilidades y sanciones
Principado de Asturias	Gestionados por la Consejería de Desarrollo Rural y Recursos Naturales	Pliego General de Condiciones Técnico-Facultativas para regular la ejecución de disfrutes en montes a cargo de la Consejería de Desarrollo Rural y Recursos Naturales	7 capítulos y 28 artículos. C.I: Introducción, C.II: Determinación y control de los disfrutes, C.III: Ejecución de los disfrutes, C.IV: Inspección de los disfrutes, C.V: Policía de los disfrutes, C.VI: Observaciones de los preceptos no incluidos en este Pliego, C.VII: Condiciones complementarias
Castilla - La Mancha	Gestionados por la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha	O 2/11/2010, por la que se aprueba el Pliego General de Condiciones Técnico-Facultativas para la regulación de la ejecución de aprovechamientos en montes gestionados por la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha	36 artículos

Ámbito territorial	Tipo de monte	Disposición	Estructura
Comunitat Valenciana	Gestionados por la Generalitat	O 10/2015, de 28 abril, Pliego General de Condiciones Técnico-Facultativas para la enajenación de los aprovechamientos forestales y la concesión del uso privativo de dominio público forestal para la explotación de instalaciones, en montes gestionados por la Generalitat	14 capítulos y 75 artículos C.I: Disposiciones de carácter general, C.II: Enajenación de aprovechamientos forestales y del uso privativo de dominio público forestal para la explotación de instalaciones, C.III: Inspección y control, C.IV: Modificación, prórroga, suspensión temporal y cesión a terceros de la adjudicación de los aprovechamientos forestales y del uso privativo de dominio público forestal para la explotación de instalaciones, C.V: Prohibiciones en la ejecución y resolución de la adjudicación de los aprovechamientos forestales, C.VI: Régimen sancionador, C.VII: Normas técnicas de carácter general, C.VIII: Normas técnicas de carácter específico para el aprovechamiento de madera, C.IX: Normas técnicas de carácter específico para el aprovechamiento de corcho, C.X: Normas técnicas de carácter específico para el aprovechamiento de pastos, C.XI: Normas técnicas de carácter específico para el aprovechamiento de apícolas, C.XII: Normas técnicas de carácter específico para el aprovechamiento de frutos, micológico y de plantas aromáticas, medicinales y alimentarias, C.XIII: Normas técnicas de carácter específico para el aprovechamiento de resina, C.XIV: Normas técnicas de carácter específico para el aprovechamiento cinegético.
	Gestionados por la Generalitat y montes privados	D205/2020, de 11 de diciembre, del Consell, de regulación de los aprovechamientos forestales en montes privados y la enajenación de aprovechamientos forestales en montes gestionados por la Generalitat.	3 títulos, 6 capítulos, 57 artículos, 2 Anexos Título I: Disposiciones de carácter general; Título II: Condiciones generales para la autorización y ejecución de aprovechamientos forestales en montes o terrenos forestales de naturaleza privada de la Comunitat Valenciana gestionados por personas físicas o jurídicas de derecho privado; Título III: Condiciones generales para la enajenación de los aprovechamientos forestales en montes gestionados por la Generalitat, Anexo I: Condiciones técnicas de carácter general para la ejecución de los aprovechamientos forestales, anexo II: Condiciones técnicas específicas para la ejecución de los diversos aprovechamientos forestales
	Montes de titularidad privada	O.10/2015, de 28 abril, Condiciones Generales para la ejecución de aprovechamientos forestales en montes de titularidad privada	13 capítulos y 49 artículos C.I: Disposiciones de carácter general, C.II: Autorización de los aprovechamientos forestales, C.III: Inspección y control, C.IV: Régimen sancionador, C.V: Normas técnicas de carácter general, C.VI: Normas técnicas de carácter específico para el aprovechamiento de madera C.VII: Normas técnicas de carácter específico, para el aprovechamiento de corcho, C.VIII: Normas técnicas de carácter específico para el aprovechamiento de pastos, C.IX: Normas técnicas de carácter específico para el aprovechamiento apícola, C.X: Normas técnicas de carácter específico para el aprovechamiento de frutos, micológico y de plantas aromáticas, medicinales y alimentarias, C.XI: Normas técnicas de carácter específico para el aprovechamiento de resina, C.XII: Normas técnicas de carácter específico para el aprovechamiento cinegético, C.XIII: Modelo de formularios normalizados.

- Ejecución del aprovechamiento o disfrute. Puede hacer referencia a las condiciones necesarias para el inicio del aprovechamiento, el uso de las infraestructuras del monte o la creación de nuevas, las épocas de exclusión del disfrute, de la cesión del disfrute, de los productos no aprovechados o extraídos, del transporte de los productos, de las consecuencias de posibles siniestros de carácter biótico o abiótico que alteren las unidades o características del aprovechamiento o disfrute y a la forma en que se ejercerá el control del mismo.

- Cumplimiento, suspensión, prórroga y denuncia del contrato para la ejecución de los disfrutes.

- Responsabilidades y sanciones. Puede hacer referencia a los daños en el monte, su condición de evitables y no evitables, la superficie en la que se valorarán, la responsabilidad de los mismos y a quien corresponde su reparación, de los usos indebidos, del comienzo de la ejecución antes de la entrega, de los disfrutes indebidos, de las infracciones o incumplimientos previstos en el pliego, etc.

3.2. Pliego Especial de Prescripciones Técnico-Facultativas para los aprovechamientos madereros

Los pliegos especiales matizan el pliego general, al referirse exclusivamente a un tipo de producto forestal. Casi todas las CC.AA. que tienen redactado un pliego general han redactado su pliego especial para los aprovechamientos más relevantes (tabla 14.2). Una excepción a este comportamiento es la Comunitat Valenciana que, en el capítulo 8 de su pliego general, hace referencia a unas normas de carácter específico para el aprovechamiento de maderas.

Los pliegos especiales redactados por las CC.AA. de Aragón y Asturias hacen referencia a los aprovechamientos madereros que se realicen en los montes por ellas gestionados. No es así en el caso de la Junta de Castilla - La Mancha, donde el pliego es para los aprovechamientos maderables o leñosos en montes de propiedad privada y para los montes públicos patrimoniales y demaniales no gestionados por la Junta.

Al igual que en el pliego general, los pliegos especiales para los aprovechamientos madereros redactados por las CC.AA. siguen, en gran medida, la estructura desarrollada por el Pliego Especial redactado en 1975 para los montes gestionados por el ICONA. Su contenido se puede esquematizar y estructurar en los siguientes epígrafes:

- Condiciones generales. Puede hacer referencia al periodo de adjudicación del aprovechamiento, el plazo de ejecución, variación del aprovechamiento, la aceptación de las condiciones del pliego, etc.

- Condiciones facultativas. Puede hacer referencia a la forma de enajenación, modo de determinar los aprovechamientos, cosa cierta objeto de la enajenación, señalamiento, leñas de copas, entrega, control del aprovechamiento, contada en blanco, mediciones, extracción de los productos, restos de corta, reconocimiento final, devolución de las fianzas, plazo de

garantía, aprovechamientos extraordinarios, aprovechamientos plurianuales, árboles reservados para estudios, datos a incluir en los anuncios, etc.

- Condiciones técnicas. Puede hacer referencia a la clasificación primaria de los productos, de la corta y apeo, del desembosque, de la limpieza de la zona entregada, etc.

Tabla 14.2. Pliegos Especiales de Prescripciones Técnico-Facultativas para diferentes clases de aprovechamientos forestales.

Ámbito territorial	Producto forestal	Tipo de montes	Disposición	Estructura
Estado	Maderero	Gestionados por el ICONA (Propios, UP, Consorcios)	R 6.5.1975, Pliego Especial de Condiciones Técnico Facultativas para la regulación de los aprovechamientos maderables.	3 capítulos y 21 artículos C.I: Ámbito del Pliego, C.II: Condiciones facultativas, C.III: Condiciones técnicas.
Aragón	Maderero	Gestionados por el departamento competente en materia de gestión forestal	R 16.5.2013, Pliego Especial de Condiciones Técnico-Facultativas para la ejecución de aprovechamientos maderables en montes gestionados por el Departamento competente en materia de gestión forestal.	5 capítulos y 32 cláusulas C.I: Ámbito del Pliego, C.II: Condiciones generales, C.III: Condiciones facultativas, C.IV: Condiciones técnicas, C.V: Responsabilidad y sanciones.
	Maderas y leñas		R 16.10.2013, por la que se aprueba el Pliego Especial de Condiciones Técnico-Facultativas para la ejecución de aprovechamientos maderables y/o leñosos que se contemplen en el plan especial del instrumento de gestión forestal que se redacte al efecto en montes gestionados por el Departamento competente en materia de gestión forestal.	5 capítulos y 19 artículos C.I: Ámbito del Pliego, C.II: Condiciones generales, C.III: Condiciones facultativas, C.IV: Condiciones técnicas.
Principado de Asturias	Maderas	Gestionados por la Consejería de Desarrollo Rural y Recursos Naturales	Pliego Especial de Condiciones Técnico-Facultativas para la regulación de la ejecución de los aprovechamientos maderables en montes a cargo de la Consejería de Desarrollo Rural y Recursos Naturales.	3 capítulos y 19 artículos C.I: Ámbito, C.II: Condiciones facultativas, C.III: Condiciones técnicas.
Castilla - La Mancha	Maderas, leñas, biomasa	Propiedad privada y en los montes públicos patrimoniales y demaniales no gestionados por la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha	O 9.3.2011, Pliegos Especiales de Condiciones Técnico-Facultativas para aprovechamientos maderables y leñosos, incluida la biomasa forestal que se realicen en montes de propiedad privada, y en los montes públicos patrimoniales y montes demaniales no gestionados por la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha.	19 artículos

3.3. Pliego de Prescripciones Técnico-Facultativas particulares

Se elaboran para cada monte, o grupo de montes, a los que haga referencia el aprovechamiento maderero en concreto. En el caso de que el pliego particular se someta o no a lo dispuesto por un pliego general o especial variará su contenido.

- Hay pliego general y especial. El Pliego particular completará lo dispuesto en los anteriores con las condiciones técnico-facultativas concretas del aprovechamiento maderero en un monte determinado.

- No hay pliego general ni especial. A las cláusulas de contenido técnico-facultativas concretas del monte deberán incorporarse otras más generales de carácter administrativo, técnico, facultativo, etc.

Debido a la ausencia de una norma que indique los aspectos que debe regular el mismo, el contenido del pliego puede ser muy variado. Los pliegos especiales redactados por el ICONA y la Comunidad aragonesa recogen el contenido mínimo que debe tener el pliego particular. Basándonos en lo dispuesto en los mismos, se puede decir que la estructura del Pliego de Prescripciones Técnico-Facultativas particulares debe disponer una serie de prescripciones que hagan referencia al marco legal, a las características del monte y del aprovechamiento y a las prescripciones técnico-facultativas (tabla 14.3).

- Marco legal que regula el aprovechamiento**.** Debe hacer referencia a las normas y pliegos de condiciones que regulan el aprovechamiento y que son de obligado cumplimiento para el adjudicatario y/o contratista. En ocasiones, los Pliegos las citan explícitamente y, en otros casos, se hace referencia a que el adjudicatario debe respetar el actual marco legal vigente.

- Monte donde se realiza el aprovechamiento. Su objetivo es describir la situación del monte, su pertenencia, sus características especiales y la seguridad o no de sus límites. Por tanto, puede hacer referencia a: la denominación, propiedad, término municipal, provincia, su carácter (si es de Utilidad Pública, consorciado o conveniado, pertenece a algún espacio que cuenta con alguna declaración especial, etc.), la garantía de sus límites (deslindado, amojonado).

- Características del aprovechamiento. De forma resumida se presentarán las características generales del aprovechamiento, como: lote, localización del aprovechamiento, especies, tipo de corta, sistema de aprovechamiento, cosa cierta, unidad comercial, número de unidades, señalamiento, precio unitario, precio índice, forma de adjudicación, forma de liquidación, plazo de ejecución, época de disfrute, fianzas, pago de los anuncios, tasas, etc. En este apartado se puede adjuntar un croquis o un mapa que recoja con precisión la localización del monte y del aprovechamiento.

- Prescripciones técnicas del aprovechamiento. Puede hacer referencia a las características del apeo y procesado, el diámetro en punta delgada hasta el que debe aprovecharse el fuste, las características del desembosque, los plazos para la saca de la madera del monte, la

clasificación de productos y sus características, el tratamiento de los restos de corta, el uso de las infraestructuras del monte, los criterios para la realización de nuevas infraestructuras, los criterios para la ubicación de los cargaderos, etc.

Tabla 14.3. Prescripciones que pueden recogerse en el Pliego de Prescripciones Técnico-Facultativas particulares o pueden aparecer en los pliegos general o especial en el caso de que existan. En el caso de estos dos últimos se indica al tipo de pliego más lógico al que podría corresponder la condición o prescripción aunque podría referirse en cualquiera de los dos (PG: Pliego general, PE: Pliego especial, PP: Pliego particular).

Tipo de prescripciones	Contenido	Tipo de Pliego	Tipo prescripciones	Contenido	Pliegos generales o especiales
Legales	Marco legal	PG-PE	**Técnicas**	Apeo y procesado	PP
Características del monte	Denominación	PP		Diámetro en punta delgada	PP
	Número	PP		Altura del tocón	PP
	Propiedad	PP		Tratamiento restos de corta	PP
	Término municipal	PP		Desembosque	PP
	Límites	PP		Clasificación productos	PP
	Servidumbres	PP		Calles de desembosque y pistas	PP
	Accesos	PP		Limitaciones sobre cursos de agua, etc.	PG-PE
Características del aprovechamiento	Número de lote	PP		Cargaderos ubicación	PP
	Localización	PP		Pilas de madera	PP
	Tipo de corta	PP		Permanencia madera monte	PP
	Motivo del aprovechamiento	PP	**Facultativas**	Licencia de disfrute	PG
	Sistema de aprovechamiento	PE		Entrega del aprovechamiento	PG
	Especies	PP		Forma de control	PG
	Cosa cierta	PG-PE		Reconocimiento final	PG
	Unidad comercial	PG-PE		Liquidación aprovechamiento	PG
	Número de unidades	PP		Incumplimientos y sanciones	PG
	Delimitación cosa cierta	PG-PE		Limpieza del área	PG
	Precio unitario	PP		Productos no extraídos	PG
	Precio índice	PP		Productos extraídos fraudulentamente	PG
	Tasación base	PP		Daños evitables e inevitables	PG
	Forma de adjudicación	PG		Fianza provisional	PG
	Forma de liquidación	PE		Fianza definitiva	PG
	Medición de los productos	PE		Pago anuncios	PG
	Plazo de ejecución	PG		Tasas	PG
	Época de disfrute	PP		Plazo de garantía	PG
				Devolución fianzas	PG
				Responsabilidad en seguridad y salud laboral	PG

- Prescripciones facultativas del aprovechamiento. Las condiciones para la obtención de la licencia, la entrega y las formas de control del aprovechamiento, las liquidaciones parciales, el plazo de garantía, la devolución de las fianzas, las distintas restricciones a las que está sujeto el aprovechamiento, los daños en el monte, su condición de evitables y no evitables (es decir, debidos a una negligencia en la realización de las operaciones), la superficie en la que se valorarán, la responsabilidad de los mismos y a quien corresponde su reparación, de los usos indebidos, del comienzo de la ejecución antes de la entrega, de la suspensión, prórroga y denuncia del contrato y a las circunstancias que pueden ser motivo de sanciones.

A la hora de redactar el pliego se deben tener en cuenta unas recomendaciones de carácter general: 1) Sea sintético; 2) Evite duplicidades y repeticiones con otros pliegos que regulan el aprovechamiento; 3) Tenga estructura, de manera que se puedan localizar las prescripciones rápidamente; 4) Sea ordenado; 5) Redacción sencilla y sintética de las prescripciones o condiciones.

En el caso de que exista un pliego general y otro especial de prescripciones técnico-facultativas habrá que tener en cuenta las cláusulas recogidas en los mismos. En este sentido, en las CC.AA. que no tengan un pliego general o especial para el aprovechamiento maderero puede ser de interés acogerse al pliego general o especial redactado por el Estado en 1975, para así evitar repetir algunas de las cláusulas o condiciones recogidas en ellos que pudieran ser de interés. En la tabla 14.4 se recogen las condiciones o prescripciones que podían ser de más interés y que están recogidas en estos Pliegos, refiriéndolas para cada grupo de prescripciones del pliego particular de prescripciones técnico-facultativas.

Tabla 14.4. Condiciones de posible interés recogidas en el pliego general y especial del Estado para los montes a cargo del ICONA (1975) que podrían complementar las del Pliego de Prescripciones Técnico-Facultativas particulares. Entre paréntesis se refiere el número de la prescripción de los citados Pliegos.

Tipo de condiciones del Pliego de Prescripciones Técnico-facultativas **particulares**	**Condiciones complementarias de interés recogidas en el Pliego general y especial del Estado para montes a cargo del ICONA (1975)**	
	Pliego general	**Pliego especial**
Legales	Aceptación del Pliego (3)	
Datos del monte	Ninguna	
Características del aprovechamiento	Contratación disfrutes (4), Determinación de los disfrutes (8)	
Condiciones técnicas del aprovechamiento	Operaciones inherentes (14), Obras auxiliares (15), Saca y transporte de los productos (16), Prohibiciones expresas (17), Productos no aprovechados o extraídos (18)	De la corta y el apeo (19), Desembosque (20), De la limpieza de la zona entregada (21)

Tipo de condiciones del Pliego de Prescripciones Técnico-facultativas particulares	Condiciones complementarias de interés recogidas en el Pliego general y especial del Estado para montes a cargo del ICONA (1975)	
	Pliego general	Pliego especial
Facultativas	Entrega de la zona (9), Operaciones para el control de los disfrutes (11), De las citaciones (11), De las actas (12), De los daños (13), Venta o subarriendo del disfrute (19), Competencia inspección disfrute (20), Obligaciones del adjudicatario (22), Sustitución de vigilantes u operarios (23), Trabajos nocturnos o en días festivos (24), Daños ocasionados zona de disfrute (28), Alteraciones contrato (29), Cesión contrato (30), Prórroga (31), Suspensión (32), Preceptos no contenidos en el Pliego (33), Sanciones no satisfechas (34), Penalidades por retraso obtener licencia (35), Daños y perjuicios en la ejecución de los disfrutes (36), Uso indebido vías de saca (37), Comienzo disfrute antes de la entrega (38), Disfrutes indebidos (39), Productos no extraídos al finalizar plazo ejecución (41), Estado en el que deben quedar superficies objeto disfrute al finalizar (42), Resistencia a las inspecciones (44), Infracciones o incumplimientos no previstos en el pliego (45)	Contada en blanco (árboles cortados fraudulentamente) (10), Mediciones (árboles cortados fraudulentamente) (11), Aprovechamientos extraordinarios (15)

¿Está bien redactado el Pliego de Prescripciones Técnico-Facultativas particulares?

Un listado de control (checklist) para su redacción.

1. En referencia al marco legal

a. ¿Se han definido las normas y documentos que regulan y condicionan el ejercicio del aprovechamiento en el monte?
b. ¿Se han referido los Pliegos Generales o Especiales a los que se somete el Pliego Particular?
c. ¿Se ha hecho referencia a que el adjudicatario debe obtener todos los permisos que sean necesarios para la ejecución del aprovechamiento?

2. En referencia a las características del monte

a. ¿Se ha definido la localización del monte, su pertenencia, las calificaciones especiales que pueda tener y la seguridad de sus límites?
b. ¿Se han descrito las servidumbres del monte?
c. ¿Se describen las formas de acceso al monte, la titularidad de las vías y las características limitantes de estas?

3. En referencia a las características del aprovechamiento

a. ¿Se ha definido con precisión la localización del aprovechamiento?
b. ¿Se ha definido la cosa cierta objeto del aprovechamiento?, ¿Está delimitada?, en su defecto, ¿Están definidos los criterios para su delimitación?
c. ¿Se ha definido la unidad comercial en la que se expresa el aprovechamiento?
d. ¿Se ha definido el número de unidades objeto del aprovechamiento?
e. ¿Se han definido las especies objeto del aprovechamiento?
f. ¿Se ha definido la forma de adjudicación?
g. ¿Se ha definido la forma de liquidación?
h. ¿En el caso de que sea con liquidación final, se ha definido dónde y cómo se va realizar la medición final de los productos?
i. ¿Se ha definido la unidad en la que se va a realizar la medición final de los productos?, si la unidad fuera distinta a la que se realizado la adjudicación, ¿se han definido los factores de conversión o los criterios para determinarlos?
j. ¿Se han definido los plazos de ejecución y periodos de exclusión del disfrute?
k. ¿Se ha definido el precio de tasación, base o licitación? ¿y el precio índice?
l. ¿Se han definido las tasas administrativas que deben ser abonadas?, ¿y el valor del IVA?

4. En referencia a las prescripciones técnicas del aprovechamiento

a. ¿Se han descrito las características del apeo y del procesado del fuste?
b. ¿Se ha definido el diámetro en punta delgada?
c. ¿Se ha definido la altura del tocón?
d. ¿Se han definido la necesidad de clasificación de los productos y los criterios para hacerlo?
e. ¿Se ha definido la necesidad de la reunión y apilado y las características técnicas de las pilas y el lugar donde se deben ubicar?
f. ¿Se han definido las características del desembosque?, ¿se han definido los plazos para la saca de la madera del monte?
g. ¿Se ha definido el tratamiento que se debe dar a los residuos de la corta y procesado?
h. ¿Se han definido los criterios de uso de las infraestructuras generales del monte?
i. ¿Se han definido los criterios para la apertura y trazado de las infraestructuras necesarias para el desembosque?
j. ¿Se han definido las limitaciones para el desembosque o cargaderos en relación a puntos de interés singular (cursos de agua, rutas de senderismo, etc.)?
k. ¿Se han ubicado los cargaderos? ¿Se ha definido si dicha ubicación precisa de autorización previa de terceros?, en el caso de que no lo estuvieran, ¿se han definido los criterios para su ubicación?

5. En referencia a las prescripciones facultativas del aprovechamiento

a. ¿Se ha definido cual son los criterios para obtener la licencia de corta y/o disfrute?
b. ¿Se ha definido si hay entrega del aprovechamiento?

c. ¿Se han definido los criterios y procedimientos que se van a implantar para el control de la ejecución de los aprovechamientos?
d. ¿Se ha definido lo que se consideran daños evitables o inevitables en el monte?, y en el caso de que se hayan producido, ¿se ha definido quien es el responsable y cómo deben ser reparados?
e. ¿Se ha definido la fianza provisional?, ¿y su importe?, ¿y las condiciones de devolución?
f. ¿Se ha definido el importe de la fianza definitiva y los plazos y condiciones para su devolución?
g. ¿Se han definido los criterios para la suspensión, prórroga cesión y denuncia del contrato?
h. ¿Se han definido las sanciones por incumplimiento de los aspectos contemplados en el pliego?
i. ¿Se ha definido quien es el responsable del pago de los anuncios?
j. ¿Se ha definido la responsabilidad en materia de seguridad y salud laboral?

4. Bibliografía

Pellicer E (2006) El proyecto de construcción: pliego de prescripciones técnicas particulares. En: Martínez G, Pellicer E (eds) Organización y gestión Proyectos y obras. Mc Graw Hill, Madrid, pp 268–292.

Capítulo 15
La estimación del precio de la madera en pie

Jesús Pemán García

1. Introducción

La forma de enajenación o venta de los aprovechamientos debe recogerse en los Pliegos de Prescripciones Técnico-Facultativas. Aunque las fórmulas pueden ser muy variadas, normalmente se realizan:

- En pie, antes de la corta.
- En cargadero, después de la corta, procesado, saca y clasificación de los productos.
- En la industria, después de la corta, procesado, saca y transporte.

La venta en pie, que es la más frecuente, exige la determinación de su precio unitario, que servirá de base para fijar el precio de tasación para la venta. Los factores que, *a priori*, influyen en la determinación del valor en pie son:

- La especie. El tipo de especie, conjuntamente con las características de la masa, determinan el tipo de producto maderero que se puede obtener (ver capítulo 2) y, por tanto, la industria de destino.
- Las características de la masa. Determinarán los tipos de productos que se pueden obtener y, por tanto, la industria de destino.
- Las características del monte. Determinarán los costes de realización del aprovechamiento, conjuntamente con el factor anterior. Las características que más influyen en este sentido son la pendiente y la red de infraestructuras que exista en el monte.

El precio de la madera en pie es el más bajo de toda la cadena de producción, muy similar al que recibe el productor agrícola frente al precio final de comercialización. En el caso de la madera, este diferencial puede ser todavía más elevado, por el mayor grado de transformación de algunos de sus productos. Esto ha llevado a plantear al propietario forestal la posibilidad de realizar la venta en el cargadero o en la industria, con la finalidad de conseguir un valor añadido a su producto.

Valoración de la madera en pie. Una alternativa para el manejo adecuado de los recursos forestales

Devia C (2003) Valoración de la madera en pie. Una alternativa para el manejo adecuado de los recursos forestales. XII Congreso Forestal Mundial.

La madera en pie representa un valor económico cercano a cero y en algunos casos negativo, esta afirmación está basada en el mínimo monto que se paga por concesiones forestales y en el valor de la madera para los agentes comercializadores; tan solo la agregación de costos que sobre esta se hace le imprime importancia comercial. El poco o inexistente valor, se ha constituido en una preocupación a diferentes niveles: para los encargados de administrar el recurso forestal, quienes tienen que administrar un recurso que no vale y que al ocupar un espacio físico con potencialmente otros usos, simplemente estorba; para los dueños de fincas con bosques pues a pesar que estas áreas son "valiosas", no valen; y para los reforestadores, pues se embarcan en producir algo que "no vale" - madera- siendo la única ventaja del producto de sus plantaciones, los menores costos de extracción y movilización.

En el ámbito forestal, los bosques cumplen una función importante en la economía y en la sociedad en general, basados en los innumerables beneficios que pueden aportar. Sin embargo, estos beneficios no se incorporan directamente del bosque, siendo necesario recurrir a otros mecanismos para favorecer los procesos de conservación y/o reposición del bosque; no son suficientemente adecuados lo cual se evidencia en las altas tasas de deforestación y en la poca reforestación efectiva que se adelanta. Diversas tipologías de valor económico forestal, basadas en Pearce (1990) definen pautas para la valoración; pero generalmente, estos valores, bajo contadas excepciones, difícilmente ingresan en las cuentas del sector forestal y más lejano aún de los dueños, propietarios o tenedores del bosque.

2. Cadena comercial y estructura de costos

El precio de la madera en el primer punto de comercialización solo incluye los costos de extracción; a partir de aquí el valor se incrementa a medida que se agregan costos; aplica tanto para la madera obtenida de bosques naturales como de plantaciones; a pesar que en estas últimas se pretenda incluir el costo de producción, solo es posible hacerlo cuando los costos de extracción son menores que los de la madera del bosque nativo.

Así mismo, el valor de venta de la madera extraída de bosques nativos no incorpora la totalidad de los costos de extracción determinando "subsidios en la extracción". En el caso del Valle del río Cimitarra, en las maderas catalogadas como ordinarias y regulares, el valor de venta alcanza únicamente entre el 41% y el 82% del costo de extracción; para el caso de valiosas y muy valiosas, los valores de venta están entre el 106% y 142%. Esta situación es una de las causas del deficiente proceso de reforestación que se adelanta, además va en detrimento del "patrimonio" de plantaciones forestales, de áreas boscosas naturales y de manera directa del recurso forestal del país. El valor final de los productos elaborados incluye, además de los costos de extracción y transformación los sobreprecios por un gran número de intermediarios y pérdidas en que se incurre durante todo el proceso, ocasionadas por desconocimiento tecnológico y desinformación.

3. Definición del valor de la madera en pie

3.1. Aspectos generales

Desde una perspectiva simple que excluye demás bienes y servicios del bosque, se tienen tres caminos para la valoración de la madera: 1) el cálculo de los costos en que se incurre para su reposición, 2) el costo de oportunidad de uso del área boscosa, y 3) el costo de oportunidad del uso de los recursos económicos para realizar la reposición.

2. Métodos de estimación

La fijación del valor en pie de la madera se puede realizar, por similitud con los métodos generales de valoración agraria, mediante varios métodos: 1) Método sintético o comparativo y 2) Método analítico.

2.1. Método sintético

Se basa en el conocimiento de un gran número de datos obtenidos del estudio de los procesos de compra-venta de la madera. Exige el conocimiento de los precios de tasación y adjudicación, de la especie, del área geográfica, de sus características dimensionales y de conformación de los productos, de su destino industrial, etc. A partir de estos datos, se utilizan modelos comparativos que permiten deducir el valor del aprovechamiento a partir de la comparación con otros conocidos y que han resultado vendidos. Es el procedimiento normalmente utilizado en la venta de los aprovechamientos en los montes públicos. Presenta importantes limitaciones si no se analiza suficientemente cada aprovechamiento, sobre todo las características del monte y el destino de los productos. Conjuntamente a estas limitaciones están las de carácter temporal, al no poder recoger las variaciones de un mercado sometido a profundas fluctuaciones (Tolosana y Albizu 2007). Asimismo, hay que tener en cuenta que para comparar los precios pagados en años diferentes al momento presente hay que aplicar un tipo de descuento a la vez que corregirlos según la tasa de inflación o deflación sufrida.

Así, el valor actual (año **n**) de un valor en el año **i** sería:

$$V_{\text{año n}} = V_{\text{año i}}\,(1+d_{\text{año i}})(1+ i_{\text{año i}})(1+d_{\text{año i+1}})(1+ i_{\text{año i+1}})\ldots(1+d_{\text{año n-1}})(1+ i_{\text{año n-1}})$$

siendo, d: tasa de descuento, e i: tasa de inflación - deflación.

Aunós (2019) utiliza el método comparativo o sintético para ajustar el precio de la madera de *Abies alba* con destino de sierra a partir de los precios de adjudicación de los lotes de madera vendidos desde el año 2013 a 2017. Para normalizar los precios de adjudicación de los diferentes lotes utiliza diferentes costes, como son: 1) Distancia por transporte con camión de carretera desde cargadero a un punto común (Vielha), 2) Coste distancia con camión de

monte desde el cargadero a pie de pista hasta el cargadero a pie de carretera, 3) Coste de construcción de pistas que han sido necesarias en los diferentes lotes, 4) Distancia media de desembosque con *skidder* (tabla 15.1 y figura 15.1).

Tabla 15.1. Normalización de los precios de diferentes lotes de madera para sierra de *Abies alba* subastados desde el año 2013 a partir de la estimación de unos costes complementarios (Aunós 2019).

Año	Precio unitario adjudicación (€ m^{-3})	Coste distancia transporte monte a punto común (€ m^{-3})	Coste distancia saca camión monte (€ m^{-3})	Coste construcción vías desembosque (€ m^{-3})	Coste distancia desembosque (€ m^{-3})	Precio unitario normalizado (€ m^{-3})
2013	15	3	0,5	0,34		18,84
2013	14	1,6	0,5	3,14	3	22,24
2014	17,8	0,6	3,5	3,19	3	28,09
2015	19	0,2	1,75	1,81		22,76
2016	18	0,2				18,2
2016	15,3	3	1,5	1,7		21,5
2017	18,4	0,2		2,26	3	23,86
2017	20,2	0,6	2,5		3	26,3

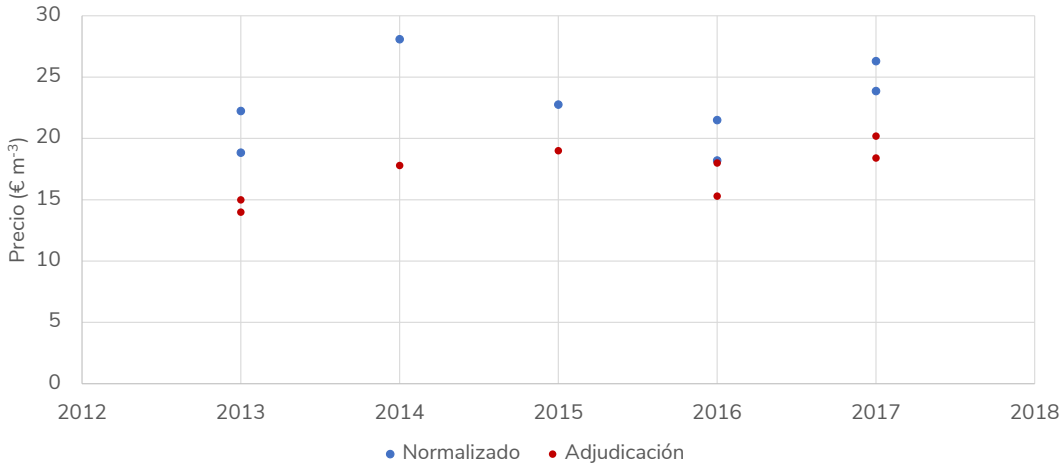


Figura 15.1. Variación de los precios de adjudicación y normalizados de los lotes de madera para sierra de *Abies alba* subastados desde el año 2013 (Aunós 2019).

Una información de gran interés la proporciona el análisis de las subastas, tanto de su precio de licitación como de adjudicación. El análisis del resultado de las subastas realizadas en áreas próximas es clave para la utilización de este método (tabla 15.2).

Los valores medios alcanzados en diferentes provincias de las licitaciones realizadas durante 2016 muestran una gran variabilidad (tabla 15.3).

Tabla 15.2. Precios de madera en pie de las principales especies forestales pendientes de licitación en el primer trimestre de 2016 (fuente: www.maderea.es).

Especie	Provincia	Volumen (m^3)	Peso (t)	Número de pies	Precio tasación (€)	Precio unitario (€ m^{-3})
Pinus sylvestris	Ávila	655			32 750	50,00
		4 071			65 135	16,00
	Cantabria	250			2 000	8,00
	Rioja	6 304			145 877	23,14
		2 270			13 620	6,00
		5 337			86 988	16,30
	Segovia	4 083,8			110 978	27,18
		4 005			51 499,65	12,86
		4 005			50 072,59	12,50
	Soria	1 138			23 884	20,99
		1 660			45 935	27,67
		4 649			96 830	20,83
	Teruel	129,38			3 557,95	27,50
Populus x euramericana	Rioja			1 961	113 175	57,71
				541	29 450	54,44
	Segovia	1 414,1			51 261,13	36,25
		1 188			47 520	40,00
	Soria	1 210			50 510	41,74
	Valladolid	135 894			6 640 441	48,86
	Zamora	1 215			70 470	58,00
		736			20 000	27,17
Pinus pinaster	Ávila	600			11 250	18,75
		6 023,59			114 978	19,09
		845			10 140	12,00
	Burgos		550		11 000	20,00
	Soria	5 480			128 740	23,49
	Valladolid	655,67			7 274,63	11,09
Pinus nigra	Navarra	860			6 022,55	7,00
	Cuenca	520			12 480	24,00
Pinus radiata	Asturias	342,3			9 822	28,69
	Navarra	3 363			92 278,84	27,44
Fagus sylvatica	Álava			1 670	26 443,85	15,83
	Navarra	385			25 250	65,58
		947,26			19 488,91	20,57
Eucalyptus globulus	Asturias	1 099			48 759	44,37
	Cantabria	10 433			43 385	4,16
		4 715			132 020	28,00
		619			12 380	20,00

Especie	Provincia	Volumen (m^3)	Peso (t)	Número de pies	Precio tasación (€)	Precio unitario (€ m^{-3})
Pinus spp	Valencia			4 000	22 000	5,50
			3667		18 335	5,00
Castanea sativa	Salamanca	1 497,5			52 430	35,01

Tabla 15.3. Precios medios de la madera en pie (subastas celebradas durante el primer semestre de 2016) (fuente: www.maderea.es).

Especie	Provincia	Precio adjudicación (€ m^{-3})	Precio adjudicación (€ t^{-1})	Precio adjudicación (€ estéreo^{-1})
Pinus sylvestris	Burgos	18,22	28,05	5,06
	Segovia	17,01	12,12	
	Cantabria	14		
	Teruel	33,6	25	
Pinus pinaster	Burgos	10,05	15,14	18,08
Pinus radiata	Burgos			5,5
	Cantabria	23,7		
Pinus nigra	Burgos	10		
	Teruel	28,7	14	
Fagus sylvatica	Burgos			9,97
Qercus ilex	Burgos		13,26	
Quercus pyrenaica	Burgos			6
Eucalyptus globulus	Cantabria	25		23
Populus x euramericana	Segovia	40		

2.2. Método analítico

Se basa en la valoración de cada uno de los factores que influyen en la conformación del precio. A partir del precio que determina la industria (tabla 15.4) y conocidos los costes de extracción del producto, se puede determinar el precio de la madera en pie. A partir de este enfoque, se pueden calcular los precios de la madera en pie, cargadero o en la industria:

- Precio de la madera en pie = Precio de la madera en fábrica - Coste apeo y procesado - Coste saca - Coste transporte.

- Precio de la madera en cargadero = Precio de la madera en fábrica - Coste transporte.

Estudiando su evolución en el tiempo, también se puede determinar el grado de variabilidad de dicho precio (figura 15.2).

Tabla 15.4. Precios de la lonja de Vic (2016) (Precios en la industria a excepción del chopo que es en camión y la acacia que es en cargadero) (Fuente: http://www.llotjadevic.org/redaccio/arxius/imatges-butlleti/Mercat%20nº%2051%20_%2020161015(1).pdf)

	Unidad comercial	Diámetro (cm)	Precio (€ unidad comercial^{-1})
Populus x euramericana, chapa desenrollo (primeras)	m^3	> 20	59 / 65
Populus x euramericana, chapa desenrollo (segundas)	m^3	> 20	49 / 54
Pseudotsuga menziesii	t	> 14	57 / 60
	t	> 30	75 / 90
Pinus pinea	t	> 18	39 / 42
Pinus pinaster	t	> 18	46 / 51
Pinus radiata	t	> 14	48 / 53
	t	> 18	53 / 65
Pinus halepensis	t	> 16	41 / 43
Pinus nigra	t	> 14	44 / 49
Pinus sylvestris	t	> 14	48 / 53
Pinus uncinata	t	> 16	49 / 54
Platanus spp.	t	> 25	48 / 54
Fraxinus spp.	t	> 20	80 / 90
	t	> 30	91 / 125
Alnus glutinosa	t	> 25	54/ 57
Acacia spp.	t	8 / 23	60 / 66
	t	> 23	60 / 65
Acer spp.	t	18 / 20	57 / 81
Castanea sativa	t	> 16	54 / 72
	t	estacas	36 / 39
Fagus sylvatica	t	> 20	66 / 72
	t	> 35	89 / 100
Quercus robur	t	> 25	72 / 90
Quercus petraea	t	> 23	51 / 60
Quercus ilex (leña)	t		60 / 69
Roble (leña)	t		45 / 50
Haya (leña)	t		39 / 45

En Cataluña, los precios que se están pagando por la madera en rollo en fábrica, según el tipo de producto, se recogen en la tabla 15.5.

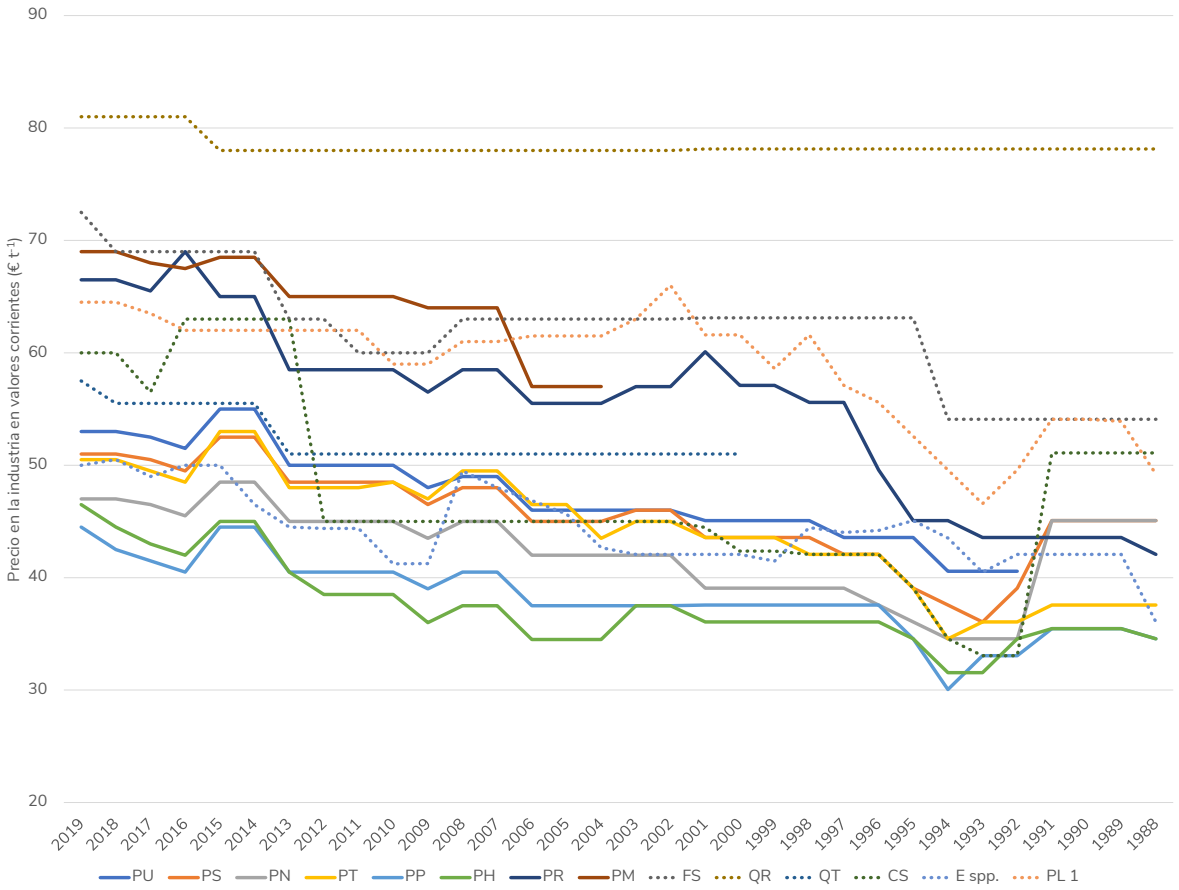


Figura 15.2. Evolución en el tiempo del precio pagado por la industria, en valores corrientes, según la Lonja de Vic. El precio de la madera de chopo, a diferencia del resto, se expresa en € m^{-3}. PU: *Pinus uncinata*; PS: *P. sylvestris*; PN: *P. nigra*; PT: *P. pinaster*; PP: *P. pinea*; PH: *P. halepensis*; PR: *P. radiata*; PM: *Pseudotsuga menziesii*; FS: *Fagus sylvatica*; QR: *Quercus robur*; QT: *Q. petraea*; CS: *Castanea sativa*; E. spp.: *Eucalyptus* spp.; PL 1: *Populus* x *euramericana* 1ª calidad.

Tabla 15.5. Precios de la industria en Cataluña en 2016 (Febrero 2016).

Empresa	Precio (€ t^{-1})	Tipo de madera	Producto
BOIX (Puig-Reig)	54	Madera larga de 8 cm en punta delgada y de 20 a 25 cm en coz	Embalaje (palets, cajerío, etc.)
MACUSA (Gironella)	56	Trozas de 2,58, 3,08, 3,58 y 4,08 m de longitud con 30 cm en punta delgada	Madera construcción, cerramientos, paneles, traviesas, etc.)
	54	Trozas de 2,08 y 2,48 m de longitud con 14 cm en punta delgada	
INDUFOREST (Sant Marti de Torruella) IMSA (Gironella)	54	Madera larga > 5 m de longitud con 8 cm en punta delgada y < 20 cm en coz	Puntales
	63 a 66	Madera larga de 8,1 a 10,10 m de longitud de 12 cm en punta delgada y entre 20 y 24 cm en coz sin corteza	Postes

Para determinar los elementos que conforman el precio final de madera es necesario visualizar el proceso y las operaciones que intervienen en su formación (figura 15.3).

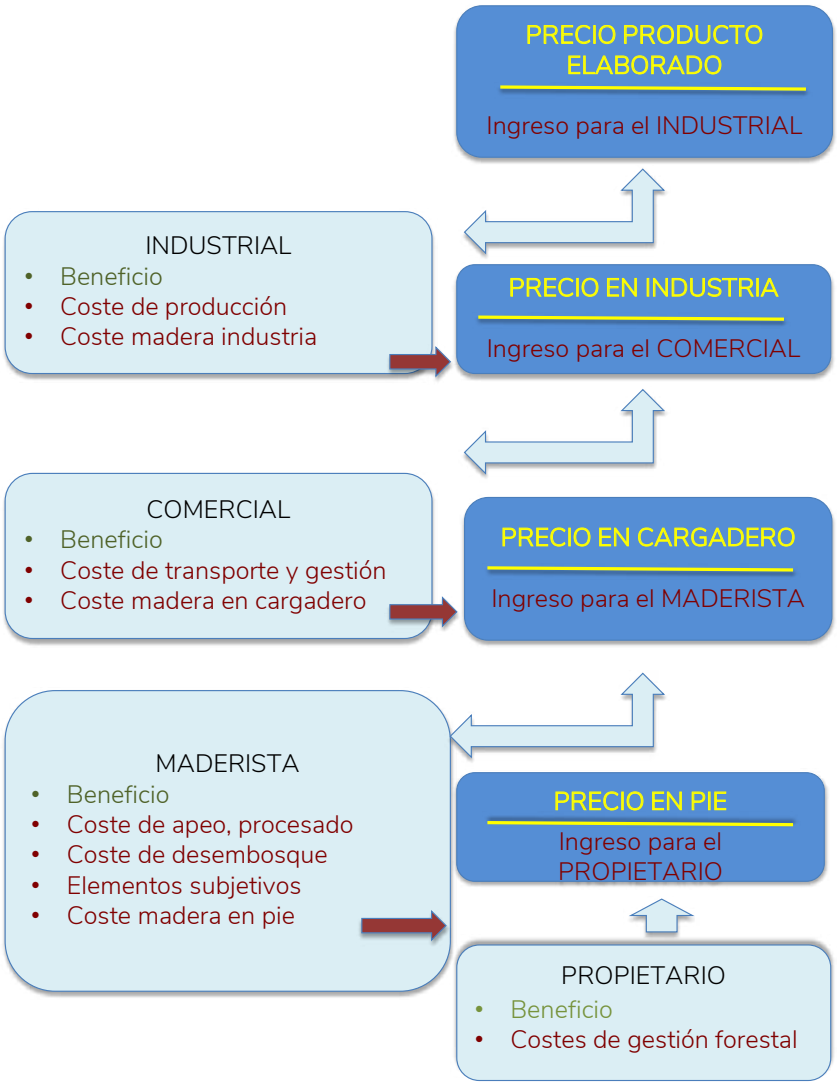


Figura 15.3. Formación del precio de la madera desde su origen a su destino industrial. Adaptado de Grege-Stalmane (2011).

A partir del precio en destino (Capítulo 2), es decir, del precio pagado por la industria para la compra de la madera en rollo, se determinan el resto de los precios, descontando los diferentes costes de explotación:

1. Costes de apeo, procesado y saca.

2. Costes de transporte.

Standing timber prices and factors which affect them

Grege-Stalmane E (2011) Standing timber prices and factors which affect them. IUFRO**.**

According to economic theory the price is expressed in the amount of money for a certain good which exists as an appraisal between the prospective buyer and the present owner of the good. The market price originates where there is active bargain with this good and it forms of numerous transactions. So the value of the stumpage in the forest for its owner grants the future manufacturer, respectively, the stumpage derives their value from retail and wholesale sawnwood prices. The prices of sawnwood and other forest products fluctuate mainly due to supply and demand. Intensive roundwood supplies usually lead to a reduction in prices of timber, lower cost for timber manufacturers and higher demand for forest products. Conversely, if there is a huge demand (growing human population) and it is not possible to provide it (the forest areas have decreased), then the price of timber is rising. Consequently, the market price for sawnwood is the basis of value for stumpage.

The value of stumpage is derived from profit and costs of harvester, roundwood buyer and manufacturer. This is a complete scheme, but there could be other variations when there is no stage with roundwood buyer and forest harvester does transportation by himself, and it may also be that the forest owner does all operations up to the sawmill by himself. If the price at the manufacturer is known, it is possible to calculate the stumpage price.

The price of stumpage is derived directly from the final product into which it is manufactured in the end. Usually the roundwood is sold to the manufacturer who can pay the most for the certain timber assortment. But for all that the price of stumpage does not change so rapidly than the sawnwood prices. This is due to the fact that manufactured production should be sold for the company to obtain a turnover and final goods would not get accumulated in warehouses, therefore it allows more frequent price fluctuations. While the trees in the forest can remain much longer and wait for positive market conditions in order to maximize revenues from sales. Thus, forestry has a greater flexibility. So in the timber price forecasts determination the resources, manufacturer and the market characteristic should be taken into account. The analysis should be begun with resource availability (distance to the sawmill, ease of harvesting) and substitution of timber by other materials. It should be continued with the number of manufacturers and their processing capacity in the country and the existence of monopolies. As well as the main export markets and figures of domestic consumption should be analyzed which are directly related to the volume of construction, energy consumption and green thinking.

Seller and purchaser opinion on the price may be affected by economic reasons (unemployment, purchasing ability of residents, interest rates, etc.). It is possible that in the periods of crisis sawnwood is frequently sold for less than its costs were. Accordingly the economic climate may be regulated by political decisions (tax incentives, subsidies, export promotion, etc.). For the last 100 years real timber prices have risen by 2 percent per year according to timber manager Timbervest. However timber price trends at the global level were significantly affected by the economic crisis in the world's timber markets in 2008, despite of the importance of timber in climate change mitigation, and as an alternative to fossil fuels. Prices for timber have fallen since this time. According to the Global Conifer Sawlog Price Index roundwood prices have fallen sharply, for example, for softwood sawlogs by 26%. The wood and paper industries have closed many of the mills because of reduced demand and have started to seek for alternative markets. Forest owners in their turn have reduced harvest volumes...

2.2.1. Costes de apeo, procesado y saca

Para la determinación de los costes de apeo, procesado y saca se pueden utilizar los datos directos de que se disponga de aprovechamientos en montes de condiciones selvícolas y fisiográficas similares, recurriendo al empleo de otras fuentes de información en el caso de que no se dispongan. Estas fuentes pueden ser: 1) Rendimientos directos, 2) Modelos de rendimiento y tiempos, 3) Modelos de costes y 4) Tarifas.

Merecen especial atención las tarifas aprobadas por la Mancomunidad de Municipios del Berguedá para la biomasa en donde se reflejan los precios pagados por las diferentes operaciones según sean los productos obtenidos (tabla 15.6). Hay que tener en cuenta que estos precios están modulados por el gestor según el destino del producto y el interés del mismo por promover alguna de las operaciones.

Tabla 15.6. Tarifas de la Mancomunidad de Municipios del Berguedà.

Operación	Características	Coste (€ t^{-1})
Apeo y desrame	Cualquier destino excepto para puntales y biomasa	9
	Destino puntales	12
	Destino biomasa	6
Apeo y desramado manual con desembosque mecanizado. Tratamiento de restos.	Selección de árboles rectos con 12 cm en punta delgada y 20-24 cm en coz. Longitud entre 8 y 10 m	25
	Selección de árboles rectos entre 11 y 12 m de longitud y 16, 28 y 34 cm de diámetro en la base	
	Selección de árboles rectos con 8 cm en punta delgada y 25-35 cm en coz. Longitud > 6 m	21
	Selección de árboles rectos con 8 cm en punta delgada y 20-25 cm en coz. Longitud > 6 m	20
	Trozas rectas con 14 cm en punta delgada y hasta 30 cm, de longitudes variables	24
	Selección de árboles rectos con 6 cm en punta delgada y 20 en coz con longitud según demanda. Índice de conicidad 1	28
	Árboles torcidos o con otros defectos, aptos para biomasa	16
Apeo y desramado manual con desembosque con tracción a sangre o cable aéreo y tratamiento de restos.	Selección de árboles rectos con 12 cm en punta delgada y 20-24 cm en coz. Longitud entre 8 y 10 m	27,5
	Selección de árboles rectos entre 11 y 12 m de longitud y 16, 28 y 34 cm de diámetro en coz	
	Selección de árboles rectos con 8 cm en punta delgada y 25-35 cm en punta gruesa. Longitud > 6 m	23,5
	Selección de árboles rectos con 8 cm en punta delgada y 20-25 cm en punta gruesa. Longitud > 6 m	22,5
	Trozas rectas con 14 cm en punta delgada y hasta 30 cm, de longitudes variables	26,5
	Selección de árboles rectos con 6 cm en punta delgada y 20 en coz con longitud según demanda. Índice de conicidad 1	30,5
	Árboles torcidos o con otros defectos, aptos para biomasa	18,5

Operación	Características	Coste (€ t^{-1})
Desembosque mecanizado de madera de cualquier medida y clasificación	Cualquier destino excepto para puntales y biomasa	12
	Destino puntales	16
	Destino biomasa	10
Desembosque con tracción a sangre o cable aéreo de madera de cualquier medida y clasificación	Cualquier destino excepto para puntales y biomasa	14,5
	Destino puntales	18,5
	Destino biomasa	12,5

2.2.2. Costes de transporte

En la formación del coste del transporte hay que tener en cuenta las operaciones que comprenden un ciclo, que son:

- Carga en el camión
- Transporte
- Descarga en el parque de la industria

Normalmente, según la L 15/2009, del contrato del transporte terrestre de mercancías, la carga del camión corre a cuenta del cargador, mientras que su descarga a la industria de destino. No obstante, esto se puede alterar de común acuerdo por las partes. Los tiempos de carga se pueden estimar a partir del volumen del camión y del volumen de carga en cada ciclo. El volumen de carga se puede estimar a partir de la siguiente expresión:

$$V\ (m^3) = S * L * C_{estéreo} * C_{carga}$$

siendo: $S(m^2)$: sección de la pinza, L(m): la longitud de las trozas, $C_{estéreo}$: el coeficiente del estéreo y C_{carga}: un coeficiente de carga (0,75 y 0,8).

La valoración de las operaciones de carga y descarga se suele realizar empleando alguna de las fuentes de información que se han descrito para las operaciones de apeo, procesado y saca, concretamente los rendimientos directos y los modelos de rendimiento y tiempo. La valoración del coste de transporte puede realizarse aplicando unos costes medios directos (tabla 15.7).

Las tarifas aprobadas por la Mancomunidad de Municipios del Berguedà para la biomasa (tabla 15.8) para el transporte tiene en cuenta la distancia al objeto de poder compensar la madera de montes lejanos a la industria de destino.

Tabla 15.7. Costes directos anuales de diferentes tipos de vehículo según los conceptos que conforman el coste (Ministerio Fomento 2016).

Tipo de vehículo	Costes directos (€ km^{-1} recorrido)	Costes directos (€ km^{-1} cargado)
Vehículo articulado, 420 CV, MMA 40 t, carga útil 25 t. Kilómetros anuales 120 000. En carga 85%	0,986	1,160
Vehículo 3 ejes 325 CV, MMA 26 t, carga útil 16 t. Kilómetros anuales 95 000. En carga 85%	0,930	1,095
Vehículo 2 ejes, 250 CV, MMA 18 t, carga útil 9,5 t. Kilómetros anuales 90 000. En carga 85%	0,846	0,995
Tren de carretera, 385 CV, MMA 40 t, carga útil 23,5 t. Kilómetros anuales 120 000. En carga 85%	0,949	1,116

Tabla 15.8. Precios de transporte aprobados por la Mancomunidad de Municipios del Berguedà.

Operación	Precio	Unidad
Carga y descarga de madera en camión excepto biomasa	5,35	€ t^{-1}
Transporte de madera en camión por pista forestal	0,11	€ t^{-1} km^{-1}
Transporte de madera en camión por carretera	0,05	€ t^{-1} km^{-1}

2.3. *Estimación del precio de tasación de la madera en pie o de la oferta económica utilizando el método analítico*

La aplicación del método analítico para la estimación del posible precio de licitación, a fijar por el propietario o gestor de la masa forestal, precisará del cálculo de los ingresos que se esperan obtener por los productos extraídos y de los gastos de su extracción. La diferencia entre unos y otros marcará el valor máximo posible del precio de la madera en pie que podrá ofertar el comprador. Este valor máximo no considera el beneficio que espera obtener el comprador de esta operación. Así, en el ejemplo de la tabla 15.9, el valor máximo que podrá pagar el comprador de la madera serán 26 272,06 €, lo que equivale a un precio unitario de 21,39 € m^{-3}. Con este resultado, el vendedor de la madera podrá estimar el posible precio de venta, descontando el valor del beneficio que se le suponga al comprador y dejando un cierto margen para el error en la estimación. En este caso, parecería prudente que el precio de licitación estuviera entre 13-15 € m^{-3}.

Tabla 15.9. Balance de un aprovechamiento de 1 228 m^3 en donde se distinguen cinco productos diferentes.

INGRESOS		
Producto	Industria	Importe (€)
Sierra		12 612,50
Trituración		4 288,20
Puntales		5 399,04
Postes		3 055,98

Producto	Industria	Importe (€)
Embalaje (palets)		32 783,36
Total ingresos		58 139,08
COSTES		
Operaciones forestales		
Concepto	**Importe (€)**	**Porcentaje (%)**
Apeo y procesado	5 644,70	17,71%
Desembosque	6 538,29	20,52%
Tratamiento de residuos	2 790,40	8,76%
Pistas	4 450,00	13,96%
Transporte		
Transporte	**8 384,87**	
Sierra	1 712,68	
Trituración	959,10	
Puntales	709,21	**27,11%**
Postes	338,63	
Embalaje (palets)	4 665,24	
Pesado camiones	254,64	
Otros costes		
Tasas	0,00	
Garantías (coste financiero)	26,00	
Costes anuncios	112,00	11,94%
Alojamiento personal		
Transporte personal al monte		
Costes generales empresa	3 666,12	
Total Costes	31 867,02	
MARGEN COMERCIAL (sin COMPRA DE LA MADERA)		
Total (€)	26 272,06	
Por unidad comercial (€ m^{-3})	21,39	

Para el caso de estimar el valor posible de la oferta económica a realizar, en el caso del comprador de la madera, el margen comercial estimado le permite acotar su oferta económica a partir del precio de tasación. Para valorar esta oferta económica se recomienda realizar un análisis de sensibilidad con los diferentes precios posibles entre el precio de tasación y el precio unitario máximo obtenido al calcular el margen comercial del aprovechamiento (tabla 15.10).

En el ejemplo de la tabla 15.9, si el precio de tasación fijado hubiera sido de 10 438 € (8,5 € m^{-3}), la oferta económica posible a realizar tendría un rango entre el precio de tasación y el margen comercial máximo estimado. Expresado en precios unitarios oscilaría entre 8,50 y 21,30 € m^{-3}. El beneficio que espere obtener marcará el límite de su oferta económica.

Tabla 15.10. Análisis de sensibilidad para determinar la posible oferta económica a realizar del aprovechamiento de la tabla 15.9 si el precio de tasación es 10 438 €.

Oferta económica (€ m^{-3})	Beneficio		Oferta económica (€ m^{-3})	Beneficio	
	Total (€)	Unitario (€ m^{-3})		Total (€)	Unitario (€ m^{-3})
8,50	15834,06	12,89	16,00	6624,06	5,39
9,00	15220,06	12,39	16,50	6010,06	4,89
9,50	14606,06	11,89	17,00	5396,06	4,39
10,00	13992,06	11,39	17,50	4782,06	3,89
10,50	13378,06	10,89	18,00	4168,06	3,39
11,00	12764,06	10,39	18,50	3554,06	2,89
11,50	12150,06	9,89	19,00	2940,06	2,39
12,00	11536,06	9,39	19,50	2326,06	1,89
12,50	10922,06	8,89	20,00	1712,06	1,39
13,00	10308,06	8,39	20,50	1098,06	0,89
13,50	9694,06	7,89	21,00	484,06	0,39
14,00	9080,06	7,39	21,10	361,26	0,29
14,50	8466,06	6,89	21,20	238,46	0,19
15,00	7852,06	6,39	21,30	115,66	0,09
15,50	7238,06	5,89			

Si la forma de liquidación del aprovechamiento fuera a riesgo y ventura, para realizar la oferta económica convendría completar el análisis de sensibilidad anterior con otro que tuviera en cuenta una diferencia en el número de unidades comerciales resultantes. Así, podría realizarse dicho análisis para un número de unidades finales del 95, 90 u 85% de la estimación inicial que aparece en la licitación del aprovechamiento (tabla 15.11).

Según este análisis (tabla 15.11), se pueden sacar las siguientes conclusiones:

- El rango de precios de la oferta económica variará entre 8,50 € m^{-3} y 20,10; 18,60 y 17,20 € m^{-3} según el número final de unidades comerciales sea el 100, 95, 90 u 85% de las unidades estimadas inicialmente.

- Si se quiere fijar un umbral de beneficio mínimo, aún en el peor de los escenarios, este será el que marque el límite de la oferta económica a presentar. Así, si se pretende asegurar un beneficio mínimo de 3 € m^{-3}, aún en el peor de los escenarios, la oferta económica no debería superar los 14,7 € m^{-3} (figura 15.11).

Tabla 15.11. Análisis de sensibilidad según el número de unidades comerciales finales resultantes y las diferentes ofertas económicas posibles.

Unidades finales resultantes: 95% de las estimadas inicialmente			Unidades finales resultantes: 90% de las estimadas inicialmente			Unidades finales resultantes: 85% de las estimadas inicialmente		
Oferta económica (€ m^{-3})	Beneficio		Oferta económica (€ m^{-3})	Beneficio		Oferta económica (€ m^{-3})	Beneficio	
	Total (€)	Unitario (€ m^{-3})		Total (€)	Unitario (€ m^{-3})		Total (€)	Unitario (€ m^{-3})
8,50	14263,04	12,23	8,50	12524,16	11,33	8,50	10785,29	10,33
9,00	13649,04	11,70	9,00	11910,16	10,78	9,00	10171,29	9,74
9,50	13035,04	11,17	9,50	11296,16	10,22	9,50	9557,29	9,16
10,00	12421,04	10,65	10,00	10682,16	9,67	10,00	8943,29	8,57
10,50	11807,04	10,12	10,50	10068,16	9,11	10,50	8329,29	7,98
11,00	11193,04	9,59	11,00	9454,16	8,55	11,00	7715,29	7,39
11,50	10579,04	9,07	11,50	8840,16	8,00	11,50	7101,29	6,80
12,00	9965,04	8,54	12,00	8226,16	7,44	12,00	6487,29	6,22
12,50	9351,04	8,02	12,50	7612,16	6,89	12,50	5873,29	5,63
13,00	8737,04	7,49	13,00	6998,16	6,33	13,00	5259,29	5,04
13,50	8123,04	6,96	13,50	6384,16	5,78	13,50	4645,29	4,45
14,00	7509,04	6,44	14,00	5770,16	5,22	14,00	4031,29	3,86
14,50	6895,04	5,91	14,50	5156,16	4,67	14,50	3417,29	3,27
15,00	6281,04	5,38	15,00	4542,16	4,11	15,00	2803,29	2,69
15,50	5667,04	4,86	15,50	3928,16	3,55	15,50	2189,29	2,10
15,60	5544,24	4,75	15,60	3805,36	3,44	16,00	1575,29	1,51
15,70	5421,44	4,65	15,70	3682,56	3,33	16,50	961,29	0,92
15,80	5298,64	4,54	15,80	3559,76	3,22	17,00	347,29	0,33
15,90	5175,84	4,44	15,90	3436,96	3,11	17,10	224,49	0,22
16,00	5053,04	4,33	16,00	3314,16	3,00	17,20	101,69	0,10
16,50	4439,04	3,81	16,50	2700,16	2,44			
17,00	3825,04	3,28	17,00	2086,16	1,89			
17,50	3211,04	2,75	17,50	1472,16	1,33			
18,00	2597,04	2,23	18,00	858,16	0,78			
18,50	1983,04	1,70	18,50	244,16	0,22			
18,60	1860,24	1,59	18,60	121,36	0,11			
19,00	1369,04	1,17						
19,50	755,04	0,65						
20,00	141,04	0,12						
20,10	18,24	0,02						

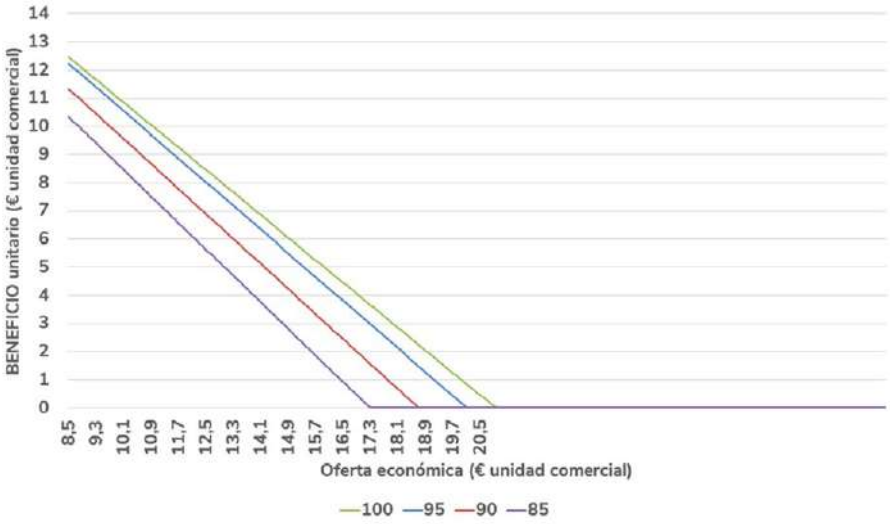


Figura 15.4. Análisis de sensibilidad tendiendo en cuenta la variación de la oferta económica y las unidades resultantes en el aprovechamiento (100, 95, 90 y 85% de las estimadas inicialmente) en un aprovechamiento cuya forma de liquidación es a riesgo y ventura.

Ejercicio

1. Una empresa rematante de madera quiere licitar al aprovechamiento forestal cuyas principales características se recogen a continuación:

Comarca: Alta Ribagorza
Municipio: Pont de Suert
Nombre del monte: Bosc de Viu
Propietario: Ayuntamiento de Pont de Suert
CUP: 247 ELENCO: 3032
Superficie (ha): 16,26
Especie: *Pinus sylvestris*
Cosa cierta: 2 133 pies
Volumen (m^3): 1 228

Clasificación por productos (m^3)					
Sierra	**Postes**	**Puntales**	**Embalaje**	**Trituración**	**Total**
250	53	111	674	140	1 228

El precio de tasación es de 10 438 € y el precio índice de 13 047 €. No se establece garantía provisional pero la garantía definitiva será del 5% del precio de adjudicación. En el Pliego se indica que el adjudicatario del aprovechamiento deberá prolongar una pista ya existente, cuya longitud se estima en 1 km. Asimismo, el adjudicatario queda obligado a la eliminación de restos en una franja de 10 m a cada lado de la pista, cuya longitud total es de 3,2 km. Otros gastos que deberá sufragar el adjudicatario son el pago de las tasas administrativas y (214 €) el de los anuncios (112 €). La planificación que ha hecho la empresa sobre el aprovechamiento plantea la realización de un apeo con cosechadora y un desembosque con autocargador, teniendo en cuenta que la pendiente media del monte es del 28% y el terreno no es muy pedregoso. La venta de los diferentes productos obteni-

dos del aprovechamiento se plantea a las siguientes industrias: madera de sierra y trituración va a la empresa Macusa (Gironella, 193 km), los postes, puntales y trituración a Induforest (Sant Martí de Torroella, 180 km), embalaje a Boix (Puig-Reig, 195 km). El transporte se plantea realizarlo con un vehículo articulado de 5 ejes con grúa.

Con estos datos, se desea estimar:

- El precio que puede ofertar la empresa por la madera
- Teniendo en cuenta que la forma de liquidación es a riesgo y ventura, se desea realizar un análisis de sensibilidad para unos escenarios que representen que el número final de unidades comerciales obtenidas fueran un 5, 10 y 15% menor al estimado.
- Atendiendo al tipo de monte y de la oferta económica realizada se desea conocer cual es el ingreso que recibiría el propietario

3. Bibliografía

Aunós A (2019) Informe de la valoración comercial de los aprovechamientos de madera programados en el monte «La Mata» para el quinquenio 2015-19. Inédito.

Devia C (2003) Valoración de la madera en pie. Una alternativa para el manejo adecuado de los recursos forestales. XII Congr. For. Mund.

Grege-Stalmane E (2011) Standing timber prices and factors which affect them. IUFRO.

MAGRAMA (2011) Estadística Forestal de España 2011.

Ministerio Fomento (2016) Observatorio de costes del transporte de mercancías por carretera. Madrid.

Tolosana E, Albizu P (2007) Situación del mercado de madera de calidad de pino radiata. Influencia en el estado de sus masas. Análisis de alternativas de gestión. 6 Congreso Forestal Español.

Tolosana E, Vignote S, Ambrosio Y (2002) Rendimientos, costes y efectos ambientales de las claras mecanizadas sobre repoblaciones de" Pinus sylvestris" L. en España. Investig Agrar Sist y Recur For 11:40-65.

Vignote S, Tolosana E, Ambrosio Y, et al. (2001) Manual para la ejecución del aprovechamiento maderero en primeras claras sobre repoblaciones de coníferas. Madrid.

Capítulo 16

La planificación de las vías forestales y los cargaderos

Jesús Pemán García

1. Las vías forestales

Existe una variada terminología - vía forestal, vía de saca, camino, pista, pista de desembosque, brecha, calle, callejón, ramal, tiradera, trocha - clasificaciones y características técnicas de cada uno de estos términos (Maza de la 1970; Althen 1984; Sedlack 1984; Valero et al. 1999; Tolosana et al. 2000; SECF 2005; Elorrieta et al. 2018). Con la única intención de fijar un criterio común sobre los términos usados en esta materia, se hace un intento de definición de algunos de ellos.

- Vía forestal. Sería el termino más general. Su significado puede ser el de vía de comunicación y/o transporte que discurre total o parcialmente por áreas forestales. Este término incluiría los caminos por los que circularían vehículos rodados y, también, las vías por la circularían otros medios de transporte, como es el cable grúa. Su finalidad principal es servir como infraestructura para la gestión en el medio natural.

- Camino forestal. Es la infraestructura forestal de acceso, transporte y comunicación que utilizarían los vehículos rodados. El término de camino se podría reservar a las vías principales.

- Pista forestal. Es una infraestructura que presta los mismos servicios que el camino pero que tiene unas características constructivas menos exigentes que el primero.

- Vía de saca. Es una vía forestal utilizada para la extracción de los productos forestales. Incluiría las vías utilizadas por los vehículos rodados y las correspondientes a otros medios de desembosque como el cable grúa.

- Pista de desembosque. Sería el tipo de vía de saca utilizada por los vehículos rodados. Pueden ser permanentes o temporales. A las temporales, en el Norte de España, se les denomina con frecuencia trochas. Cuando es ciega, sin conexión, se denominaría ramal.

- Calle. Sería la vía de saca abierta, normalmente, siguiendo la línea de máxima pendiente por la que circulan el skidder, el autocargador o el cable grúa. Para su apertura lo único que hace

falta es la eliminación de la vegetación a lo largo de la misma con la anchura que precise el medio que va a realizar el desembosque.

- Callejón de arrastre. Correspondería a la vía de saca más sencilla, por la que se arrastra la madera mediante cableado, sin que por la misma se desplace ningún vehículo de los que realizan el desembosque. No precisa de apertura alguna.

Las vías forestales responden a una variada tipología, que determinará sus características constructivas, aunque la mayoría de las clasificaciones son variaciones de la propuesta por Maza (1970) y Heinrich (1976) (tabla16.1, figura 16.1).

Tabla16.1. Tipos de vías forestales, con algunas de sus posibles características.

	Camino forestal	Pista forestal	Pista desembosque	Calle
Carácter	Permanente	Permanente	Permanente o temporal	Temporal
Pendiente media (%)	8 - 10	12	15 - 20	> 25
Radio mínimo curvas (m)	20	15	10	
Tipo vehículo	Vehículos transporte	Vehículos transporte	Vehículos transporte en las permanentes / vehículos de desembosque en las temporales	Tractor *Skidder* Autocargador
Drenaje	Completo	Vierteaguas, cunetas	Superficial	Ninguno
Movimiento tierras	Moderado	Mínimo	Mínimo	Ninguno

Figura 16.1. Marcado de pista forestal (izquierda) y apertura de pista forestal con retroexcavadora (derecha) (Fotos: J. Pemán).

La ejecución de un aprovechamiento maderero precisa, como infraestructura básica, de una red viaria, compuesta por los diferentes tipos de vías necesarias para la realización del desem-

bosque y transporte de la madera (figura 16.2). La planificación de esta red viaria exige, como mínimo, analizar y definir los siguientes aspectos:

- Analizar la red viaria existente
- Diseñar la nueva red por tipo de vía
- Definir la densidad de vías
- Diseñar las actuaciones de restauración de la red temporal

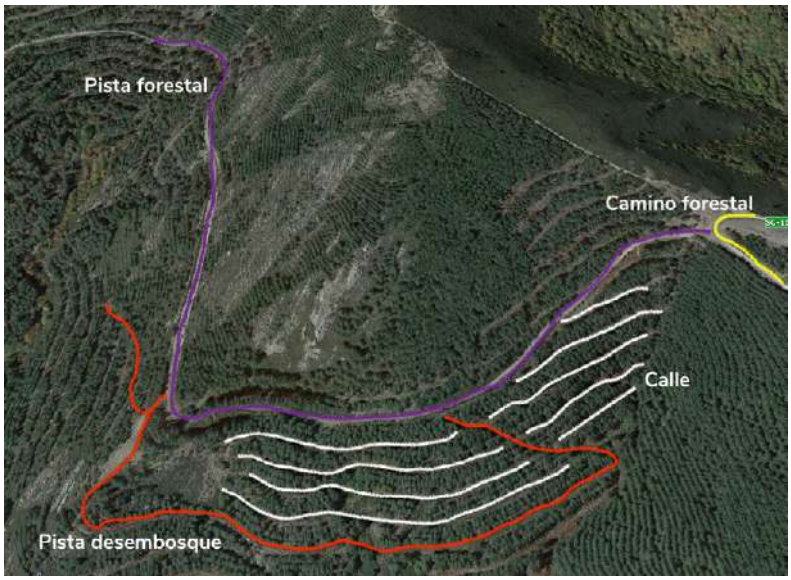


Figura 16.2. Tipología de vías forestales en el desarrollo de un aprovechamiento maderero en una repoblación de *Pinus sylvestris* por terrazas (Fuente: *Google Earth*).

2. Análisis de la red viaria existente

El análisis de la red viaria existente debe ser previo al diseño de la nueva red viaria, teniendo en cuenta, al menos, los siguientes aspectos (figura 16.3):

- Propiedad de la red viaria. Por la necesidad de pedir los permisos para su uso. En el caso de las vías públicas pueden ser propiedad de la Comunidad Autónoma, Diputaciones Provinciales o Ayuntamientos.
- Tipo de uso. Agrícola, forestal, recreativo.
- Tráfico. Densidad de tráfico según los diferentes días de la semana.
- Puntos críticos. Para conocer las limitaciones para su uso en la ejecución del aprovechamiento. Entre los aspectos a analizar están: anchura de la vía, su pendiente longitudinal,

anchura de los puntos que cruzan los cursos de agua, radios de curva, carga permitida por eje, intersección con la red de carreteras, etc.

- Estado de conservación de la red viaria antes del inicio del aprovechamiento. Para definir las operaciones necesarias para su recuperación, una vez finalizado el mismo, en el caso de que su estado se haya degradado.

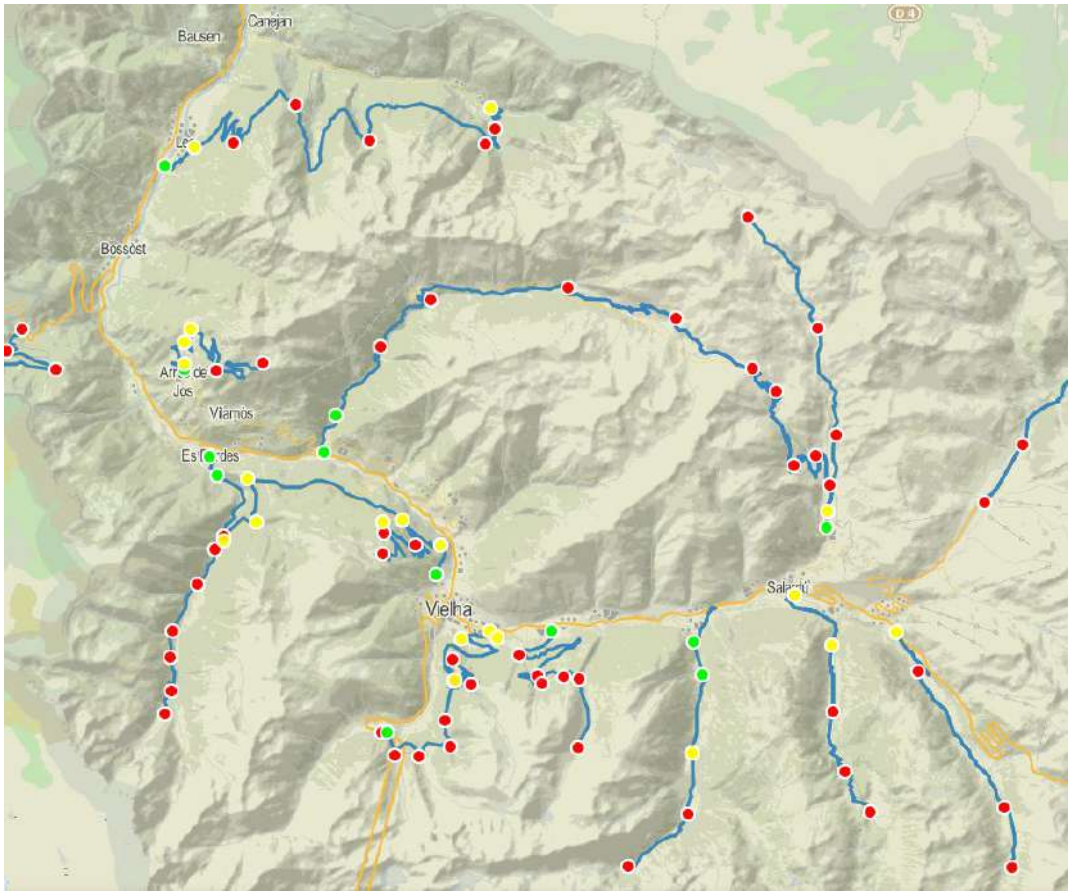


Figura 16.3. Inventario de la red de pistas forestales existentes y su grado de conservación en el Valle de Arán. Puntos verdes: abierta, Puntos amarillos: cadenas, Puntos rojos: cerrados. (Fuente: http://laue-gi.conselharan.org/estado-de-las-pistas-forestales/).

3. Criterios de diseño

3.1. Red de pistas

Una vez que se ha analizado con detalle el terreno y determinado el sistema de aprovechamiento y los procedimientos elegidos para el apeo y desembosque, se deberá diseñar el trazado de los diferentes tipos de vías. Para la realización de este diseño deberán tenerse en cuenta:

- Criterios de carácter general sobre el diseño según la topografía.

- Puntos de paso, que las vías de acceso deberán unir.

- Puntos u obstáculos a evitar, como afloramientos rocosos, puntos de agua, zonas inestables, etc.

- Forma del desembosque (unidireccional o bidireccional), según el procedimiento de desembosque elegido.

Entre los criterios de carácter general, según la topografía del terreno, se pueden distinguir las siguientes situaciones (Sedlack 1984):

- Terrenos llanos
- Fondos de valle
- Ladera fuerte pendiente
- Divisorias
- Cabeceras de cuencas

3.1.1. Terrenos llanos

En los terrenos llanos o de ligera pendiente la red define un cuadriculado de viales equidistantes que establecen la distancia óptima de desembosque según el medio elegido (figura 16.4). Para obtener una mayor eficacia en el desembosque sobre las vías de saca se debe poder realizar el desembosque por ambos lados, por lo que las vías perimetrales que solo reciben madera de un lado no son las más recomendables. La distribución de las pistas de desembosque y de las calles de saca será más o menos regular con la separación y longitud de calles que optimice la saca según el medio de desembosque elegido. El trazado de las calles sería perpendicular a la dirección de las pistas de desembosque. En estos casos es frecuente el uso de la cosechadora y del autocargador.

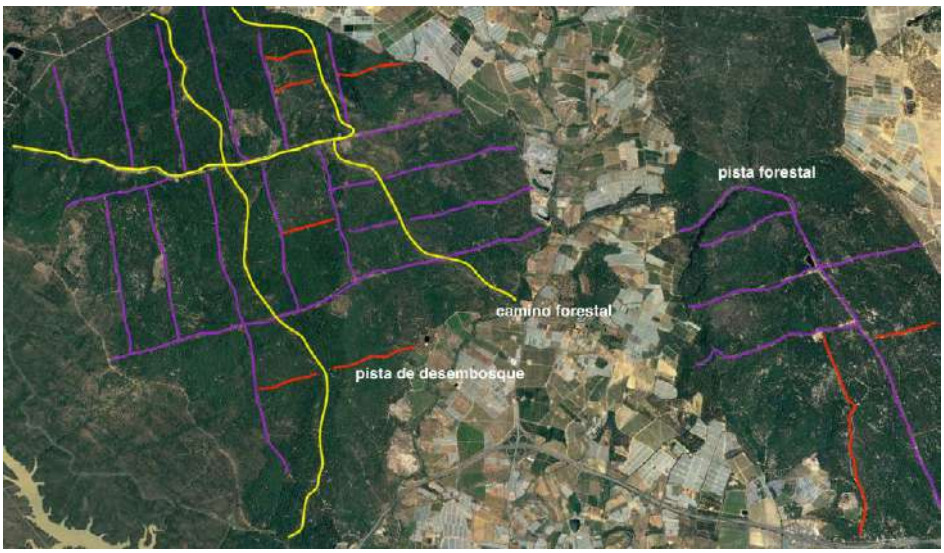


Figura 16.4. Red de pistas en montes de suave pendiente en masas de *Pinus pinea* (Fuente: Google Earth).

3.1.2. Fondos de valle

En los fondos de valle las pistas deben alejarse del curso de agua, a partir de las cuales suben las pistas por la ladera (figura 16.5). Para evitar la construcción de pasos de agua muy largos las pistas deben cruzar estos en los puntos más cerrados del valle.

Figura 16.5. Red viaria de valle que enlaza con las que ascienden por la ladera (Fuente: Google Earth).

3.1.3. Laderas de pendiente

En el caso del trazado de pista en laderas de pendiente elevada estas deben tratar de trazarse con el mínimo movimiento de tierra, por lo que deberán realizarse siguiendo las curvas de nivel, entrecruzándose con viales oblicuos en zig-zag que las interconecten y permitan el desembosque en ambos sentidos (figura 16.6). Las calles de desembosque tienen que realizarse en la línea de la máxima pendiente para permitir la realización del desembosque, a excepción que este se realice con tracción animal, en cuyo caso deberán ser oblicuas para facilitar el movimiento de las caballerías. Un criterio general que debe tenerse en cuenta para determinar su trazado es el de minimizar el impacto paisajístico. Si se puede establecer una red adecuada de pistas, la saca suele ser unidireccional, a favor de la pendiente, ante las mayores limitaciones y costes de una saca en contra de la pendiente. Si la saca tiene que ser bidireccional, las longitudes de las calles a favor y en contra de la pendiente deben ser proporcionales a las diferencias de los costes según el sentido del mismo.

La posición de las pistas a media ladera debe responder a equilibrar los costes que tiene el desembosque a favor de la pendiente y el desembosque en contra de la misma. Considerando una separación de pista igual a la unidad de longitud y llamando x a la distancia de desembosque en contra de la pendiente, la distancia de desembosque a favor será $1-x$ (figura 16.7). Si C es el

coste unitario de desembosque a favor de la pendiente se puede considerar que *k*C es el coste de desembosque en contra de la pendiente, siendo k, el coeficiente corrector entre ambos costes. Suponiendo una distribución de la madera uniforme en todo el monte, se puede considerar que el volumen ladera arriba será proporcional a *1-x* y ladera abajo x. Considerando que la distancia media de desembosque a favor de la pendiente será *(1-x)/2* y que en contra será *x/2*, se puede plantear la siguiente ecuación del coste total:

$$\text{Coste total} = \frac{C\,(1-x)(1-x)}{2} + \frac{Ck\,(x)(x)}{2} = \frac{C(1-x)^2}{2} + \frac{Ck(x)^2}{2}$$

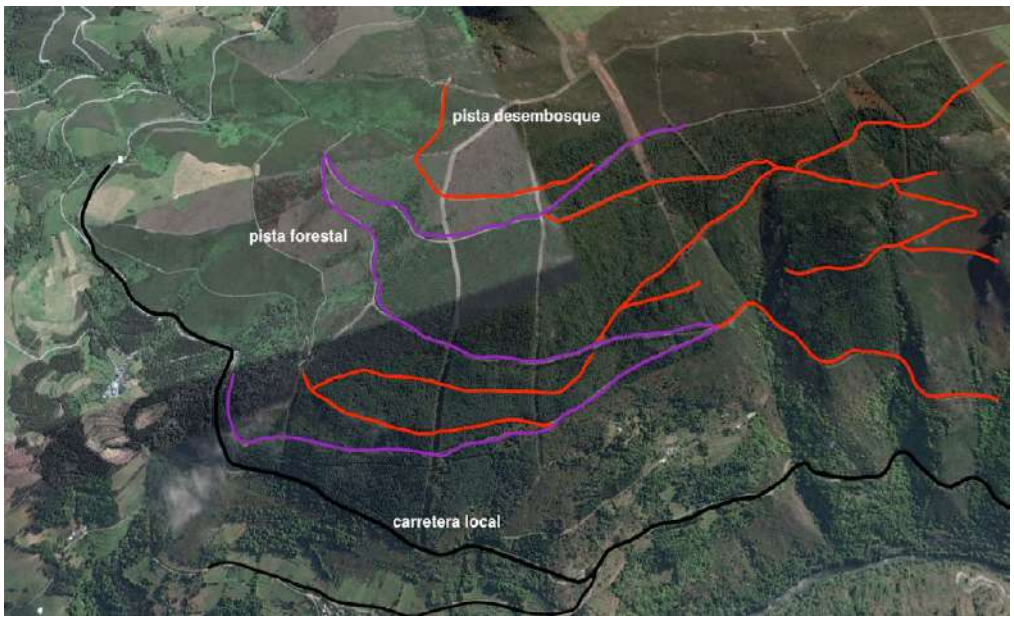


Figura 16.6. Diseño de las vías forestales en laderas de fuerte pendiente (Asturias) (Fuente: Google Earth).

Figura 16.7. Esquema representativo de la ubicación de la pista de desembosque en una ladera en relación a la distancia de desembosque a favor de la pendiente (1-x) y en contra (x) (Fuente: Google Earth).

Derivando esta función respecto a x para obtener el mínimo, se obtiene:

0 = -C(1-x) + Ckx de donde k= $\frac{1-x}{x}$

Por lo que se puede afirmar que la relación entre los costes de desemboscar la madera a favor y en contra de la pendiente (k) determina la altura de la ubicación de la pista en la ladera.

3.1.4. Divisorias

El trazado de la red por la zona de crestas o divisorias puede responder a varias situaciones. En alta montaña, a la existencia de laderas de fuertes pendientes e inestables, que solo permitan el desembosque mediante cable. También puede deberse a la dificultad de su trazado por el fondo de valle debida a la existencia de cuencas muy pequeñas (figura 16.8).

Figura 16.8. Red viaria principal por la crestas o divisorias de las cuencas. Las calles de desembosque son perpendiculares a las curvas de nivel (Huelva) (Fuente: Google Earth).

3.1.5. Cuencas

En las cabeceras de las cuencas la red viaria puede trazarse a media ladera alrededor de toda la cabecera saliendo del valle por una pista por su fondo (figura 16.9). Debe evitarse el trazado siguiendo la red hidrográfica, por las mayores distancias de desembosque, la alteración de los mismos y los riesgos de producir procesos de erosión más intensos.

Figura 16.9. Red viaria en una cabecera de cuenca (Soria) (Fuente: Google Earth).

3.1.6. Cumbres

Para acceder a las cumbres las pistas rodearan la misma permitiendo una saca unidireccional a favor de la pendiente (figura 16.10).

Figura 16.10. Pistas rodeando una cumbre en una plantación de *Eucalyptus globulus* en A Graña (Pontevedra) (Fuente: Google Earth).

Guide to forest road engineering in mountainous terrain

Fannin FR, Lorbach J (2007) Guide to forest road engineering in mountainous terrain. FAO. Roma

As part of the strategic plan, an access plan should be prepared for both existing and proposed roads that are to be used for timber harvesting operations. The Access plan should report details of a road design that is environmentally sound, seeks to minimize harvesting and transport costs, and provides for the safety of forest workers and the public. The plan should report information on the location and scheduling of road construction throughout the planning area. That information should be conveyed in maps, text and tables. The plan is prepared from a field reconnaissance to:

- consider the needs of all potential road-users
- study alternative route projections
- layout the optimum route as a preliminary alignment
- survey the preliminary alignment
- design the final alignment

The plan may include, as is appropriate, detailed site surveys for any major stream crossings and bridges. As such, access plans should be prepared by qualified engineers and/or foresters with understanding of the need to limit soil disturbance, and maintain proper drainage.

Planning of the road network must consider harvesting methods, which determine the requirements for road spacing and hence road density. Forest roads have the potential to be the most problematic feature of timber harvesting operations. Inappropriate design, poor construction, and infrequent maintenance contribute to the potential for soil erosion and its related impacts, for example on water quality. Therefore access planning is undertaken to develop a road network that conforms to general management objectives for the development area. In general, roads should be located outside riparian areas, except for stream crossings, which should be selected to mitigate disturbance to the bank and the channel. In a community watershed, the road should not be located close to any designated water intake. Consideration should be given to avoidance of hazardous terrain, protection of sensitive slopes, and an evaluation of adverse impacts on both water quality and aquatic habitat. Good quality field data, and appropriate ground checking, are essential. Finally, the access plan must be developed in accordance with national laws, regulations and standards.

Además de estos criterios generales de trazado hay que tener en cuenta algunas características constructivas como su anchura, separación, longitud o pendiente longitudinal.

3.2. Calles

Las calles son las infraestructuras básicas para la realización del desembosque en el interior de una masa forestal. Para su trazado se elimina exclusivamente la vegetación, sin movimiento al-

guno de tierra. Como elementos de diseño hay que determinar su trazado, anchura, separación y longitud (Vignote et al. 2001).

- Trazado. En los terrenos de fuerte pendiente las calles de saca tienen a trazarse en la línea de máxima pendiente para evitar el riesgo de vuelco lateral de los tractores que trabajan en las operaciones de apeo y desembosque. En los montes aterrazados o laderas de pendiente suave las calles pueden trazarse siguiendo las curvas de nivel (figuras 16.11 y 16.12).

Figura 16.11. Calles de saca en zonas de fuerte pendiente (izquierda) y sobre terrazas (derecha) (Fotos: J. Pemán).

En el caso de que el desembosque vaya a realizarse con tracción a sangre el trazado de las calles suele ser oblicuo para facilitar el arrastre por parte de las caballerías.

Figura 16.12. Esquema del trazado de las calles de desembosque siguiendo las líneas de máxima pendiente (Fuente: Google Earth).

- Anchura. Las calles de desembosque deben tener la anchura necesaria para la correcta maniobrabilidad de los medios que van a realizar el desembosque. Esta anchura oscila entre

3,5 m para tractores agrícolas y skidder y 4 m autocargador y cosechadora. Para la saca con caballerías la anchura oscila entre 1,5 y 2,5 m.

- Separación y longitud. Depende del medio de desembosque elegido (tabla16.2). La separación depende del medio elegido, el peso de la clara y de la pendiente. Oscila entre 40 y 50 m para skidder y de 15 a 24 m para el autocargador y cosechadora. En el caso de la cosechadora hay que tener en cuenta que, respecto a la regla general que la separación de las calles se corresponde al doble de la longitud del brazo, cuando se trabaja en pendiente esta distancia hay que disminuirla al no poder aprovechar convenientemente toda la longitud del mismo.

Tabla16.2. Separación y longitud de las calles de saca según el procedimiento de apeo y desembosque (Rodriguez et al. 2005).

Apeo	Manual			Mecanizado		
Desembosque	Tractor agrícola	Skidder	Autocargador	Tractor agrícola	Skidder	Autocargador
Separación (m)	30 a 40	40 a 50	15 a 24		15 a 24	
			Longitud (m)			
Óptima	50 a 75	100 a 125	150 a 300	50 a 75	100 a 125	150 a 300
Máxima	150 a 175	200 a 250	1 300 a 1 500	150 a 175	200 a 250	1 300 a 1 500

4. Densidad óptima de pistas

La densidad óptima de las vías forestales a realizar se ha abordado por numerosos autores y siempre desde un contexto económico. Partiendo de que el coste de desembosque es proporcional a la distancia del mismo y calculando una función que integre los costes de construcción de la pista (coste de amortización anual y el coste de mantenimiento) y el coste de desembosque, la densidad óptima será aquella que minimice dicha función (Maza de la 1970; Rowan 1976). Partiendo de este modelo general algunos autores se han aproximado a la densidad óptima mediante la estimación de la separación óptima de las calles de saca (Segebaden 1964; Rebula 1981) y otros a través de la distancia óptima de arrastre (Rowan 1976; Ryan et al. 2004) (tabla16.3).

Tabla16.3. Modelos de cálculo de la densidad óptima de vías.

Modelo	Variables explicativas	Referencia
Densidad óptima (m ha^{-1}) = $\sqrt{\frac{5 * Ch * Vext}{(Pa + Pc) * v * Vd}}$	C_h (€ h^{-1}): coste horario medio desembosque; Vext (m^3 ha^{-1}): densidad de corta; Pa (€ $año^{-1}$): coste construcción vía; Pc (€ $año^{-1}$): coste conservación vía; v (km h-1): velocidad de desplazamiento; V_d (m^3): volumen medio desemboscado en cada ciclo.	(Segebaden 1964)
Densidad óptima (m ha^{-1}) = $\sqrt{\frac{(k1 + k2) * Ch * Vext}{(Pa + Pc) * v * Vd}}$	k_1: coeficiente corrector en función de las condiciones fisiográficas, k_2: coeficiente corrector en función de la regularidad en la distribución de las vías (tabla16.4)	(Klemencic 1970)

Modelo	Variables explicativas	Referencia
Densidad óptima (m ha^{-1}) = $100 * \sqrt{\frac{Ch * Vext * F * Ks}{(Pa * Po) - ds * Vext}}$	F: coeficiente corrector del desembosque (51,7% para skidder) de k_S: factor corrector de la distancia media teórica de desembosque; Pa (€ m^{-1}): coste amortización media anual de construcción de un metro de vía; Po (€ m^{-1}): coste medio anual de mantenimiento un metro de vía; d_s (€ m^{-3}): valor de los aprovechamientos PFNM a obtener gracias a la red de vías	(Rebula 1981)
Densidad óptima (m ha^{-1}) = $\sqrt{\frac{Vd * e * (100 * m)}{(Pc + Pm)}}$	Vd (m^3 ha^{-1}): volumen madera descontado; e: factor de eficiencia de la red de vías (0,44 para desembosque bidireccional y 0,91 para desembosque unidireccional), m (€ m^{-3} 100 m^{-1}): coste de desembosque por 100 m; Pc (€ m^{-1}): coste de construcción de un metro de vía; Pm (€ m^{-1}): coste mantenimiento un metro de vía actualizado	(Ryan et al. 2004)

Tabla16.4. Valor de los coeficientes k_1 y k_2 del modelo de densidad óptima de Klemencic (1970).

k_1	k_2	Características
3		Terreno sin dificultad, llano
5		Dificultad media, terrenos con pendiente, escabrosidad y adherencia que condiciona ligeramente el recorrido del vehículo. Algunos puntos del monte no son accesibles desde pista
7		Dificultad alta. Terrenos con pendiente, escabrosidad y adherencia condicionan el recorrido del tractor. Existen puntos frecuentes en la pista desde donde poder acceder al monte, pero en los demás puntos no se puede.
9		Dificultad muy alta. Terreno con pendiente, escabrosidad y adherencia tales que condicionan totalmente el recorrido del tractor. Existen pocos puntos desde la vía donde acceder al monte.
	3	Montes llanos, pistas paralelas, casi equidistantes
	5	Montes ondulados, con vías no paralelas, pero homogéneamente distribuidas
	7	Montes muy ondulados, con muchos puntos de paso forzado para la distribución de vías, que hacen que estén irregularmente distribuidas
	9	Montes muy quebrados, con vías muy irregularmente distribuidas, incluso sólo perimetralmente

En los últimos años se han desarrollado programas que combinan modelos matemáticos mixtos con algoritmos heurísticos que pretenden dar la solución más económica. Entre ellos están los modelos TIMBRI, TRANSHIP, MINCOST, NETCOST, NETWORK y NETWORK 2000.

Qualitative evaluation and optimization of forest road network to minimize total costs and environmental impacts

Hayati E, Majnounian B, Abdi E (2012) Qualitative evaluation and optimization of forest road network to minimize total costs and environmental impacts. iForest - Biogeosciences For **5:121–125. doi: 10.3832ifor0610-009**

...as the high density of forest road network will lead to the excessive economical and environmental costs, forest road managers have to carefully evaluate and optimize the forest road network density for minimizing the total costs and environmental impacts of these infrastructures. Average log skidding distance is an important component to evaluate the quality of forest road network,

and should be considered for computing the optimal forest road network density (Zhixian & Zhili 1997). Matthews (1942) was the first who developed a two dimensional model for skidding distance, with assumptions of flat terrain condition, regular road distribution, and provided that logs are carried out on the shortest path to the nearest road. Segebaden (1964) improved the road spacing model by introducing network and transport correction factors. Heinimann (1997) reported that the above mentioned assumptions do not apply in mountainous conditions with sloped terrain, and introduced a slope correction factor to compute the real skidding distance. Road technical specifications and wood extraction methods are two main factors affecting optimum road spacing and density, aimed to minimize the total cost of roading and skidding (Rowan 1976, Naghdi & Mohammadi Limai 2009). Moreover, the timber volume to be harvested is an important factor affecting the quantity and quality of forest road network density. Sedlak (1983) calculated road spacing with regard to volume of annual growth and reported lower average road spacing in parts of forest with higher annual growth and larger harvesting volume. There are many researches aimed to determine road and skidding costs, road spacing and generally optimal road network under different logging practices (Lihai et al. 1996, Tan 1999, Tucek & Pacola 1999, Chung & Sessions 2001, Heralt 2002, Demir & Tolga 2004, Anderson & Nelson 2004, Aruga 2005, Pentek et al. 2005, Najafi et al. 2008). Chung & Sessions (2001) introduced the Network 2001 program for the analysis and selection of optimum forest road network. Pentek et al. (2005) used forest road relative openness and efficiency coefficient to analysis forest road network with determination of optimum road density and average skidding distance...

5. Actuaciones de restauración de la red temporal de pistas y calles

Sobre la red temporal de vías de saca deben plantearse la realización de actuaciones de restauración cuando:

- Su trazado sea en la línea de máxima pendiente y tengan un elevado riesgo de erosión.
- Su trazado afecte a cursos de agua.
- Se haya producido una degradación de las mismas, producto de una excesiva compactación o unas rodadas profundas.
- Haya riesgo de que sean utilizadas para circular con vehículos todoterreno con un carácter recreativo.

La actuación más común será, cuando las condiciones de pendiente lo permitan, dar una labor al suelo para disminuir su densidad y aumentar su capacidad de infiltración, eliminando las rodadas que hayan podido formarse. También, la creación de drenes o vierteaguas es una práctica habitual para garantizar el mantenimiento en zonas de gran pendiente. Se suelen separar cada 60 m. En los cruces con los cursos de agua se deberá restablecer el lecho del curso, realizando las obras necesarias para su mantenimiento. En las zonas habilitadas para cargadero, si su uso como tal no se prevé en el tiempo, deberán hacerse las labores oportunas en el suelo para favorecer la regeneración natural de la vegetación.

6. Cargaderos

El cargadero es la instalación donde se ubican y almacenan temporalmente los productos obtenidos del monte que tienen que ser transportados hasta la industria. En el cargadero se puede decir que finaliza el desembosque y comienza el transporte. Dependiendo de la planificación que se ha hecho de las operaciones en el cargadero se pueden realizar, además de las operaciones de carga y descarga, otras operaciones como el trozando, astillado, etc. También, hay que tener en cuenta, que cuando del aprovechamiento se obtienen varios productos, en el cargadero es el lugar donde se procede a la clasificación de los diferentes lotes (figura 16.13).

Figura 16.13. Cargadero en donde se clasifican los diferentes productos obtenidos del aprovechamiento (Foto: A. Aunós).

Dependiendo de las características de las vías forestales del monte y de la capacidad de acceso a las mismas de los vehículos que realizaran el transporte los cargaderos se pueden ubicar a lo largo de las pistas o concentrarse en un punto dentro del monte o fuera de él según las posibilidades que se tenga para el acceso y carga (figura 16.14).

Figura 16.14. Cargadero ubicado en punto de fácil acceso en el monte y a pie de carretera (izquierda) y cargadero en pista (derecha) (Fotos: J. Pemán).

Cuando se precise la construcción de un cargadero hay que tener en cuenta una serie de cuestiones para su diseño (FOA 2012):

- Disponibilidad de terrenos cercanos a las vías de transporte o en un lugar del monte de fácil acceso para los vehículos.

- Características del terreno, valorando la necesidad de realizar movimientos de tierra, drenajes, compactación, aporte de grava, etc. Deben evitarse zonas con riesgo de encharcamiento o de baja capacidad portante del suelo.

- Las vías de acceso al mismo. Siempre que sea posible deben habilitarse más de una vía de entrada para facilitar la circulación de las máquinas (figura 16.15).

- Las operaciones que en el mismo van a realizarse, además de las de carga y descarga, con sus necesidades de espacio.

- Las máquinas que en el mismo van a estar trabajando para la realización de dichas operaciones.

- Las necesidades de almacenamiento, indicando los tamaños de las pilas de los diferentes productos que vayan a almacenarse. Estos aspectos están muy relacionados con la producción diaria de los diferentes productos y el tiempo de almacenamiento previsto.

- La dimensión de los productos, para respetar un mínimo espacio de maniobrabilidad para facilitar las operaciones de carga y descarga.

- Los requerimientos de maniobrabilidad de los vehículos que realicen el transporte.

Sobre la superficie o tamaño que deben tener los cargaderos, la FOA en Nueva Zelanda (FOA 2012) sugiere en la actualidad valores alrededor de 3 900 m^2, cifra muy superior a la que se recomendaba anteriormente para cargaderos pequeños (40 x 60 m) o medianos (40 x 80 m). Estos autores proponen una sencilla ecuación para el cálculo del tamaño de los cargaderos:

Tamaño cargadero (m^2) = 390 + 173 * Número de trozas + 3,5 * Producción diaria (m^3 $día^{-1}$).

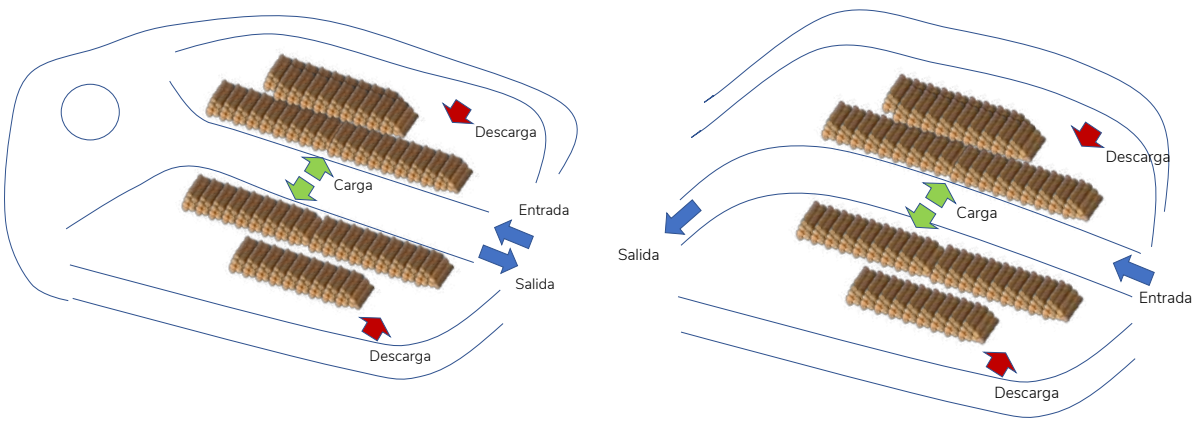


Figura 16.15. Esquema de un cargadero con una sola entrada y rotonda para el giro de los vehículos (izquierda) y cargadero con entrada y salida diferenciadas (derecha).

Las formas de los cargaderos suelen ser rectangulares, siendo la proporción de las dimensiones entre 2 ó 2,5 veces más largo que ancho (figura 16.15). En los cargaderos de saca con cable la proporción que se suele tener en cuenta es de 2,5.

7. Bibliografía

Althen F Von (1984) Mowing versus mechanical or chemical weed control in sugar maple afforestation. Tree Plant notes-United States, For Serv 28-31.

Elorrieta J, Ortega E, Martín B (2018) Vías forestales. planificación, trazado y diseño. Dextra Editorial, Madrid.

FOA (2012) New Zealand Forest Road Engineering Manual. NZ FOA, Wellington.

Heinrich R (1976) Problems of forest roads construction in tropical high forests. Roma.

Klemencic A (1970) Special economic aspects in conection with road networks.the economic road standar, spacing and related questions. FAO.

Maza de la J (1970) Criterios y factores que condicionan los aprovechamientos forestales (I). Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias, Madrid.

Rebula E (1981) Optimal openness of forests. Meh šumarstva 3-4:107-119.

Rodriguez J, Juanati C, Piqué M, Tolosana E (2005) Tècniques de desembosc en l'aprofitament forestal. Centre Propietat Forestal, Barcelona.

Rowan A (1976) Forest road planning. Forestry Comission, London.

Ryan T, Phillips H, Ramsay J, Dempsey J (2004) Forest road manual. COFORD, Dublin.

SECF (2005) Diccionario Forestal. Mundi-Prensa, Madrid.

Sedlack O (1984) Principios generales sobre planificación de redes de carreteras forestales. En: Heinrich R (ed) La explotación maderera de bosques de montaña. Roma, pp 27-48.

Segebaden G (1964) Studies of cross-country transport distance and road net extension. Stud For Suec 18:70.

Tolosana E, González V, Vignote S (2000) Aprovechamiento maderero. Fundación Conde del Valle de Salazar y Mundi Prensa, Madrid.

Valero J, Abian J, Rodriguez J, et al. (1999) Els camins forestals. Apunt Silvic 6:7-40.

Vignote S, Tolosana E, Ambrosio Y, et al. (2001) Manual para la ejecución del aprovechamiento maderero en primeras claras sobre repoblaciones de coníferas. Madrid.

Capítulo 17

La seguridad y salud laboral en las operaciones de extracción y transporte de la madera

Jesús Pemán García, Jesús Fernández Rodríguez,
José Manuel Gallego Martín

1. Consideraciones sobre seguridad y salud en el ámbito de los trabajos forestales

El marco normativo de la seguridad y salud viene establecido por una normativa básica, la ley 31/95 de prevención de riesgos laborales, de aplicación a todos los sectores y actividades y por una serie de reales decretos de desarrollo que complementan dicha ley para las diferentes actividades. En la actualidad no existe ninguna normativa de desarrollo específica para el ámbito forestal. Normalmente este tipo de actividad se excluye de la aplicación de los reglamentos existentes, como por ejemplo el RD 486/97 sobre lugares de trabajo, donde quedan fuera de aplicación del objeto de la norma entre otras actividades: "b) Las obras de construcción temporales o móviles (...) e) Los campos de cultivo, bosques y otros terrenos que formen parte de una empresa o centro de trabajo agrícola o forestal pero que estén situados fuera de la zona edificada de los mismos".

Estas y otras actividades excluidas del RD 486/97 han desarrollado sus propios reglamentos, a excepción de las actividades del sector primario que no cuentan con normativa específica. Debido a la inexistencia de la misma, en pro de la seguridad laboral de esta actividad, no queda más remedio que analizar los diferentes reglamentos existentes para determinar su aplicabilidad y ver de que herramientas se dispone para la mejora en este ámbito.

El RD 1627/97 por el cual se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en las obras de construcción, define: "a) Obra de construcción u obra: cualquier obra, pública o privada, en la que se efectúen trabajos de construcción o ingeniería civil cuya relación no exhaustiva figura en el anexo I". Si bien es cierto que los trabajos forestales no aparecen en el anexo I, si aparecen conceptos como el movimiento de tierras tan necesario para el desempeño de la actividad forestal.

El concepto de obra esta matizado y completado en tras legislaciones como en la L 9/2017 de contratos del sector público que, en su artículo 13, entiende por obra "el resultado de un conjunto de trabajos de construcción o de ingeniería civil, destinado a cumplir por sí mismo una función económica o técnica, que tenga por objeto un bien inmueble. También se considera «obra» la realización de trabajos que modifiquen la forma o sustancia del terreno o de su vuelo, o de mejo-

ra del medio físico o natural". Bajo estas acepciones queda claro que la afectación sobre un bien inmueble o el vuelo de un terreno (por ejemplo, el arbolado) se tiene que considerar una obra. Es importante remarcar la última consideración sobre los trabajos de mejora del medio físico o natural que también tendrán consideración de obra. Para acabar de definir si se considera o no obra a los trabajos forestales vale la pena rescatar el informe 10/2003 «Calificación de contratos que tienen por objeto actuaciones en el ámbito de conservación de monte y trabajos silvícolas» que suele licitar el Organismo Autónomo de Parques Nacionales. En este informe se concluye: "la Junta Consultiva de Contratación Administrativa, reiterado su criterio expuesto anteriormente, entiende que todo trabajo relacionado con la acción sobre el terreno que en la expresión del Organismo consultando pretende transformar activamente la realidad de una zona natural en la que se incluyen, además de trabajos de repoblación forestal de nueva planta, trabajos de recuperación de zonas degradadas, actuaciones infraestructurales de mejora de habitados, tienen que ser considerados como contratos de obras, mientras que las labores de mantenimiento de habitados, que no supongan la introducción de nuevos pies, alteraciones del paisaje, ni cambios en la estructura de masas vegetales, entre las que se comprenden la retirada de residuos, podas simples sobre ramas muertas o trabajos similares son propias de contratos de servicios. Bajo estas consideraciones, las diferentes tipologías de actividades en el ámbito de la gestión del medio natural se pueden enmarcar de acuerdo con el siguiente esquema:

1. Obra

- Maquinaria: apertura y repaso de caminos
- Trabajos selvícolas u otras afectaciones sobre arbolado vivo o muerto
- Repoblaciones
- Desbrozadas extensivas (Prevención de incendios)
- Áreas recreativas

2. Servicio

- Reposición de marras
- Podas
- Jardinería
- Desbrozadas manuales puntuales

Como consecuencia del razonamiento anterior, cabe considerar a la gran mayoría de trabajos forestales como una obra y como tal les será de aplicación el RD 1627/97. Para el resto de los trabajos no considerados como una obra se aplicará la ley básica de prevención de riesgos laborales.

1.1. El marco normativo

La legislación básica vigente, para los diferentes ámbitos en los que se ha desarrollado la normativa y que son de interés para los trabajos de carácter forestal, es la siguiente:

1. Prevención de riesgos laborales

- Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de Prevención de riesgos laborales.
- Real Decreto 39/1997, de 17 de enero, sobre el Reglamento de los Servicios de Prevención.
- Ley 54/2003, de 12 de diciembre, de reforma del marco normativo de la prevención de riesgos laborales.

2. Seguridad Social

- Real Decreto Legislativo 1/1994, de 20 de junio, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley General de la Seguridad Social.
- Real Decreto 1299/2006, de 10 de noviembre, por el que se aprueba el cuadro de enfermedades profesionales en el sistema de la Seguridad Social y se establecen criterios para su notificación.

3. Obras de construcción

- Real Decreto 1627/1997, de 24 de octubre, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud en las obras de construcción.
- Ley 32/2006 de la subcontratación en el sector de la construcción.

4. Requisitos mínimos de seguridad y salud en los lugares de trabajo

- Real Decreto 485/1997, de 14 de abril, sobre disposiciones mínimas en materia de señalización de seguridad y salud en el trabajo.
- Real Decreto 486/1997, de 14 de abril, por la que se disponen las condiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo.
- Real Decreto 487/1997, de 14 de abril, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la manipulación manual de cargas que entrañen riesgos, en particular dorsolumbares, para los trabajadores.
- Real Decreto 212/2002, que regula las emisiones sonoras en el entorno debidas a determinadas máquinas de uso al aire libre.

5. Riesgos relacionados con la exposición a agentes durante el trabajo

- Real Decreto 664/1997, de 12 de mayo, sobre protección de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a agentes biológicos durante el trabajo.

- Real Decreto 614/2001, de 8 de junio, sobre disposiciones mínimas para la protección de la salud y seguridad de los trabajadores frente al riesgo eléctrico.

- Real Decreto 374/2001, de 6 de abril, sobre la protección de la salud y seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con los agentes químicos durante el trabajo.

- Real Decreto 1416/2001, de 14 de diciembre, sobre envases de productos fitosanitarios.

- Real Decreto 1311/2005, de 4 de noviembre, sobre protección de la salud y la seguridad de los trabajadores frente a los riesgos derivados o que puedan derivarse de la exposición a vibraciones mecánicas.

- Real Decreto 286/2006, de 10 de marzo, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición al ruido.

6. Equipos de protección individual

- Real Decreto 1407/1992, de 20 de noviembre, por el que se regulan las condiciones para la comercialización y libre circulación intracomunitaria de los equipos de protección personal.

- Real Decreto 773/1997, de 30 de mayo, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la utilización por los trabajadores de equipos de protección individual.

- Real Decreto 1215/1997, de 18 de julio, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización por los trabajadores de los equipos de trabajo.

7. Máquinas

- Orden CTE/2780/2003, de 8 de octubre, por la que se actualizan los anexos I y II del Real Decreto 2028/1986, de 6 junio, sobre las normas para la aplicación de determinadas directivas de la CE, relativas a la homologación de tipo de vehículos automóviles, remolques, semirremolques, motocicletas, ciclomotores y vehículos agrícolas, así como de partes y piezas de dichos vehículos.

- Real Decreto 1644/2008, de 10 de octubre, por el que se establecen las normas para la comercialización y puesta en servicio de las máquinas.

- Real Decreto 1702/2011, de 18 de noviembre, de inspecciones periódicas de los equipos de aplicación de productos fitosanitarios.

2. La siniestralidad laboral en el ámbito forestal

Teniendo en cuento lo expuesto anteriormente, los estudios de seguridad y salud son hoy necesarios en cualquier proyecto forestal a pesar de que el RD 486/1997 sobre lugares de trabajo, el RD 664/1997 sobre exposición a agentes biológicos durante el trabajo y el RD 486/1997, de 14 de abril, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en los centros de trabajo han marginado completamente este ámbito. Esto hace más necesario, si cabe, profundizar sobre los riesgos a los que están expuestos los trabajadores en las obras forestales y en las medidas de prevención necesarias para evitarlos (tabla 17.1). En los siguientes apartados, se considerarán como «daños derivados del trabajo» las enfermedades, patologías o lesiones sufridas con motivo u ocasión del trabajo.

2.1. Accidentes de trabajo

Se entiende por tal, toda lesión corporal que el trabajador sufra con ocasión o por consecuencia del trabajo que se ejecute por cuenta ajena (art. 115 de la Ley General de la Seguridad Social). La norma amplia en su articulado las situaciones susceptibles de considerarse como tal, mereciendo la pena destacar, por su frecuencia, el accidente conocido como *in itinere*, es decir, los que sufra el trabajador al ir o al volver del lugar de trabajo (tabla 17.1). En 2017, el 72% de los accidentes de trabajo principalmente se produjeron en el monte y el 20% durante el trayecto al mismo. El resto, en otros lugares de trabajo.

Tabla 17.1. Índice de incidencia y accidentes labores en el ámbito de la selvicultura y los aprovechamientos forestales que han requerido la baja laboral desde el año 2007 al 2017. 1: número de accidentes anuales multiplicado por cien mil y dividido por la medida mensual de trabajadores afiliados a la Seguridad Social con la contingencia de accidentes de trabajo cubierta (UGT-CEC 2019).

Año	Índice de incidencia[1]	Totales	Leves	Graves	Mortales
2007	19 084	4 039	3 977	54	9
2008	16 335	3 886	3 818	59	9
2009	15 868	3 654	3 591	52	11
2010	15 256	3 391	3 343	40	8
2011	16 861	3 234	3 182	41	11
2012	13 876	2 132	2 089	41	2
2013	15 391	3 892	3 817	67	8
2014	16 913				
2015	17 504				
2016	16 357				
2017	16 351	2 924	2 873	44	7
2018		2 921	2 871	44	6

El índice de incidencia de la siniestralidad de este sector es el segundo más alto después de la minería. Este índice se calcula a partir de la relación entre el número de accidentes en un periodo de tiempo por cada mil trabajadores de empleo medio:

$$I_I = \frac{N^\circ \text{ total de accidentes x } 1.000}{N^\circ \text{ medio de personas exp uestas}}$$

Las principales causas del número de accidentes en 2017 que ocasionaron una baja laboral fueron: a) movimientos como consecuencia de esfuerzos físicos (27%), b) caídas de personas como consecuencia de resbalones o tropiezos (20%), c) pérdida del control de equipos de trabajo o materiales (17%), d) conducir o estar a bordo de un medio de transporte o equipo de carga (15%) (tabla 17.2).

Entre el tipo de lesiones al que dan origen estas heridas están: a) las dislocaciones, esguinces (42%), b) las heridas y lesiones superficiales (36%), c) las fracturas de huesos (8%), d) conmociones y lesiones internas (8%) (UGT-CEC 2019). Hay que destacar, también, que en el 26% de los accidentes no se habían evaluado los riesgos.

Tabla 17.2. Causa de los accidentes laborales en 2017 que han producido una baja laboral en el ámbito de la selvicultura y los aprovechamientos forestales (UGT-CEC 2019).

Causa	Número accidentes
Operaciones con máquinas	17
Trabajos con herramientas manuales	49
Conducir / estar a bordo de un medio de transporte o equipo de carga	440
Pérdida de control total o parcial de equipos de trabajo o materiales	499
Caída de personas, resbalón o tropezón con caída	580
Movimiento del cuerpo sin esfuerzo físico añadido	400
Movimiento del cuerpo como consecuencia de o con esfuerzo físico	791
Sorpresa, miedo, violencia, agresión, amenaza	22
Infartos, derrames cerebrales y otras causas naturales	2
Accidentes de tráfico	31
Otras causas	41
Sin información	52
Total	2 924

2.2. *Enfermedades profesionales*

La Ley General de la Seguridad Social (RDL 1/1994) definen a las enfermedades profesionales como aquellas contraídas a consecuencia del trabajo ejecutado por cuenta ajena en las actividades que se especifiquen y que estén provocadas por la acción de determinados elementos o sustancias específicos para cada enfermedad profesional (tabla 17.3). Las enfermedades especificadas se consideran de origen laboral sin necesidad de que el trabajador lo demuestre. Las enfermedades que se contraigan como consecuencia del trabajo (hecho que debe demostrarse) y que no estén contempladas en la normativa como enfermedades profesionales serán consideradas, a efectos legales, como accidentes de trabajo. Las lesiones catalogadas como enfermedades profesionales no se hacen patentes hasta que haya transcurrido un período más o

menos largo, como ocurre, entre otros, con los trastornos auditivos, la enfermedad de los dedos blancos o los dolores osteo-musculares.

Tabla 17.3. Enfermedades profesionales reconocidas en el ámbito forestal (BOE 2015a).

Agente	Subagente		Actividad
GRUPO 2. Enfermedades profesionales causadas por agentes físicos			
A. Hipoacusia o sordera provocada por el ruido	1. Sordera profesionales de tipo neurosensorial, frecuencias de 3 a 6 kHz, bilaterial simétrica e irreversible Trabajos que exponen a ruidos continuos cuyo nivel sonoro diario equivalente (según legislación vigente) sea igual o superior a 80 decibelios A, especialmente	2A0108	Talado y corte de árboles con sierras portátiles
B. Enfermedades osteoarticulares o angioneuróticas provocadas por las vibraciones mecánicas	1. Afectación vascular	2B0101	Trabajos en los que se produzcan: vibraciones transmitidas a la mano y al brazo por gran número de máquinas o por objetos mantenidos sobre una superficie vibrante (gama de frecuencia de 25 a 250 Hz), como son aquellos en los que se manejan maquinarias que transmitan vibraciones, como martillos neumáticos, punzones, taladros, taladros a percusión, perforadoras, pulidoras, esmeriles, sierras mecánicas, desbrozadoras
	2. Afectación osteoarticular	2B0201	Trabajos en los que se produzcan: vibraciones transmitidas a la mano y al brazo por gran número de máquinas o por objetos mantenidos sobre una superficie vibrante (gama de frecuencia de 25 a 250 Hz), como son aquellos en los que se manejan maquinarias que transmitan vibraciones, como martillos neumáticos, punzones, taladros, taladros a percusión, perforadoras, pulidoras, esmeriles, sierras mecánicas, desbrozadoras
E. Enfermedades provocadas por posturas forzadas y movimientos repetitivos en el trabajo:	1. Arrancamiento por fatiga de las apófisis espinosa	2E0101	Trabajos de apaleo o de manipulación de cargas pesadas
F. Enfermedades provocadas por posturas forzadas y movimientos repetitivos en el trabajo: parálisis de los nervios debidos a la presión	3. Síndrome del canal de Guyon por compresión del nervio cubital en la muñeca	2F0301	Trabajos en los que se produzca un apoyo prolongado y repetido de forma directa o indirecta sobre las correderas anatómicas que provocan lesiones nerviosas por compresión. Movimientos extremos de hiperflexión y de hiperextensión. Trabajos que entrañen compresión prolongada en la muñeca o de una presión mantenida o repetida sobre el talón de la mano, como ordeño de vacas, grabado, talla y pulido de vidrio, burilado, trabajo de zapatería, leñadores, herreros, peleteros, lanzadores de martillo, disco y jabalina

Agente	Subagente		Actividad
GRUPO 2. Enfermedades profesionales causadas por agentes físicos			
	4. Síndrome de compresión del ciático popliteo externo por compresión del mismo a nivel del cuello del peroné	2F0401	Trabajos en los que se produzca un apoyo prolongado y repetido de forma directa o indirecta sobre las correderas anatómicas que provocan lesiones nerviosas por compresión. Movimientos extremos de hiperflexión y de hiperextensión. Trabajos que requieran posición prolongada en cuclillas, como empedradores, soladores, colocadores de parqué, jardineros y similares.
G. Enfermedades provocadas por posturas forzadas y movimientos repetitivos en el trabajo	1. Lesiones del menisco por mecanismos de arrancamiento y compresión asociadas, dando lugar a fisuras o roturas completas	2G0101	Trabajos que requieran posturas en hiperflexión de la rodilla en posición mantenida en cuclillas de manera prolongada como son: Trabajos en minas subterráneas, electricistas, soladores, instaladores de suelos de madera, fontaneros.
GRUPO 3. Enfermedades profesionales causadas por agentes biológicos			
	1. Enfermedades infecciosas o parasitarias transmitidas al hombre por los animales o por sus productos y cadáveres	3B0123	Trabajos forestales
		3B0130	Personal de conservación de la naturaleza

Responsabilidad derivada del accidente de trabajo

Fernández-Pallarés LE (2013) Responsabilidad derivada del accidente de trabajo. Economist & Jurist **21 (175): 56-61.**

El Código Penal (CP) (Ley Orgánica 10/1995, 23 de noviembre) tipifica como delito la infracción de las normas de prevención de riesgos laborales cuando, estando legalmente obligado a ello, el empresario **no facilite los medios necesarios para que los trabajadores desempeñen su actividad con las medidas de seguridad e higiene adecuadas, de forma que pongan así en peligro grave su vida, salud o integridad física**. La pena que establece es de seis meses a tres años de prisión y multa de seis a doce meses. Cuando se considere que este delito se ha producido por imprudencia grave será castigado con la pena inferior en grado. Cuando en la comisión de estos delitos estén implicadas personas jurídicas se impondrá la pena a los administradores o encargados del servicio que hayan sido responsables de los mismos y a quienes conociéndolos y pudiendo remediarlos, no hubieran adoptado las medidas para ello (artículos 316-318). Es decir, solo las personas físicas pueden ser procesadas, aunque la persona jurídica podría ser condenada como responsable subsidiaria.

Si el accidente laboral conlleva la muerte del trabajador, podría imputarse el cargo de **homicidio imprudente**. En este sentido, el CP establece:

- Si la imprudencia es tipificada como grave, será castigado con la pena de prisión de uno a cuatro años. Conllevará, además, la pena de inhabilitación especial para el ejercicio de la profesión, oficio o cargo por un período de tres a seis años.

- Si la imprudencia es tipificada como menos grave será castigado con la pena de multa de tres meses a dieciocho meses.

Si el accidente de trabajo fuese considerado como delito por parte del órgano judicial competente, el trabajador o sus herederos podrían reclamar una indemnización por daños y perjuicios en el mismo proceso. La indemnización se determina conforme el baremo, que a falta de uno específico para accidentes laborales, de accidentes de circulación (L 35/2015, de 22 de septiembre). Según este baremo tienen derecho a indemnización los daños por **muerte, secuelas y lesiones temporales**. En cada uno de estos daños se pueden reparar los **perjuicios personales básicos, particulares y patrimoniales**.

Los responsables penales son directamente responsables de la indemnización por daños y perjuicios. La persona jurídica será también responsable solidaria del pago de la indemnización a la víctima si el patrimonio del responsable penal no fuera suficiente para cubrir el importe de dicha indemnización.

El accidente laboral puede ser también motivo de **sanción administrativa**. Las sanciones correspondientes a las infracciones en materia de prevención de riesgos laborales consisten en una multa que oscila en función de la gravedad de la misma. Estas multas están tipificadas en el Texto Refundido sobre la Ley de Infracciones y Sanciones en el Orden Social (RDL 5/2000, 4 de agosto). Si como consecuencia del accidente sufrido por el trabajador se derivan **prestaciones de la Seguridad Social** para éste o para sus herederos (por incapacidad temporal, permanente, etc.), éstas se verán incrementadas en un porcentaje comprendido entre el 30 y 50%. Ahora bien, no todo accidente de trabajo conlleva la imposición de este recargo de prestaciones. Para ello, la lesión deberá producirse por causa de máquinas, artefactos o en instalaciones, centros o lugares de trabajo que carezcan de los dispositivos de precaución reglamentarios, los tengan inutilizados o en malas condiciones, o cuando no se hayan observado las medidas generales o particulares de seguridad e higiene en el trabajo. Asimismo, deberán tomarse en consideración las características relativas a la edad, sexo y demás condiciones del trabajador. Esta responsabilidad se impone sobre el empresario infractor, es decir, aquél que haya incumplido las obligaciones preventivas y que no necesariamente debe ser el empleador del trabajador accidentado. Un ejemplo habitual de supuestos en los cuales se impone el recargo de las prestaciones públicas a un empresario distinto del empleador, suele producirse en el actividades preventivas cuando dos o más empresas operan a través de sus respectivas plantillas en un mismo centro de trabajo. El Tribunal Supremo ha determinado que esta sanción tiene una naturaleza mixta, es decir, constituye al mismo tiempo una sanción para el empresario incumplidor y una indemnización para el empleado o sus herederos. El recargo cumple una función punitiva que cohabita con la función reparadora del daño que asume la indemnización. A resultas de esta consideración mixta, el recargo de prestaciones puede ser impuesto simultáneamente con las sanciones que puedan derivarse de los ámbitos penal o laboral en los términos explicados anteriormente.

3. Los riesgos laborales

Tradicionalmente se han distinguido, atendiendo a la naturaleza u origen de los agentes y factores de riesgo, las siguientes categorías (Millán 1996): 1) Riesgos provocados por agentes mecánicos, 2) Riesgos ocasionados por agentes físicos, 3) Riesgos provocados por agentes químicos, 4) Riesgos originados por agentes biológicos, 5) Riesgos provocados por la carga de trabajo y 6) Riesgos ocasionados por factores psicológicos y sociales.

3.1. Riesgos provocados por agentes mecánicos

Hacen referencia al ambiente mecánico del trabajo, es decir, a los riesgos provocados por los espacios de trabajo, las máquinas y las herramientas manuales:

- Espacio de trabajo. Partiendo de que el monte es el espacio de trabajo, los riesgos que cabría considerar en este apartado serían producto de caídas al mismo o distinto nivel, choque con objetos inmóviles, etc.

- Herramientas manuales. Los principales riesgos asociados a la utilización de herramientas manuales son: golpes y cortes en manos ocasionados por las propias herramientas durante el trabajo, golpes en diferentes partes del cuerpo por despido de la propia herramienta o del material sobre el que se esté trabajando, esguinces por sobreesfuerzos o gestos violentos, lesiones en ojos o cara por partículas proyectadas. Las principales causas que originan estos riesgos son: abuso de la herramienta para la realización de cualquier operación, uso de herramientas inadecuadas, defectuosas, de mala calidad o mal diseñadas, uso de herramientas de forma incorrecta, herramientas abandonadas en lugares peligrosos, herramientas transportadas de forma peligrosa y herramientas mal conservadas.

- Máquinas. Los principales riesgos asociados a las máquinas son: vuelcos, atropellos, atrapamientos, aplastamientos y proyección de partículas.

Figura 17.1. Semichasis trasero de autocargador volcado por la orografía del terreno (Foto: I. Tejido).

3.2. Riesgos ocasionados por agentes físicos

Hacen referencia al ambiente físico del trabajo, es decir a los riesgos provocados por: el ruido, las vibraciones, las radiaciones, la iluminación, el calor, el frío, la electricidad, los incendios y las explosiones. En las repoblaciones forestales, los que tienen una mayor relevancia son: 1) Ruido, 2) Vibraciones, 3) Calor y frío y 4) Incendios y explosiones.

1. Ruido. Produce lesiones fisiológicas o psicológicas, siendo la más grave de todas ellas la sordera profesional. Según lo dispuesto por el RD 286/2006 los valores límite de exposición

y los valores de exposición que dan lugar a una acción están referidos a los niveles de exposición diaria equivalente ($L_{Aeq,d}$) y a los niveles de pico (L_{pico}) (tabla 17.4).

Tabla 17.4. Valores límite de exposición y valores de exposición que dan lugar a una acción (RD 286/2006).

Valores	$L_{Aeq,d}$ dB(A)	L_{pico} dB(C)
Límite de exposición	87	140
Superiores de exposición que dan lugar a una acción	85	137
Inferiores de exposición que dan lugar a una acción	80	135

En las operaciones de extracción y saca de la madera, los niveles de ruido que pueden constituir un riesgo para el trabajador son los que corresponden al empleo de algunas máquinas como es el caso de las motosierras, motodesbrozadoras o los tractores para el desembosque (tabla 17.5) (figura 17.2). En el caso del uso de máquinas, el ruido al que está expuesto el trabajador debe considerar el nivel de pico, que corresponde al momento de máxima aceleración de la motosierra o motodesbrozadora cuando esta haciendo la operación, y el nivel continuo, cuando la máquina está al ralentí cuando el operario se está desplazando.

Figura 17.2. Operario con motodesbrozadora (izquierda) y motosierra (derecha) con protectores acústicos (Fotos: J. Pemán).

La exposición al ruido puede ocasionar hipoacusia, alteraciones del sueño, excitabilidad, pérdida de capacidad de atención y reacción, etc. Para atenuar el ruido, los usuarios de estas máquinas deberán ir provistos de protectores auditivos.

2. Vibraciones. De acuerdo con lo establecido por el RD 1311/2005 la evaluación del riesgo derivado de la exposición a vibraciones mecánicas debe hacerse determinando el valor del parámetro A(8), que representa el valor de la exposición diaria normalizado para un periodo de 8 horas. Conocidos el valor de la aceleración eficaz de la vibración a que está sometido el trabajador y el tiempo de exposición a la misma, puede calcularse el valor de A(8), que se hará de manera diferente según se trate de vibraciones mano-brazo o de cuerpo entero. Stihl ofrece una calculadora *online* para la estimación de la vibración diaria a la que el trabajador está expuesto (STIHL 2019). Los valores que dan lugar a una acción y los valores límite admitidos son (RDL 1311/2005):

- Vibraciones transmitidas al sistema mano-brazo. Valor que da lugar a una acción 2,5 m s^{-2} y 5 m s^{-2} valor límite.

- Vibraciones transmitidas al cuerpo entero. Valor que da lugar a una acción 0,5 m s^{-2} y 1,15 m s^{-2} valor límite.

Tabla 17.5. Niveles equivalentes de presión sonora de algunas herramientas motorizadas utilizadas en el aprovechamiento maderero.

Herramienta	Nivel equivalente de presión sonora ($L_{Aeq\ T,n}$) dB(A)	Características de la medición
Motosierras Husqvarna	100 a 114	En el oído
Motodesbrozadoras Husqvarna	94 a 103	En el oído

Tabla 17.6. Niveles de vibración de algunas máquinas herramientas utilizadas en los aprovechamientos madereros ([1]: considerando 3,5 h de tiempo diario de exposición, [2]: considerando 3 h de tiempo diario de exposición). (https://www.stihl.es/informacion-sobre-la-directiva-para-vibraciones-2002-44-CE.aspx).

Herramienta	Carga de vibración diaria A(8) (m s^{-2})	Características de la medición
Motodesbrozadoras STIHL FS 510 CEM	2[1]	Empuñadora izquierda
	2[1]	Empuñadora derecha
Motosierras STHIL 311	4	Empuñadura

Las vibraciones producen, principalmente, déficits en el aparato circulatorio, acolchando los dedos de las manos, hinchazones, dolores en las articulaciones, etc.

3. Calor y frío. Los riesgos provocados por el calor y el frío son producto de las condiciones termohigrométricas del lugar de trabajo. Son variables; desde el estrés térmico (golpes de calor) que puede provocar fiebre, pérdidas de conciencia o hipotensión hasta los principios de congelación originados por unas condiciones de bajas temperaturas. Para el caso de las altas temperaturas, se ha definido unos niveles de alerta en función del concepto de sensación térmica según la temperatura ambiental, la humedad relativa del aire y la velocidad del viento (tablas 17.7 y 17.8).

Tabla 17.7. Niveles de riesgo por altas temperaturas (Centro Prevención Riesgos Laborales 2007).

Categoría del peligro	Sensación térmica (°C)	Síndrome que produce
Extremo peligro	> 55	Golpe de calor, insolación inminente
Peligro	40 a 55	Insolación, golpe de calor, calambres. Muy posibles por exposición prolongada o actividad física
Precaución extrema	32 a 40	Insolación, golpe de calor, calambres. Posibles por exposición prolongada o actividad física
Precaución	27 a 32	Posible fatiga por exposición prolongada o actividad física

Tabla 17.8. Consecuencias de las altas temperaturas en el trabajador. Sensación térmica combinando la temperatura, humedad y la velocidad del viento. Al valor obtenido por la temperatura y humedad relativa habrá que sumar o restar las unidades según la velocidad del viento (Centro Prevención Riesgos Laborales 2007).

T(°C)	Humedad relativa (%)																					Velocidad viento (km h^{-1})				
	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	< 12,5	12,5 a 21,5	21,5 a 36	36 a 50	> 50
20	16	16	17	17	17	18	18	19	19	19	19	19	20	20	20	21	21	21	21	21	21	0	-1	-3	-4	-4
21	18	18	18	19	19	19	19	19	20	20	20	20	21	21	21	22	22	22	22	22	23	0	-1	-3	-4	-4
22	19	19	19	20	20	20	20	20	21	21	21	21	22	22	22	22	23	23	23	23	24	0	-1	-2	-3	-4
23	20	20	20	20	21	21	22	22	22	23	23	23	23	24	24	24	24	24	24	25	25	0	-1	-2	-3	-4
24	21	21	22	22	22	22	23	23	23	24	24	24	24	25	25	25	25	26	26	26	26	0	-1	-2	-3	-4
25	22	23	23	23	24	24	24	24	24	24	25	25	25	26	26	26	27	27	27	28	28	0	-1	-2	-3	-4
26	24	24	24	24	25	25	25	26	26	26	26	27	27	27	27	28	28	29	29	29	30	0	-1	-2	-3	-3
27	25	25	25	25	26	26	26	27	27	27	27	28	28	29	29	30	30	31	31	31	33	0	-1	-2	-3	-3
28	26	26	26	26	27	27	27	28	28	28	29	29	29	30	31	32	32	33	34	34	36	0	-1	-2	-3	-3
29	26	26	27	27	27	28	29	29	29	29	30	30	31	33	33	34	35	35	37	38	40	0	0	-1	-2	-3
30	27	27	28	28	28	28	29	29	30	30	31	32	33	34	35	36	37	39	40	41	45	0	0	-1	-2	-2
31	28	28	29	29	29	29	30	31	31	31	33	34	35	36	37	39	40	41	45	45	50	0	0	-1	-2	-2
32	29	29	29	29	30	31	31	33	33	34	35	35	37	39	40	42	44	45	51	51	55	0	0	-1	-1	-1
33	29	29	30	30	31	33	33	34	34	35	36	38	39	42	43	45	49	49	53	54	55	0	0	0	-1	-1
34	30	30	31	31	32	34	34	35	36	37	38	41	42	44	47	48	50	52	55			0	0	0	0	0
35	31	32	32	32	33	35	35	37	37	40	40	44	45	47	51	52	55					0	0	0	0	1
36	32	33	33	34	35	36	37	39	39	42	43	46	49	50	54	55						0	0	0	1	1
37	32	33	34	35	36	38	38	41	41	44	46	49	51	55								0	0	0	1	2
38	33	34	35	36	37	39	40	43	44	47	49	51	55									0	0	0	1	2
39	34	35	36	37	38	41	41	44	46	50	50	55										0	0	1	2	2
40	35	36	37	39	40	43	43	47	49	53	55											0	0	1	2	3
41	35	36	38	40	41	44	45	49	50	55												0	0	1	2	3
42	36	37	39	41	42	45	47	50	52	55												0	0	1	2	3
43	37	38	40	42	44	47	49	53	55													0	0	1	2	3
44	38	39	41	44	45	49	52	55														0	0	1	2	3
45	38	40	42	45	47	50	54	55														0	0	1	2	3

En el caso de las bajas temperaturas, si la temperatura central del cuerpo humano desciende por debajo de los 35 °C, se produce una situación en la que el organismo no es capaz de generar el calor necesario para garantizar el mantenimiento adecuado de las funciones fisiológicas. Cuando el flujo de calor cedido al ambiente es excesivo, la temperatura del cuerpo desciende y existe riego de sufrir estrés por frío. Los efectos clínicos de la exposición al frío son inmediatos: entumecimientos, escalofríos, disfunción neuromuscular, congelaciones, etc. La consecuencia más grave de la exposición al frío es la hipotermia (tabla 17.9). La determinación del enfriamiento local por convección se puede realizar a través de la siguiente expresión propuesta por Monroy y Luna (2015).

Tabla 17.9. Consecuencias de las bajas temperaturas en el trabajador. Sensación térmica combinando la temperatura y la velocidad del viento (t_{wc}). Color amarillo: Riesgo 1. Frío molesto; Color naranja: Riesgo 2, muy frío, riesgo de congelación de la piel; Color rojo: Frío intenso, riesgo de congelación profunda en 10 minutos (Monroy y Luna 2015).

Velocidad viento suelo (km h^{-1})	Temperatura aire (°C)					
	5	0	-5	-10	-15	-20
5	3,3	-2,6	-8,4	-14,3	-20,1	-26,0
10	1,7	-4,4	-10,6	-16,7	-22,9	-29,1
15	0,8	-5,6	-12,0	-18,3	-24,7	-31,1
20	0,1	-6,5	-13,0	-19,5	-26,0	-32,6
25	-0,5	-7,2	-13,8	-20,5	-27,1	-33,8
30	-1,0	-7,8	-14,5	-21,3	-28,0	-34,8
35	-1,5	-8,3	-15,2	-22,0	-28,8	-35,7
40	-1,8	-8,8	-15,7	-22,6	-29,5	-36,5
45	-2,2	-9,2	-16,2	-23,2	-30,2	-37,2
50	-2,5	-9,6	-16,6	-23,7	-30,8	-37,8
55	-2,8	-9,9	-17,0	-24,2	-31,3	-38,4

4. Incendios y explosiones. En los incendios cabe valorar tanto el riesgo de que tuviese lugar un incendio forestal en el monte o que se produjese un incendio por el manejo de sustancias inflamables (por ejemplo, la gasolina utilizada como combustible de las máquinas). En cuanto a las explosiones, el riesgo hace referencia tanto a las producidas por el manejo de explosivos comerciales, como por la concentración de ciertos vapores o gases inflamables.

3.3. Agentes químicos

Hacen referencia a los contaminantes químicos, que están presentes en el aire en forma de gases, vapores o aerosoles producto del desarrollo del propio trabajo (tratamientos fitocidas o insecticidas). La importancia de estos agentes en cuanto a la seguridad y la salud se mide en función de su toxicidad. En el ámbito de las operaciones de apeo y saca, ante la ausencia del

uso de fitocidas, el polvo podría ser el causante de problemas respiratorios. En el caso de los aprovechamientos sobre superficies quemadas este aspecto es muy relevante (figura 17.3).

Figura 17.3. Operaciones de apeo y procesado en un monte quemado recientemente en donde las partículas de cenizas en el aire pueden exigir medidas de protección de los trabajadores (Foto: M. Garasa).

3.4. *Agentes biológicos*

Para los trabajos forestales en el monte, cabría considerar que estos agentes hacen referencia al ambiente biológico del trabajo, referido a las especies de la flora y fauna que están presentes en el mismo, y que pueden ocasionar algún daño al trabajador (Sanz 1982; Rivera y Obón de Castro 1991; Valledor de Lozoya 1994). Los daños más relevantes son: las picaduras, principalmente de las garrapatas, los arañazos ocasionados por el roce con la vegetación espinosa y las intoxicaciones producidas por la ingestión o el contacto con plantas tóxicas (tabla 17.10).

Tabla 17.10. Riesgos biológicos producidos por la acción de los animales (Sanz 1982; Valledor de Lozoya 1994).

Especie	Daños y Hábitat	Síntomas
	INSECTOS	
Lepidópteros *Thaumetopoea pityocampa*	Frecuente en pinares. Forman bolsones típicos en la parte aérea. Cuando se desplazan forman largas hileras.	Dermatitis, conjuntivitis, alergias respiratorias, rinitis
Euproctis chrysorrhoea	Defoliadora de frondosas. Mediada la primavera cuando las orugas ya son adultas, es cuando desarrollan pelos urticantes.	
Pulgas (*Pulex irritans*)	Parásito del hombre y otros animales domésticos.	Irritación, lesiones eritematosas, urticaria, erupciones vesiculosas
Abejas (*Apis mellifica*) y avispas (*Vespula vulgaris*)	Pican si se les perturba en sus colmenas	Dolor vivo, instantáneo, prurito, eritema y ligero edema. A veces náuseas, vómitos, dolor abdominal, fiebre, cefalea, etc. Pueden producir reacciones anafilácticas

Especie	Daños y Hábitat	Síntomas
ARÁCNIDOS		
Araña negra mediterránea (*Latrodectes tredecimguttatus*)	Plantas o arbustos en lugares soleados, muros, pedregales.	Dolor y síntomas locales. A veces, no son perceptibles, aunque posteriormente se presentan dolores por todo el cuerpo, ardor o escozor en la planta de los pies, calambres y espasmos musculares, rigidez de la pared abdominal, retención urinaria, etc. Mortalidad: muy baja
Escorpión amarillo o alacrán (*Buthus occitanus*)	Zonas áridas y calurosas de la Península. Comportamiento nocturno, el día lo pasa bajo las piedras o en sus madrigueras.	
Garrapatas (gen. *Dermacentor, Amblyomma, Ixodes*)	Son ectoparásitos de mamíferos, aves, reptiles y anfibios. Están entre la hierba y la vegetación esperando el paso de algún animal para instalarse en el y parasitarle.	Cuando permanecen fijas durante días pueden producir picor y dolor local, esquimosis e incluso alguna úlcera necrótica. Pueden ser transmisores de enfermedades infecciosas como la enfermedad de Lyme.
MIRÍAPODOS		
Escolopendra (*Scolopendra cingulata, S.morsitans*)	Comportamiento diurno. Por el día están bajo las piedras, troncos, en la corteza.	Dolor y síntomas locales. A veces, no son perceptibles, aunque posteriormente se presentan dolores por todo el cuerpo, ardor o escozor en la planta de los pies, calambres y espasmos musculares, rigidez de la pared abdominal, retención urinaria, etc. Mortalidad: muy baja
VÍBORAS		
Víbora hocicuda (*Vipera latasti*)	Toda la Península a excepción del N de Galicia, Cordillera Cantábrica, Pirineos y País Vasco.	Dolor intenso, edema local, cefalea, vómitos, taquicardia e hipertensión arterial. Mortalidad: muy baja (1%), si se asiste por un médico durante las primeras 24 h.
Vibora áspid (*Vipera aspis*)	País Vasco y Pirineos	
Víbora europea (*Vipera berus*)	Galicia, Cordillera Cantábrica y Pirineos	
Víbora de Seoane (*Vipera seoanei*)	Galicia, Cordillera Cantábrica, y País Vasco.	

Las enfermedades que pueden ocasionar los contaminantes biológicos que tradicionalmente se consideran como son las bacterias, protozoos, virus, hongos y gusanos parásitos son muy numerosas (Culver 2014).

3.5. Carga de trabajo

Hace referencia a los riesgos provocados por la cantidad de trabajo que, en ocasiones, exige al trabajador la necesidad de realizar unos sobreesfuerzos físicos o psíquicos que superen su capacidad o exige la realización del trabajo en una posición inadecuada. Los efectos que pueden producir en el trabajador son la fatiga física o psíquica.

Cuando la carga de trabajo hace referencia a la manipulación manual de cargas, debe tenerse en cuenta que toda carga superior a 3 kg puede entrañar un potencial de riesgo dorsolumbar, por lo cual se debe realizar una evaluación del mismo. Existen diferentes ecuaciones que pretenden evaluar el manejo de cargas en el trabajo, siendo una de las más utilizadas la ecuación del NIOSH (*National Institute for Occupational Safety and Health*). Esta ecuación determina el límite de peso recomendado, a partir de una ecuación en la que intervienen siete factores, y el índice de riesgo asociado, a partir del cociente entre la carga levantada y el límite de peso recomendado (Nogareda y Canosa 1998). En esta ecuación, la constante de carga, entendida como el peso máximo recomendado para un levantamiento bajo condiciones óptimas, con un buen asimiento de la carga y levantando la carga menos de 25 cm, quedó fijado en 23 kg.

En el aprovechamiento maderero, a excepción de la saca manual o el apilamiento manual, la manipulación normal de cargas hace referencia al transporte de la motosierra por parte del motoserrista. Los pesos de las motosierras pueden oscilar desde 4,5 kg para motosierras de cilindrada de 42 cm^3 hasta 10 kg para las motosierras de 100 cm^3 (figura 17.3).

Figura 17.4. Motoserrista desplazándose por el área de corta (Foto: J. Pemán).

3.6. Factores psicológicos y sociales

Hacen referencia a aquellas condiciones que se encuentran presentes en una situación laboral y que están directamente relacionadas con la organización, el contenido del trabajo y la realización de la tarea y que tienen capacidad para afectar tanto al bienestar y salud del trabajador como al desarrollo del trabajo (jornada de trabajo, turnos, ritmo, tipo de dirección, niveles de información, etc.). Los efectos que pueden producir en el trabajador son la insatisfacción o el estrés, de los que pueden derivarse comportamientos que pueden producir accidentes.

4. La evaluación de los riesgos laborales

La prevención regula una serie de obligaciones para empresas y trabajadores con objeto de que no se produzcan accidentes laborales o enfermedades profesionales (figura 17.5). Según

establece la L 31/1995, la política en materia de prevención tendrá por objeto la promoción de la mejora de las condiciones de trabajo dirigida a elevar el nivel de protección de la seguridad y la salud de los trabajadores. Los principios que inspiran las medidas de prevención a aplicar por el empresario, son los siguientes:

1. Evitar los riesgos.
2. Evaluar los riesgos que no se puedan evitar.
3. Combatir los riesgos en origen.
4. Adaptar el trabajo a la persona, en particular en lo que respecta a la concepción de puestos de trabajo, con el objetivo de reducir el trabajo monótono y repetitivo y los efectos del mismo en la salud.
5. Tener en cuenta la evolución de la técnica.
6. Sustituir lo peligroso por lo que entrañe poco o ningún peligro.
7. Planificar la prevención.
8. Adoptar medidas que antepongan la protección colectiva a la individual.
9. Dar las debidas instrucciones a los trabajadores.

Figura 17.5. Cartel a la entrada de la industria del grupo Garnica en donde se hace referencia a la siniestralidad a lo largo del año. Foto tomada en Noviembre de 2019 (Foto: J. Pemán).

La acción preventiva en la empresa la planificará el empresario, a partir de una evaluación inicial de los riesgos para la seguridad y la salud de los trabajadores, que se realizará teniendo en cuenta la naturaleza de la actividad. Esta evaluación va dirigida a estimar la magnitud de los

riesgos que no han podido evitarse, de manera que el empresario pueda tomar una decisión sobre las medidas preventivas a adoptar. La evaluación de los riesgos deberá realizarse en todos y cada uno de los puestos de trabajo, teniendo en cuenta las condiciones de trabajo existentes o previstas y las condiciones particulares del trabajador que las desarrolle, para lo cual deberá responderse a la pregunta ¿es segura la situación de trabajo analizada?.

En el análisis de cada uno de los puestos de trabajo habrá que recabar la mayor información disponible, entre la que se puede citar por ejemplo la siguiente (INSHT 1998): 1) Tareas a realizar. Su duración y frecuencia, 2) Lugares donde se realiza el trabajo, 3) Quien realiza el trabajo, tanto permanente como ocasional, 4) Otras personas que puedan ser afectadas por las actividades de trabajo, 5) Formación que han recibido los trabajadores sobre la ejecución de sus tareas, 6) Procedimientos escritos de trabajo, y/o permisos de trabajo, 7) Instalaciones, maquinaria y equipos utilizados, 8) Herramientas manuales movidas a motor utilizadas, i) Instrucciones de fabricantes y suministradores para el funcionamiento y mantenimiento de la maquinaria y equipos, 9) Tamaño, forma, carácter de la superficie y peso de los materiales a manejar, 10) Distancia y altura a las que han de moverse de forma manual los materiales, 11) Requisitos de la legislación vigente sobre la forma de hacer el trabajo, maquinaria y sustancias utilizadas, 12) Datos de actuación en prevención de riesgos laborales: incidentes, accidentes, enfermedades laborales derivadas de la actividad que se desarrolla, de los equipos y de las sustancias utilizadas. Debe buscarse información dentro y fuera de la organización, 13) Datos de evaluaciones de riesgos existentes, 14) Organización del trabajo.

Un vez analizados los diferentes puestos de trabajo se procede a la evaluación de los riesgos laborales. En el proceso de evaluación cabe distinguir las siguientes etapas (INSHT 1998): a) Análisis del riesgo, b) Valoración del riesgo.

4.1. Análisis del riesgo

El análisis del riesgo se compone de: 1) Identificación del peligro y 2) Estimación del riesgo.

Para la identificación del peligro conviene responder a tres preguntas: ¿Existe un fuente de daño?, ¿Quién puede ser dañado? y ¿Cómo puede ocurrir el daño?. Para la identificación de los peligros, en cada uno de los puestos de trabajos y tareas que realiza el trabajador, es muy conveniente seguir la estructura de los posibles agentes de daños comentados en el epígrafe 3.

Identificados los peligros en cada puesto de trabajo, procede realizar el análisis del riesgo mediante el análisis de la severidad del daño, o de sus consecuencias, y de la probabilidad de que este ocurra. El análisis de la severidad del daño debe considerar las partes del cuerpo que se verán dañadas y la naturaleza del daño que se suele graduar en tres niveles: 1) Ligeramente dañino. Correspondería con daños superficiales y molestias o irritaciones, 2) Dañino. Correspondería con laceraciones, quemaduras, conmociones, fracturas menores, sorderas, o enfermedades que conducen a una incapacidad menor, 3) Extremadamente dañino. Correspondería con

amputaciones, fracturas mayores, lesiones múltiples, enfermedades crónicas, consecuencias mortales. La estimación de la probabilidad de ocurrencia del daño se estructura en tres niveles: 1) Alta. Ocurrirá siempre o casi siempre, 2) Media. Ocurrirá en algunas ocasiones y 3) Baja. Ocurrirá raras veces.

La estimación del riesgo a partir de la estimación de la probabilidad y la severidad del daño se puede realizar mediante una sencilla interacción entre los niveles en que se ha estructurado cada una de ellas (tabla 17.11, figura 17.6).

Tabla 17.11. Estimación del riesgo en función de la probabilidad y la severidad del daño (INSHT 1998).

Probabilidad	Severidad del daño		
	Ligeramente dañino	Dañino	Extremadamente dañino
Baja	Trivial	Tolerable	Moderado
Media	Tolerable	Moderado	Importante
Alta	Moderado	Importante	Intolerable

4.2. *Valoración del riesgo*

Una vez estimado el riesgo existente en cada uno de los puestos de trabajo proceder decidir las acciones que deben realizarse, para lo cual puede ser de interés las propuestas por el INHST (1998):

EVALUACIÓN DE RIESGOS							Hoja 1 de 2				
Localización:							Evaluación: Inicial / Periódica				
Puestos de trabajo:											
Número de trabajadores: *Adjuntar relación nominal*							Fecha evaluación: Fecha última evaluación:				
PELIGRO IDENTIFICADO	PROBABILIDAD			CONSECUENCIAS			ESTIMACIÓN DEL RIESGO				
	B	M	A	LD	D	ED	T	TO	M	I	IN

Probabilidad. B: Baja; M: Media; A: Alta
Consecuencias. LD: Ligeramente dañino; D: dañino; ED: Extremadamente dañino
T: trivial ; TO: Tolerable; M: Moderado
I: Importante; IN: Intolerable

Figura 17.6. Modelo de estadillo de evaluación de riesgos para cada uno de los puestos de trabajo (INSHT 1998).

- Riesgo trivial. No requiere acción específica.

- Riesgo tolerable. No precisa de mejora de la acción preventiva aunque se recomienda el estudio de posibles alternativas que mejoren las condiciones de trabajo y la realización de comprobaciones periódicas.

- Riesgo moderado. Se precisa la implementación de acciones para reducir el riesgo. Si está asociado a una severidad extremadamente dañina exige la implementación de acciones para comprobar la probabilidad del daño de cara a implementar otras medidas de control.

- Riesgo importante. No debe comenzarse el trabajo hasta que se haya reducido el mismo.

- Riesgo intolerable. No debe comenzarse el trabajo hasta que se haya reducido el mismo y si no es posible su reducción el trabajo debe prohibirse.

La documentación que se debe elaborar y conservar a disposición de la autoridad laboral será la siguiente:

- Evaluación de los riesgos para la seguridad y salud en el trabajo y planificación de la acción preventiva.

- Medidas de protección y de prevención a adoptar, y en su caso, material de protección que deba utilizarse.

- Resultado de los controles periódicos de las condiciones de trabajo y de la actividad de los trabajadores.

- Práctica de los controles del estado de salud de los trabajadores.

- Relación de accidentes de trabajo y enfermedades profesionales que hayan causado al trabajador una incapacidad laboral superior a un día de trabajo.

Las obligaciones de los trabajadores en materia de prevención son las siguientes:

- Velar, según sus posibilidades y mediante el cumplimiento de las medidas de prevención, por su propia seguridad y salud en el trabajo y por la de aquellas otras personas a las que pueda afectar su actividad profesional.

- Usar adecuadamente las máquinas, herramientas y materiales.

- Utilizar correctamente los medios y equipos de protección.

- No modificar ni anular, y utilizar correctamente, los dispositivos de seguridad.

- Informar de inmediato cualquier situación que entrañe riesgos.

- Cooperar con el empresario para que éste pueda garantizar unas condiciones de trabajo seguras.

- Recibir formación adecuada en materia preventiva.

El Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT)

El INSHT realiza una labor de difusión de los conocimientos y requerimientos necesarios para facilitar la aplicación de las normas en materia de prevención de riesgos laborales. Un buen ejemplo son la colección de Notas Técnicas de Prevención (NTP), las fichas de divulgación normativa (FDN) o las Guías técnicas (GT). La colección de NTP obedece al propósito del INSHT de facilitar a los agentes sociales y a los profesionales de la prevención de riesgos laborales herramientas técnicas de consulta. Estos documentos no son vinculantes, ni de obligado cumplimiento. Pretenden facilitar la aplicación técnica de las exigencias legales. Las FDN son documentos informativos que recogen, de manera sencilla, los conceptos técnicos y legales del tema tratado y facilitan las fuentes o caminos a seguir para obtener la información adicional que se precise. Las publicaciones que pueden ser de interés para la prevención de riesgos laborales en los trabajos forestales son las siguientes:

- Agentes físicos

NTP 1036: Estrés por frío (I). Año 2015

NTP 1037: Estrés por frío (II). Año 2015

Guía Técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relacionados con la exposición de los trabajadores al ruido

FDN-9: Ruidos emitidos por las máquinas. Año 2013

NTP 270: Evaluación de la exposición al ruido. Determinación de niveles representativos. Año 1991

NTP 950: Estrategias de medición y valoración de la exposición a ruido (I): incertidumbre de la medición. Año 2012

NTP 951: Estrategias de medición y valoración de la exposición a ruido (II): tipos de estrategias. Año 2012

NTP 952: Estrategias de medición y valoración de la exposición a ruido (III): ejemplos de aplicación. Año 2012

NTP 960: Ruido: control de la exposición (I). Programa de medidas técnicas o de organización. Año 2012

Guía Técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relacionados con las vibraciones mecánicas

NTP 792: Evaluación de la exposición a la vibración mano-brazo. Evaluación por estimación. Año 2008

NTP 839: Exposición a vibraciones mecánicas. Evaluación del riesgo. Año 2009

NTP 922: Estrés térmico y sobrecarga térmica: evaluación de los riesgos (I). Año 2011

NTP 923: Estrés térmico y sobrecarga térmica: evaluación de los riesgos (II). Año 2011

NTP 963: Vibraciones: vigilancia de la salud en trabajadores expuestos. Año 2013

NTP 1068: Vibraciones: alternativas para evaluar el riesgo de vibraciones. Estimación

NTP 378: Recipientes metálicos para líquidos inflamables

- Agentes biológicos

NTP 1020: Riesgos biológicos en silvicultura, explotación forestal y jardinería: prevención

- Agentes químicos

NTP 883: Productos fitosanitarios: medidas preventivas en los equipos de aplicación. Año 2010

NTP 1067: Pulverizador de productos fitosanitarios: requisitos de inspección

NTP 1047: Pulverizador de productos fitosanitarios: seguridad

NTP 1033: Productos fitosanitarios: prevención de riesgos durante su uso. Año 2015

NTP 1005: Inspección de los equipos de aplicación de productos fitosanitarios. Año 2014

- Carga de trabajo

Guía técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relativos a la Manipulación manual de cargas

NTP 477: Levantamiento manual de cargas: ecuación del NIOSH. Año 1998

NTP 964: Carga física en jardinería: principales riesgos y sus consecuencias para la salud. Año 2013

NTP 965: Carga física en jardinería: métodos de evaluación y medidas preventivas. Año 2013

- Maquinaria

FDN-25 Tractores: comercialización y uso. Año 2011

NTP 259: Tractor agrícola: prevención del vuelco. Año 1989

NTP 1086: Tractor agrícola: estabilidad frente al vuelco

NTP 1087: Tractor agrícola: prevención del riesgo de vuelco

NTP 868: Grúas hidráulicas articuladas sobre camión (I). Año 2010

NTP 869: Grúas hidráulicas articuladas sobre camión (II). Año 2010

NTP 1038: Dispositivos de sujeción de equipos de trabajo y cargas diversas sobre vehículos de transporte: seguridad. Año 2015

NTP 774: Sistemas anticaídas. Componentes y elementos. Año 2007

- Equipos de protección individual

Guía técnica para la evaluación y prevención de los riesgos para la utilización por los trabajadores en el trabajo de equipos de protección individual

FDN-7: Selección y uso de los Equipos de Protección Individual. Año 2010

NTP 227: Calzado de seguridad contra riesgos mecánicos: Guías para la elección, uso y mantenimiento

NTP 813: Calzado para protección individual: especificaciones, clasificación y marcado. Año 2008

NTP 228: Cascos de protección: Guías para la elección, uso y mantenimiento. Año 1989

NTP 747: Guantes de protección: requisitos generales

NTP 882: Guantes de protección contra riesgos mecánicos. Año 2010

NTP 748: Guantes de protección contra productos químicos. Año 2006

FDN-13: Comercialización de los protectores auditivos tipo orejeras. Año 2010

NTP 638: Estimación de la atenuación efectiva de los protectores auditivos. Año 2003

NTP 980: Protectores auditivos: orejeras dependientes del nivel. Año 2013

NTP 929: Ropa de protección contra productos químicos. Año 2012

FDN-17: Selección de pantallas faciales y gafas de protección. Año 2009

- Señalización

Guía técnica sobre señalización de seguridad y salud en el trabajo

- Obras de construcción

Guía técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relativos a las obras de construcción

5. La seguridad y salud en los proyectos de obra

5.1. Los actores de la seguridad y salud en el proyecto de obra

A los actores mencionados que participan en el proyecto de obra, el RD 1627/1997 les asigna unas competencias y responsabilidades en materia de seguridad y salud a la vez que incorpora otros que pueden participar tanto en la fase de elaboración del proyecto como en su fase de ejecución para coordinar la aplicación de las medidas de prevención y seguridad establecidas (figura 17.7).

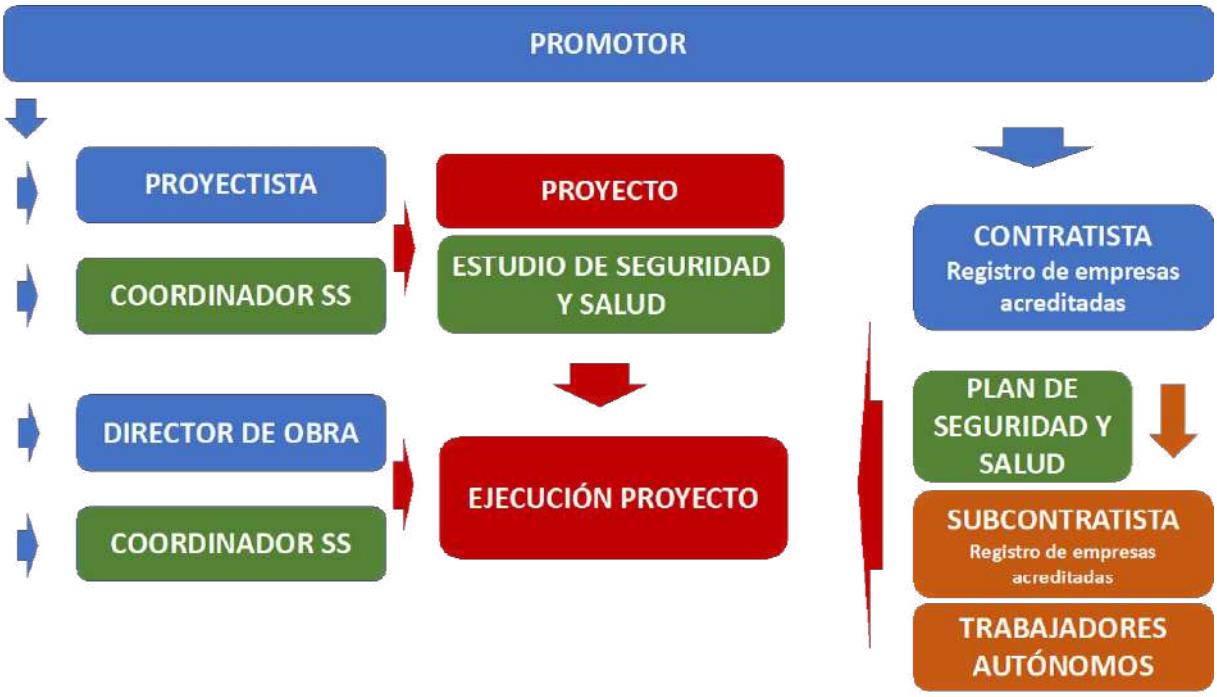


Figura 17.7. Actores que participan en la elaboración y ejecución de un proyecto de obra.

Las competencias establecidas a los diferentes actores son las siguientes:

- Promotor. Persona física o jurídica que designa o contrata al proyectista y al Director de Obra y contrata a una empresa para la ejecución del proyecto. Está obligado a que en la fase de redacción del proyecto se elaboren los estudios de seguridad y salud que correspondan según lo establecido por la normativa vigente. Para ello puede designar, también, a un Coordinador de Seguridad y Salud en proyecto. Realizará el aviso previo, a la autoridad laboral, de apertura del centro de trabajo y velará para que el contratista haga la comunicación de Apertura de Centro de Trabajo incluyendo su Plan de Seguridad y Salud.

- Proyectista. Técnico que redacta el proyecto y el estudio de seguridad y salud que corresponda al proyecto, tomando en consideración los principios generales de prevención establecidos en la normativa vigente.

- Coordinador de Seguridad y Salud. Técnico competente, designado por el promotor, para coordinar, durante la elaboración del proyecto o durante su ejecución, la aplicación de los principios generales de la prevención en materia de seguridad y salud. La norma establece su necesidad en fase de proyecto cuando intervengan varios proyectistas y en la fase de ejecución cuando intervenga más de una empresa o una empresa y trabajadores autónomos o diversos trabajadores autónomos. Se considera técnico competente aquel que posea la titulación académica y profesional habilitante. Dichas titulaciones son las de arquitecto, arquitecto técnico, ingeniero o ingeniero técnico, de acuerdo con sus competencias y especialidades. Sus funciones, según establece la ley, son:

  - Coordinar la aplicación de los principios generales de prevención y seguridad en la ejecución de la obra (artículo 10 LPRL).

  - Coordinar las actividades de la obra para garantizar que el contratista y subcontratistas, si los hubiera, apliquen de manera coherente y responsable los principios de prevención.

  - Aprobar el Plan de Seguridad y Salud redactado por el contratista.

  - Coordinar las acciones y funciones de control de la aplicación correcta de los métodos de trabajo.

  - Adoptar las medidas necesarias para que solo las personas autorizadas puedan acceder a la obra.

  - Remitir una copia a la inspección de trabajo, en el plazo de 24 horas, si se efectúa una anotación en el Libro de Incidencias, referida a un incumplimiento o paralización de los trabajos.

  Está facultado para suspender la obra cuando concurran circunstancias de riesgo grave e inminente para los trabajadores.

- Director de obra. Técnico competente encargado de la dirección y control de la ejecución de la obra según lo especificado en el proyecto de la misma. En esta dirección se integra la figura del Coordinador de Seguridad y Salud en la fase de ejecución. En caso de no existir dicha figura el director de obra asumirá sus funciones.

- Contratista. Persona física o jurídica que asume mediante contrato ante el promotor el compromiso de ejecutar total o parcialmente la obra con sujeción a lo establecido en el proyecto. En el caso de que no cuente con los medios suficientes podrá contratar a un subcontratista para realizar determinadas partes de la obra. En ocasiones, tanto el contratista como subcontratista, pueden contratar a un trabajador autónomo para realizar partes de la obra. El contratista tiene como obligaciones:

- Elaborar el Plan de Seguridad y Salud y darlo a conocer a sus trabajadores, a los subcontratistas y/o trabajadores autónomos que contractualmente dependan del mismo.

- Realizar la notificación de Apertura del Centro de Trabajo a la autoridad laboral.

- Vigilar el cumplimiento de la normativa de prevención de seguridad y salud.

- Cumplir con las instrucciones recibidas por la Dirección de Obra y el Coordinador de Seguridad y Salud si existiera.

5.2. Los estudios y planes de seguridad y salud en los proyectos de obra

La normativa establece la obligación del promotor de elaborar, en la fase de redacción del proyecto, la siguiente documentación (BOE 2010):

1. Estudio de seguridad y salud. Cuando en la obra se den alguno de los siguientes supuestos:

- El Presupuesto de Ejecución por contrata sea igual o superior a 450 759,08 €.

- La duración estimada sea superior a 30 días laborales, empleándose en algún momento a más de 20 trabajadores simultáneamente.

- El volumen de mano de obra estimada en número de jornales, sea superior a 500.

2. Estudio básico de seguridad y salud. En el caso de que no se esté en los supuestos anteriores.

Los estudios de seguridad (se destina a prevenir los riesgos mecánicos) y salud (se destina al resto de los riesgos), abarcan, por tanto, el conjunto de agentes productores de riesgo para los trabajadores.

5.2.1. Estudio de seguridad y salud

Según establece la normativa, el Estudio de Seguridad y Salud contendrá, como mínimo, los siguientes documentos: 1) Memoria, 2) Pliegos de condiciones, 3) Planos, 4) Mediciones, 5) Presupuesto.

5.2.1.1.Memoria

La Memoria deberá hacer referencia a:

- Los procedimientos, equipos técnicos y medios auxiliares que hayan de utilizarse o cuya utilización pueda preverse.

- Identificación de los riesgos laborales que puedan ser evitados, indicando a tal efecto las medidas técnicas necesarias para ello.

- Relación de riesgos laborales que no puedan eliminarse, especificando las medidas preventivas y protecciones técnicas tendentes a controlar y reducir dichos riesgos, valorando su eficacia, cuando se propongan alternativas.

- Descripción de los servicios sanitarios y comunes de que deberá estar dotado el centro de trabajo de la obra, en función del número de trabajadores que vayan a utilizarlos.

En la elaboración de la Memoria habrán de tenerse en cuenta: 1) Las condiciones del entorno en que se realice la obra, 2) La tipología y características de los materiales y elementos que vayan a utilizarse y 3) Determinación del proceso constructivo y orden de ejecución de los trabajos.

La estructura de la Memoria deberá abarcar los siguientes aspectos:

1. Objeto del estudio

2. Características de las obras

2.1. Descripción del lugar de trabajo

2.2. Definición de los procesos, puestos de trabajo y tareas

2.3. Definición de la maquinaria prevista

2.4. Definición de las herramientas previstas

2.5. Plazo de ejecución de las obras

2.6. Personal previsto

2.7. Presupuesto del proyecto

3. Identificación de riesgos

3.1. Riesgos que pueden evitarse y medidas preventivas

3.2. Riesgos que no pueden evitarse y medidas preventivas

4. Servicios sanitarios

A continuación, se desarrollan los apartados más relevantes:

1. Descripción del lugar de trabajo. Para los trabajos forestales en el monte no es de aplicación el RD 486/1997, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo. Dado, por tanto, que no están regulados, se propone que la descripción que debe hacerse de los mismos se abarquen todos los elementos que puedan afectar a la seguridad y salud de los trabajadores. Así, entre otros, se pueden detallar los siguientes aspectos:

1.1. Clima. Se detallarán los valores medios de temperaturas, así, como sus valores máximos y mínimos. Si se conoce, se indicarán los períodos de tiempo con temperaturas < 0 °C y superiores a 30 °C. Se hará referencia a la precipitación media mensual y su distribución en cuanto a número de días de lluvia, número de días de helada y la frecuencia de fenómenos tormentosos.

1.2. Suelo. Se definirá la pedregosidad superficial existente, ya que influye en la adherencia de las máquinas.

1.3. Geoforma. En especial, deben detallarse los siguientes aspectos:

- Pendientes medias y máximas del monte.
- Altitud media y máxima: con especial atención los desniveles acusados.
- Exposición dominante.
- Topografía local (cumbre, puerto, divisoria, ladera, morrena frontal, barranco, fondo de cauce, vaso de embalse, etc.)
- Relieves cársticos. Deben señalarse, en particular, las torcas o dolinas.
- Inestabilidad de taludes o laderas: donde se hayan producido movimientos de masas como: desprendimientos, colapsos, vuelcos, desplomes, vuelco por flexión, corrimientos, resbalamientos, flujos, avalanchas, reptación, coladas de tierra, etc.
- Procesos de erosión existentes.

1.4. Vegetación. Se describirá el tipo de vegetación existente, densidad, grado de cobertura del suelo y altura del estrato superior. En el caso de que la vegetación presente en el lugar de las obras, o próxima a las mismas, sufriera alguna plaga o enfermedad, debería describirse, con objeto, de valorar su posible repercusión sobre los trabajadores (ejemplo: urticarias producidas por la procesionaria del pino). Asimismo, deberán reseñarse las plantas y hongos venenosos presentes en la zona de trabajo y las plantas que puedan ocasionar arañados, pinchazos, etc. En el caso de vegetación arbolada se deberá des-

cribir, además del estado sanitario de la misma, su vigor y la existencia o no de árboles colgados o caídos en el suelo.

1.5. Hidrología. Se describirá la existencia o no de cursos permanentes o temporales de agua, fuentes y manantiales. De todos ellos se indicará la potabilidad del agua.

1.6. Fauna. Se describirá la fauna que en principio pueda atentar contra la salud de los trabajadores.

1.7. Infraestructuras. Se describirá el acceso al monte (tipo de vías, estado y tipo de vehículos que pueden transitar) y las vías de tránsito dentro del mismo para el desarrollo de las obras y en caso de emergencia. Asimismo, se indicará la proximidad o no de líneas de alta tensión.

1.8. Riesgos naturales. Se tratará de estimar el nivel de riesgo existente en la zona de las obras por alguno de estos factores:

- Aludes.
- Incendios forestales.
- Avenidas.
- Movimientos en masa.

2. Definición de los procesos, puestos de trabajo y tareas. Deberá detallarse, con precisión, los diferentes procesos que se desarrollarán en el proyecto, identificándose los puestos de trabajo que cabe que desempeñen los trabajadores en el desarrollo de los mismos y las tareas dentro de cada puesto. Debe, por tanto, analizarse cada uno de los procesos necesarios para la ejecución de cada una de las unidades de obra. Este análisis debe realizarse hasta un nivel en el que la identificación de riesgos para cada una de las tareas definidas sea relevante (tabla 17.12).

3. Definición de la maquinaria prevista. Se detallarán cada una de las máquinas que serán utilizadas en el desarrollo del proyecto, comprendiendo desde los vehículos para el transporte de herramientas, consumibles y personal hasta cada una de las máquinas precisas para la realización de los trabajos (tabla 17.12).

4. Definición de las herramientas previstas. Se detallarán cada una de las herramientas que serán utilizadas en el desarrollo del proyecto (tabla 17.12).

5. Evaluación de riesgos. En los diferentes trabajos de monte, la identificación de los riesgos que debe plantearse se fundamentará, en primer lugar, en la relación de los accidentes

que se han producido en actividades similares, completándolos con otros que pueden tener una probabilidad alta de producirse si no se previenen a tiempo. La identificación debe hacerse por puesto de trabajo, incluyendo todas las tareas que se realizan en el mismo (tabla 17.13).

6. Medidas preventivas. Para cada uno de los riesgos identificados que no han podido ser eliminados, en cada puesto de trabajo, se deberán definir unas medidas tendentes a la disminución o eliminación de los mismos (tabla 17.13).

Tabla 17.12. Principales procesos, puestos de trabajo y tareas en las operaciones de apeo, saca y transporte de la madera.

Fase	Proceso	Puesto trabajo	Tareas	Herramientas, maquinaria
Transporte medios	Transporte personal y herramientas	Conductor	Movimiento carretera y/o pista	Vehículo con o sin remolque
	Transporte maquinaria	Conductor	Carga maquinaria Transporte por carretera y/o pista Descarga	Camión góndola
	Transporte consumibles	Conductor	Movimiento carretera y/o pista Manipulación consumibles	Vehículo con o sin remolque
Infraestructura saca	Marcado	Peón auxiliar	Movimiento monte Señalamiento	Utensilios marcaje
	Apertura pista o calle	Conductor	Movimiento monte vehículo Movimiento de tierra	Tractor
Apeo	Manual	Motoserrista	Desplazamiento monte motosierra Limpieza alrededor árbol Apeo Desrame Descope Tronzado Mantenimiento	Motosierra Limas
	Mecanizado	Conductor	Subida cabina Desplazamiento monte Apeo Desrame Descope Tronzado Bajada cabina	Cosechadora. Diferentes chasis (retroexcavadora, retroaraña) con cabezal cortador
Reunión, apilado	Manual	Peón apilador	Desplazamiento monte Clavado postes Carga Transporte Descarga	Pinzas de agarre
	Tracción a sangre	Arriero	Desplazamiento monte Enganche Arrastre Desenganche	Caballerías

Fase	Proceso	Puesto trabajo	Tareas	Herramientas, maquinaria
Desembosque	Manual	Peón	Desplazamiento monte Carga Transporte Descarga	Pinzas de agarre
	Manual con canales de desembosque	Peón	Desplazamiento monte Transporte canales Montaje canales Carga	Canales de desembosque Pinzas de agarre
	Tracción a sangre	Arriero	Desplazamiento monte Enganche Arrastre Desenganche	Caballerías
	Mecanizado tractor agrícola o *skidder*	Conductor	Subida cabina Desplazamiento por monte y/o pista Manejo cabrestante Arrastre madera Desenganche carga Reunión Bajada cabina Mantenimiento	Tractor agrícola con cabrestante, *skidder*, tanqueta
		Peón auxiliar	Enganche carga Desplazamiento monte Desenganche Desplazamiento monte cable y eslingas	Eslingas
	Mecanizado autocargador	Conductor	Subida cabina Movimiento por el monte y/o pista descargado Carga Movimiento por monte y pista cargado Descarga pista o cargadero Bajada cabina Mantenimiento	Autocargador
	Mecanizado tractor agrícola y remolque	Conductor	Subida cabina Movimiento por el monte y/o pista descargado Movimiento por monte y pista cargado Bajada cabina	Tractor agrícola y remolque con grúa
		Operador grúa	Subida grúa Manejo carga Descenso grúa	Grúa hidráulica autocargante

Fase	Proceso	Puesto trabajo	Tareas	Herramientas, maquinaria
Transporte madera	Mecanizado	Conductor	Subida cabina Movimiento por pista y/o carretera descargado Movimiento por pista y carretera cargado Bajada cabina	Camión con grúa
		Operador grúa	Subida grúa Manejo carga Descenso grúa	Grúa hidráulica autocargante

Tabla 17.13. Riesgos y medidas preventivas en el puesto de trabajo de motoserrista (Fernández-Truan et al. 2003).

Puesto de trabajo: Motoserrista
Tareas: 1) Desplazamiento monte motosierra, 2) Limpieza alrededor árbol, 3) Apeo, 4) Desrame, 5) Descope, 6) Tronzado, 7) Mantenimiento motosierra

Riesgo	Tarea	Nivel Riesgo	Medida preventiva
Agentes mecánicos			
Caídas mismo nivel	1	Tolerable	Cadena parada EPI (casco, calzado)
Caídas distinto nivel	1	Tolerable	Señalización de desniveles y cortados. No desramar encima de los troncos. En el traslado llevar la motosierra con la cadena parada. EPI (casco, calzado),
Golpes con objetos desprendidos; ramas secas, árboles secos, árboles cortados por otros operarios, etc.	1,2,3,4,5,6	Importante	Situarse 2,5 veces la altura media del árbol a cortar. Inspeccionar copas y estado de los árboles. EPI (casco, calzado)
Golpes con objetos inmóviles: rocas, troncos, etc.	1,2,3,4,5,6	Trivial	Trabajar con buena visibilidad. EPI (casco, calzado)
Golpes con objetos durante las operaciones: árboles, ramas, copas, etc. Atrapamientos	2,3,4,5,6	Importante	Antes del apeo, inspeccionar el árbol y definir ruta de escape, ángulo de 45° en diagonal al sentido contrario de caída, que debe estar limpia. En árboles en pendiente, trabajar desde el lado superior. Elegir el corte para el apeo según las características del árbol. EPI (casco, calzado)
Golpes con partículas proyectadas durante las operaciones	2,3,4,5,6	Importante	EPI (casco, protector facial, chaqueta, pantalones, calzado)
Golpes con herramienta. Riesgo de tirón hacia delante y de golpe de retroceso	2,3,4,5,6	Importante	No aprisionar lado superior de la espada ni retorcerla en el corte. EPI (casco, protector facial, chaqueta, pantalones, calzado), formación

Cortes herramienta. Riesgo de rebote	2,3,4,5,6	Importante	Sujetar motosierra con ambas manos. Mano derecha empuñadura trasera. Mano izquierda en el asa tubular. No cortar o entrar en contacto con un objeto sólido con el cuarto superior de la punta de la espada. No cortar a más altura de los hombros. No agacharse demasiado al trabajar. Motosierra equipada con freno de cadena. EPI (casco, guantes, chaqueta, pantalón, calzado), formación.
Agentes físicos			
Exposición altas y bajas temperaturas	1,2,3,4,5,6	Tolerable	Descanso y buena hidratación para evitar golpes de calor. Dietas altas en calorías para evitar el frío. Usar ropa adecuada para protegerse del frío. EPI (chaqueta, pantalón, guantes, calzado)
Exposición ruido	2,3,4,5,6	Moderado	Descanso. EPI (protectores auditivos)
Exposición vibraciones	2,3,4,5,6	Moderado	Descanso. Mangos calefactados en ambientes fríos. EPI (guantes)
Contactos térmicos	1,7	Tolerable	Manipulación y mantenimiento de la máquina apagada y fría. En el traslado, agarrar la motosierra por el asidero tubular con el silenciador al otro lado del cuerpo y la espada orientada hacia atrás. No tocar silenciador caliente. EPI (guantes, pantalón)
Contactos eléctricos: derribo árboles sobre línea eléctrica	3	Moderado	Respetar distancias de seguridad. Se debe utilizar la distancia hasta el límite exterior de la zona de proximidad (D_{PROX-2} según RD 614/2001).
Incendio, explosiones	7	Tolerable	Almacenaje de combustible en bidones homologados. Almacene combustible en lugares aireados. No fumar mientras se reposta. Repostar máquina apagada y fría. Repostar combustible con bidones con tapas surtidor o con embudo. Arrancar la máquina a cierta distancia del lugar de repostaje. Antes de arrancar asegurar bujía bien colocada. Peligro arco voltaico
Agentes químicos			
Exposición polvo: terrenos recientemente incendiados	2,3,4,5,6	Tolerable	EPI (protectores respiratorios)
Agentes biológicos			
Picadoras y mordeduras		Tolerable	Vacunas que resulten necesarias según el riesgo (tétanos, hepatitis B, etc.). Evitar contacto directo con el ganado, heces, orinas o secreciones. Limpiar y desinfectar las heridas en la piel. Aplicar repelentes de insectos, garrapatas
Cargas de trabajo			
Sobreesfuerzos		Moderado	No levantar pesos superiores a 25 kg. Flexionar las piernas para la elevación de las cargas. Procurar mínima flexión de la espalda. Descansos

5.2.1.2. Pliego de condiciones

En su redacción se deberá tener en cuenta:

- Normas legales y reglamentarias aplicables a las especificaciones técnicas propias de la obra de que se trate.

- Prescripciones que se habrán de cumplir en relación con las características, la utilización y la conservación de máquinas, útiles, herramientas, sistemas y equipos preventivos.

Atendiendo al contenido que deben tener los pliegos de condiciones según establece la norma, su estructura, aunque puede ser variable, podría desarrollar los siguientes aspectos:

1. Normativa legal de aplicación

2. Definiciones y funciones de las figuras participantes en el proceso

3. Condiciones técnicas de la maquinaría y de las herramientas

4. Medios de protección colectivos e individuales

5. Señalización

6. Formación e información a los trabajadores

7. Actuación en caso de accidente

8. Libro de incidencias

5.2.1.3. Planos

Desarrollarán los gráficos y esquemas necesarios para la mejor definición y comprensión de las medidas preventivas definidas en la Memoria. Si fuera necesario se adjuntarán los planos donde quedarán recogidos los dispositivos de seguridad, como la ubicación de las diferentes señales, las áreas con riesgos naturales, infraestructuras de servicio, los puntos peligrosos, los caminos de acceso más convenientes para el de personal y la maquinaría, la ubicación del botiquín o del almacén con sustancias inflamables o tóxicas, las áreas de descanso, manantiales con agua potable, etc.

5.2.1.4. Mediciones y Presupuesto

En las mediciones se recogerán todas las unidades o elementos de seguridad y salud en el trabajo que hayan de ser definidos o proyectados.

En el presupuesto se recogerá el conjunto de gastos previstos para la aplicación y ejecución del estudio de seguridad y salud. Deberá detallarse, diferenciando el número de unidades y su

precio unitario, pudiendo figurar partidas alzadas solo en los casos de elementos u operaciones de difícil previsión. El presupuesto de todas estas acciones debe ser considerado como parte integrante de la Ejecución Material de la obra y no de forma independiente a la misma. Su importe total deberá consignarse, por tanto, en el presupuesto del proyecto de obra.

5.2.2. Estudio básico de seguridad y salud

Deberá contemplar:

1. Identificación de riesgos laborales que pueden ser evitados, indicando las medidas técnicas necesarias para ello.

2. Relación de riesgos laborales que no puedan eliminarse, especificándose las medidas preventivas y protecciones técnicas tendentes a controlar y reducir dichos riesgos, valorando su eficacia, cuando se propongan medidas alternativas.

3. Tendrá en cuenta cualquier otro tipo de actividad que se lleve a cabo en la obra.

5.2.3. El Plan de Seguridad y Salud

Corresponde al contratista la elaboración del Plan de Seguridad y Salud que complemente el estudio que sobre la materia figure en el proyecto. Por tanto, en él se deberá analizar, estudiar, desarrollar y complementar las previsiones contenidas en el estudio que figure en el proyecto en función de su propio sistema de ejecución de obra. Asimismo, podrá incluir medidas alternativas a las que figuren en el estudio, con la debida justificación técnica, siempre que no implique disminución de los niveles de protección previstos en el estudio. Un ejemplar del mismo deberá estar siempre en la obra para consulta del director de obra.

Este plan deberá ser aprobado antes del comienzo de la obra por el coordinador de seguridad y salud, o en caso de que no existiese por el director de obra. En el caso de proyectos promovidos por las administraciones públicas este plan deberá ser aprobado explícitamente por las mismas con el correspondiente informe del coordinador de seguridad y salud o del director de obra, en caso de no la existencia del primero.

El objetivo del Plan es crear los procedimientos para conseguir una obra sin accidentes ni enfermedades profesionales. Se estructura, al igual que en los estudios, en: Memoria, Pliego de Condiciones, Planos y Presupuesto. Una posible estructura del mismo es la propuesta por Morales (2004):

1. Memoria

1.1. Objeto del Plan

1.2. Características de la obra

1.3. Procesos y unidades de obra

1.4. Evaluación de riesgos

1.5. Instalaciones provisionales para los trabajadores

1.6. Protección colectiva a emplear

1.7. Equipos de protección individual

1.8. Señalización de riesgos

1.9. Prevención asistencia en caso de accidente

1.10. Formación e información en seguridad y salud

1.11. Conjunto de medidas preventivas propias de la empresa

1.12. Planes de emergencia y evacuación

2. Pliego de Condiciones

2.1. Ámbito de aplicación

2.2. Condiciones técnicas de los medios de protección

2.3. Condiciones técnicas de la maquinaria

2.4. Condiciones seguridad de los medios auxiliares

2.5. Plan de emergencia

2.6. Condiciones técnicas de los servicios de higiene

2.7. Organización de la seguridad

2.8. Obligaciones de las partes implicadas

2.9. Libro de incidencias

3. Presupuesto

3.1. Protecciones colectivas

3.2. Protección individual

3.3. Instalaciones provisionales para los trabajadores

3.4. Asistencia sanitaria

3.5. Personal de seguridad y salud

4. Planos

4.1. Ordenación General de la Obra

4.2. Protecciones colectivas

4.3. Interferencias con líneas, conducciones o colindantes

4.4. Situación e itinerario al centro médico más próximo

5.2.3.1. Medidas de emergencia

Además de las medidas preventivas para los riesgos antes comentados, la L 31/1995 establece la necesidad de que se adopten medidas de seguridad de los trabajadores en caso de emergencia (artículo 20). Estas medidas se concretan en un Plan de emergencia en donde se "analizarán las posibles situaciones de emergencia y se adoptarán las medidas necesarias en materia de primeros auxilios, luchas contra incendios y evacuación de los trabajadores, designando para ello al personal encargado de poner en práctica estas medidas y comprobando periódicamente, en su caso, su correcto funcionamiento". Aunque para determinadas actividades el RD 393/2007, de 23 de marzo, "por el que se aprueba la Norma Básica de Autoprotección de los centros, establecimientos y dependencias dedicados a actividades que puedan dar origen a situaciones de emergencia", exige la redacción de un Plan de Autoprotección para atender estas situaciones, las actividades en el monte no quedan reguladas por esta norma por lo que el empresario quedará obligado a redactar el Plan de emergencia.

Este plan debe recoger el conjunto de medidas implantadas para evitar la materialización de una situación de emergencia y así minimizar las consecuencias de la misma. La puesta en práctica de estas medidas de emergencia responden al protocolo conocido como PAS (Proteger, Avisar, Socorrer). El término de Proteger hace referencia a hacer segura la zona del accidente para evitar que se pueda generar otro. Avisar, hace referencia a dar a conocer el accidente

a los servicios de emergencias. Cumplidas las anteriores actuaciones procede Socorrer a las víctimas. Esta información debe recogerse debidamente y difundirse a todos los trabajadores para evitar que ante estas situaciones de emergencia se produzcan respuestas improvisadas, desorganizadas y caóticas. Ello contribuirá a mejorar la eficacia en la respuesta y la reducción del tiempo de evacuación, si fuera el caso.

Plan de emergencia

Teléfonos de emergencia
Emergencia 112
Oficina de la empresa
Mutua de la empresa

1. Preparados para una emergencia

En este apartado se requiere remarcar una serie de medidas que se tienen que ejecutar para estar preparados para una emergencia, para disminuir los daños a las personas, los medios materiales y el medio ambiente.

a. Persona que decidirá las actuaciones ante la emergencia. El máximo responsable y, en su defecto, aquel quién haya sido designado.

b. Habrá que evaluar, antes de empezar cualquier trabajo, en reunión por parte de todos los trabajadores del centro de trabajo que tengan que compartir vehículo o puesto de trabajo, las variables siguientes:
1 Conocimiento de las zonas próximas de cobertura de móvil.
2. Conocimiento de la dirección de los centros de asistencia próximos.
3. Disponer, al inicio de la jornada, de un teléfono móvil operativo y a plena carga.
4. Definir un punto de reunión en caso de emergencia.
5. Aparcar siempre el vehículo encarado en posición de salida.
6. Evaluar el acceso de los servicios de asistencia, al puesto de trabajo.
7. Definir un punto de encuentro con el servicio de asistencia sencillo e inequívoco.
8. Evaluar los factores de riesgo específicos del puesto de trabajo y tomar las medidas preventivas más adecuadas.
9. Tener un conocimiento previo de los accesos y ser capaces de comunicar la posición geográfica del puesto de trabajo a los servicios de asistencia.

c. Botiquín. Todo centro de trabajo y puesto de trabajo dispondrá de botiquín (edificios y/o vehículos). Cualquier carencia de alguno de los productos será comunicada por el trabajador usuario a su superior jerárquico. Este efectuará, de forma periódica, la gestión para la revisión y aprovisionamiento, haciendo la solicitud correspondiente al Servicio de Prevención. El contenido mínimo del botiquín se relaciona en la siguiente tabla.

Producto	Cantidad	Producto	Cantidad
Agua oxigenada (ml)	250	Vendas de malla (5 m x 5 cm)	4 paquetes
Alcohol (ml)	250	Vendas de malla (5 m x 7 cm)	4 paquetes
Algodón hidrófilo 100% (g)	25	Apósitos adhesivos (unidades)	20
Compresas esterilizadas (sobres)	5	Apósitos adhesivos 5 x 1,25	
Guantes de látex (pares)	2	Esparadrapo 1,25 x 5 m	
Pinzas	1	Esparadrapo 2,5 x 5 m	
Tijeras	1	Venda 4 m x 7 cm	
Pomada iodada (ml)	50	Suero fisiológico 5 ml	6

2. Qué hacer en caso de emergencia

En caso de que se produzca una situación de emergencia habrá que tener en cuenta y seguir los siguientes puntos:

1. Mantener la calma y actuar con sentido común.
2. En caso de accidente, actuar de acuerdo con el conocimiento de primeros auxilios que se disponga.
3. En caso de ser necesaria asistencia médica decidir entre evacuar el accidentado directamente con medios propios o pedir asistencia externa.
4. En caso de evacuar el accidentado en un centro asistencial con medios propios habrá que comunicarlo a todos los trabajadores que compartan el puesto de trabajo.
5. En ningún caso se podrán quedar, en el puesto de trabajo, trabajadores/se sin teléfono móvil o realizando trabajos de riesgo.
6. Consultar los centros de asistencia próximos. Prioritariamente se dirigirá al centro de asistencia de la mutua o concertado con esta más próximo. La gravedad del accidente será la que condicione la elección del centro de asistencia.
7. En caso de incendio actuar de acuerdo con los conocimientos adquiridos sobre extinción de incendios.
8. En caso de incendio, si se decide evacuar el puesto de trabajo se deberá reunir en todos los compañeros para la evacuación. Utilizar los accesos que se alejen del incendio o transcurran por zonas ya controladas. En caso de fuertes lluvias se debe mantener especial atención en las zonas inundables y evitar atravesar cursos de agua con fuerte caudal.
9. En caso de recibir un mordisco o picadura de un animal se debe procurar identificarlo.
10. En caso de riesgo grave e inminente se deben suspender los trabajos, proteger la zona de peligro (señalizarlo, eliminar la fuente de riesgo (conato de incendio,...), avisar a los compañeros y terceros de la situación de riesgo; comunicarlo a su superior jerárquico, y así sucesivamente hasta resolver la actuación a llevar a cabo.
11. En caso de necesitar asistencia externa o ayuda llamar al teléfono de emergencias 112.
12. En caso de una tormenta eléctrica hay que seguir una serie de recomendaciones para evitar sufrir un accidente por descarga de un rayo.
13. En caso de un accidente con el vehículo en la carretera se debe señalizar adecuadamente la zona del siniestro mediante los triángulos de señalización o luces de emergencia.

2.1. Tormenta eléctrica

a. Si se realizan actividades al aire libre, conviene prestar atención a los partes meteorológicos durante la temporada en qué son más frecuentes las tormentas y no trabajar en media o alta montaña con riesgo claro de tormenta.
b. En caso de ver rayos, si el viento aumenta o si se escuchan truenos, se deben dirigir a un lugar seguro. Por ejemplo, al interior del vehículo.
c. Nunca echar a correr durante una tormenta y menos con la ropa mojada. Hay peligro de crear turbulencia en el aire y una zona de convección que puede atraer el rayo.
d. Deshacerse de todo material metálico (herramientas manuales) y depositarlo a más de 30 m de distancia. Los rayos aprovechan su buena conducción.
e. APAGAR walkie-talkies y TELÉFONOS MÓVILES, las radiaciones electromagnéticas pueden atraer los rayos.
f. NUNCA refugiarse bajo un árbol o una roca o elementos prominentes solitarios. Un árbol solitario por su humedad y verticalidad aumenta la intensidad del campo eléctrico. En cambio un bosque, aunque sea pequeño, puede ser un buen refugio.
g. Alejarse de objetos metálicos como vallas metálicas, puntos geodésicos, líneas telefónicas e instalaciones eléctricas, raíles de tren, maquinaria, etc. Lo más peligroso de un tendido eléctrico son sus apoyos, puesto que por su toma de tierra se descargan en tierra rayos que han caído incluso a kilómetros. La proximidad de grandes objetos metálicos es peligrosa incluso cuando no se esté en contacto con ellos, puesto que la ola de choque producida por el rayo calienta en gran medida el aire, que puede producir lesiones en los pulmones.
h. Alejarse de la maquinaria mientras dure la tormenta (tractor, motosierra, desbrozadora, etc.).
i. Alejarse de terrenos abiertos y claros, como praderas, cultivos, etc. En estas zonas una persona sobresale bastante del terreno y puede atraer fácilmente un rayo.
j. Aislarse del suelo y del contacto con charcos de agua o zonas mojadas. Salir inmediatamente y alejarse de ríos, balsas, lagos y otras masas de agua.
k. Alejarse y NO refugiarse en pequeños edificios aislados como graneros, barracas, etc.
l. NO refugiarse en la boca de una cueva ni el abrigo de un saliente rocoso, el rayo puede hacer chispas a través de estas aperturas, algunas son incluso canales naturales de drenaje por sus descargas. Solo ofrecen seguridad las cuevas profundas y anchas, mínimo un metro a cada lado.
m. La posición de seguridad más recomendada es de cuclillas, lo más agachado posible, con las manos en las rodillas, tocando el suelo solo con el calzado. No debemos echarnos en horizontal sobre el suelo.
n. Si notamos cosquilleo en el cuerpo, se nos eriza el cabello, o vemos brillar y hacer chispas un objeto de metal HAY QUE adoptar la posición de seguridad inmediatamente porque la descarga de un rayo es inminente.
o. Si se va en grupo es aconsejable dispersarse unos metros y adoptar la posición de seguridad entre otras precauciones.
p. El mejor lugar para refugiarse a la intemperie durante una tormenta ES UN VEHÍCULO CERRADO. Dentro tenemos que apagar el motor, bajar la antena de la radio y desconectarla, cerrar las ventanas y las entradas de aire. En caso de caída de un rayo el vehículo se cargará

solo por el exterior mientras que el interior quedará intacto, fenómeno conocido como “Jaula de Faraday”. Se tiene que evitar tocar las partes metálicas del vehículo, incluso al salir de un vehículo que ha recibido una descarga. Si vais conduciendo y os veis sorprendidos por una tormenta conviene disminuir la velocidad y no pararse en zonas por donde pueda discurrir gran cantidad de agua.

2.2. Accidentes producidos por animales o insectos

Dentro de los trabajos forestales, los accidentes causados por animales o insectos son bastante comunes, por eso se dan una serie de recomendaciones que hay que seguir en función de la especie. Se refieren los más peligrosos que pueden comportar ingresos hospitalarios o situaciones de emergencia relevantes. Estos son las serpientes, el escorpión, la araña (viuda negra o reclusa parda), la escolopendra y las abejas (en caso de personal sensibilizado).

Otros como la garrapata, el mosquito, la mosca negra, la procesionaria del pino, etc. no comportan situaciones de emergencia relevantes en el momento.

- Mordedura de serpiente

Las mordeduras de serpientes son las más peligrosas puesto que el veneno actúa sobre el sistema nervioso produciéndose fuertes dolores, seguidos de parálisis de los miembros, inflamación, vómitos, diarreas e incluso pérdida del conocimiento. Para prevenirla, hay que utilizar guantes de protección siempre que se remuevan piedras o en zonas pedregosas. En caso de mordisco se desinfectará la herida con antisépticos y se trasladará inmediatamente al herido en reposo al centro hospitalario más próximo. El herido no tendría que andar, se aceleraría la circulación del veneno. No se tienen que hacer incisiones a la herida. No se tiene que succionar el veneno a no ser que tengamos un succionador específico que evite que podamos ingerir el veneno. Hay que conocer en qué hospitales próximos o centros asistenciales tienen el antídoto contra el veneno de la serpiente. Por lo cual antes de llevar al accidentado habrá que llamar a los mismos para asegurarse.

- Picadura de un escorpión

La simple picadura de un individuo no es peligrosa, excepto en aquellos trabajadores que sufran alergias. Primeros auxilios: la zona de la lesión tiene que limpiarse con agua fría o con agua oxigenada y desinfectarse con algún antiséptico no coloreado. Tampoco se recomienda utilizar alcohol o amoníaco. El miembro afectado tiene que permanecer en reposo. Para aligerar los efectos de la picadura se puede sacar el aguijón, desinfectar y aplicar hielo a la zona. Se tendrá que visitar al médico inmediatamente que administrará, según la afectación, analgésicos locales, antihistamínicos y/o los antibióticos para controlar posibles complicaciones.

- Picadura de una escolopendra

El ataque de la escolopendra deja dos punzadas que causan inflamación en la zona afectada y mucho dolor. Entre sus efectos están la necrosis de la zona afectada, espasmos musculares, irregulari-

dades en el pulso e inflamación en los ganglios linfáticos. Este tipo de picaduras se puede tratar de forma parecida a como se hace con una picadura de escorpión, procurando que la zona afectada se movilice lo menos posible. Una vez desinfectada la herida como medida de primeros auxilios se procederá a poner sobre ella trapos fríos. Hay que visitar el médico tan pronto como sea posible.

- Picadura de una araña

La picadura de algunas arañas puede ser peligrosa, puesto que el veneno produce necrosis a la zona afectada, por lo cual hay que aplicar tan pronto como sea posible compresas frías o hielo. Hay que ir al médico cuando antes mejor, y si se puede, con el arácnido.

- Picaduras de una abeja o una avispa

Normalmente, si la picadura es simple, será suficiente extraer con ayuda de unas pinzas desinfectadas el aguijón.

Si las picaduras son múltiples o afectan el interior de la boca, puede haber peligro, por lo tanto, se evacuará al herido hacia un centro médico. Hay que tener presente si el trabajador es sensible al veneno o no, puesto que si es sensible habrá que administrarle el tratamiento correspondiente. Se tiene que extraer con cuidado el aguijón si está clavado.

- Hay que aplicar una gasa o ropa limpia empapada con agua fría.
- En caso de picadura en el interior de la boca, hay que dar a la víctima hielo para lamer o pequeños sorbos de agua fría.
- No se tiene que rascar ni frotar la zona afectada.
- Visitar un centro médico para que apliquen un preparado farmacéutico a base de amoníaco.
- Se tiene que trasladar la víctima en un centro sanitario vigilando las constantes vitales en casos graves.

- Mordeduras de otros animales

Se considerará grave si los mordiscos son producidos por un animal desconocido o venenoso; o si la víctima es especialmente sensible al veneno inyectado

- Se tiene que limpiar la herida con agua y jabón.
- Hay que cortar la hemorragia, si hay.
- Se tiene que aplicar una solución comercial desinfectante a base de pomada yodada.
- Hay que cubrir la herida con un apósito estéril o ropa limpia.
- Se tiene que trasladar la víctima en un centro sanitario para profilaxis antitetánica y vacunación antirábica, si hace falta.
- Si es posible, se tiene que comprobar si el animal está vacunado correctamente.

3. Qué hacer en caso de accidente

La persona accidentada comunicará el accidente a su responsable. Se elegirá el centro asistencial más próximo del listado adjunto, priorizando en cada caso los siguientes aspectos:

- Tipo de centro médico
- En cuanto a la especialidad médica, se escogerá centro médico que disponga de la especialidad médica específica por la lesión.
- Distancia del lugar del accidente al centro médico

EN EL CASO de ACCIDENTE GRAVE, MUY GRAVE, MORTAL O CUANDO SE PREVEA la HOSPITALIZACIÓN DEL ACCIDENTADO: Mando directo o, en su defecto, cualquier compañero que esté presente acompañará al accidentado en todo momento asegurando la asistencia sanitaria, si fuera posible, o llamará al 112 para solicitar la asistencia al lugar del accidente.

6. Equipo de protección individual (EPI)

Según establece el RD 773/1997, se entiende por Equipo de protección individual (EPI): "cualquier equipo destinado a ser llevado o sujetado por el trabajador para que le proteja de uno o varios riesgos que puedan amenazar su seguridad o su salud. Según determina la norma, deberán utilizarse cuando existan riesgos para la seguridad y salud de los trabajadores que no hayan podido evitarse o limitarse de una manera suficiente por medios técnicos de protección colectiva o mediante medidas de organización del trabajo".

Deberán proporcionar una protección eficaz frente a los riesgos que motivan su uso, sin suponer por si mismos u ocasionar, riesgos adicionales ni molestias innecesarias. Por lo tanto, deberá responder a las condiciones existentes en el lugar de trabajo, deberá tener en cuenta las condiciones anatómicas, fisiológicas y el estado de salud del trabajador y deberá adecuarse al portador tras los ajustes necesarios. Para la elección correcta del equipo debe tenerse en cuenta:

- Las características que deben reunir los mismos para garantizar su función, teniendo en cuenta la naturaleza y magnitud de los riesgos que deban proteger, así como los factores adicionales de riesgo que puedan constituir los propios equipos de protección o su utilización.

- Las características de los diferentes equipos que existen en el mercado.

El RD 1407/1992 establece que los EPIs pueden clasificarse en tres categorías en función del riesgo frente al que protejan. Los que serían de interés en el aprovechamiento maderero son:

- Categoría I. La constituyen los EPIs destinados a proteger frente a riesgos de efecto gradual: agresiones mecánicas superficiales, productos de mantenimiento poco nocivos, agentes atmosféricos ni excepcionales ni extremos.

- Categoría II. Es la categoría más indefinida, en ella se incluyen los EPIs que no entran ni dentro de la categoría I ni de la categoría III: protecciones auditivas, la mayoría de la ropa y el calzado de protección.

- Categoría III. Destinados a proteger frente a riesgos de mayor magnitud, riesgos que pueden provocar la muerte o daños irreversibles para la salud: equipos de protección respiratoria, agresiones químicas, caídas en altura, riesgos eléctricos.

Las exigencias esenciales de sanidad y seguridad aplicables al diseño y a la fabricación de los EPIs se definen en el RD 1407/1992. Los EPIs deberán llevar el marcado CE, por el que el fabricante declara que este se ajusta a las condiciones establecidas en la norma. En el caso del EPI para el motoserrista el marcado se debe completar con otro que garantiza su protección a los riesgos del uso de una sierra de cadena (figura 17.8).

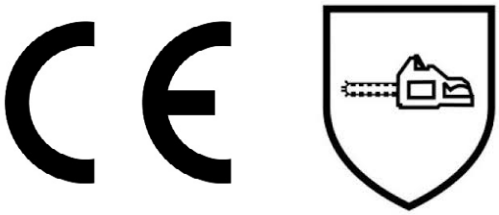


Figura 17.8. Marcado CE que exige al EPI que garantiza las disposiciones establecidas en el RD 1407/1992, (izquierda) y el pictograma que indica la resistencia al corte con sierra de cadena (derecha).

El EPI dependerá de las partes del cuerpo que quieran protegerse, es decir: cabeza, oído, ojos y cara, vías respiratorias, manos y brazos, pies y piernas, piel, tronco y abdomen, o protección total. Evidentemente, esto dependerá, del nivel del riesgo al que estén sometidos cada una de ellas. A modo orientativo, se recogen los elementos con los que debe contar el EPI según las diferentes tareas que pueden desarrollarse en las operaciones de apeo, saca y transporte (tabla 17.14) (figura 17.9). Cuando el trabajador vaya a emplear una máquina o una herramienta (motodesbrozadora, motosierra, etc.) deberá utilizar el EPI recomendado por el fabricante, complementado con el que exija el entorno donde va a estar situada la máquina, para que de esta manera se tengan en cuenta todos los factores de riesgo.

Tabla 17.14. EPI recomendado para cada puesto de trabajo en las operaciones de apeo, saca y transporte. [1]: Deben garantizar la resistencia al corte, [2]: para las operaciones de mantenimiento de la máquina y/o de trabajo, [3]: si la cabina no está insonorizada.

Puesto de trabajo	EPI recomendado
Conductor transporte de herramientas y obreros	Calzado, mono trabajo, guantes[2], protectores auditivos[3]
Conductor máquina apertura vías	Calzado, mono trabajo, guantes[2], protectores auditivos[3]
Peón auxiliar marcado de vías	Calzado, mono trabajo, guantes
Motoserrista	Casco, gafas o pantalla protección facial, protectores auditivos, chaqueta[1], pantalón[1], guantes[1], calzado[1]
Conductor cosechadora	Calzado, mono trabajo, guantes[2], protectores auditivos[3]

Puesto de trabajo	EPI recomendado
Peón apilador	Casco, calzado, mono trabajo, guantes, protector lumbar
Arriero	Casco, calzado, mono trabajo, guantes,
Peón desembosque manual	Casco, calzado, mono trabajo, protector lumbar
Conductor tractores desembosque	Calzado, mono trabajo, guantes[2], protectores auditivos[3]
Peón auxiliar enganche carga	Casco, calzado, mono trabajo, guantes, protector lumbar
Operador grúa camión	Calzado, casco, guantes, protectores auditivos, arnés seguridad
Conductor camión	Calzado, mono trabajo, guantes[2], protectores auditivos[3]

Previamente a la adquisición de algún EPI será necesario, como así lo recomiendan las Guías Técnicas de los mismos, completar su lista de control, en donde quedan recogidos e inventariados todos los riesgos y acciones externas a tener en cuenta. En función de la lista que se elabore, que debe figurar en el Pliego de Condiciones para la adquisición del EPI, se estudiarán los diferentes modelos existentes en el mercado.

Figura 17.9. Motoserrista utilizando solo el casco del EPI (izquierda) y motoserrista utilizando un EPI compuesto por botas, pantalones, casco compuesto de protección facial y protectores auditivos y guantes (Fotos: A. Aunós y J. Pemán).

6.1. Calzado

Deben utilizarse cuando existan para los pies riesgos de tipo mecánico (choque, aplastamiento, pinchazos, cortes), térmico u otros riesgos propios del movimiento en el monte, como puedan ser los esguinces o luxaciones. Son necesarios para cualquier tarea forestal a desarrollar en el monte, aunque pueden variar según cual sea esta. Así, el tipo de calzado a utilizar, según las diferentes tareas, puede ser (Hernández-Castañeda 2008) (tabla 17.15):

- Calzado de trabajo. Consistirá en unas botas que garanticen la máxima adherencia a la superficie de trabajo, de gran flexibilidad, que protegen bien el pie a la altura del tobillo y los dedos, que sean cómodas (almohadillado en la zona maleolar, lengüeta rellena) e impermeables. Este tipo de calzado será de uso general para todos los trabajadores de monte. Va marcado con las letras **OB**.

- Calzado de protección. Consistirá en unas botas que incorporen un tope o puntera de seguridad que garantice una protección suficiente frente al impacto con una energía equivalente de 100 J en el momento del choque y frente a la compresión estática bajo una carga de 10 kN. Es el recomendado para los trabajadores que porten máquinas o carguen peso elevado. Va marcado con las letras **PB**.

- Calzado de seguridad. Calzado que incorpora elementos para proteger al usuario de riesgos que puedan dar lugar a accidentes, está equipado con tope de seguridad para proteger la parte delantera del pie (dedos), diseñado para ofrecer protección contra el impacto cuando se ensaya con un nivel de energía de, al menos, 200 J y contra la compresión cuando se ensaya con una carga de, al menos, 15 kN. Va marcado con las letras **SB**.

Tabla 17.15. Especificaciones sobre el calzado de uso profesional o de seguridad dictadas por el Comité Europeo de Normalización (EN).

Código	Título	Año
EN ISO 20346	Equipo de protección individual. Calzado de seguridad	1993
EN ISO 20345	Equipo de protección individual. Calzado de seguridad	2012
EN ISO 20347	Equipo de protección individual. Calzado de trabajo	2012
EN ISO 17249	Calzado de seguridad resistente al corte por sierra de cadena	2014

El calzado de seguridad que garantiza la resistencia al corte con sierra de cadena se clasifica según tres niveles de protección, según la velocidad de corte de la sierra (AENOR 2014) (tabla 17.16, figura 17.10).

Tabla 17.16. Niveles de protección del calzado resistente al corte con sierra de cadena (AENOR 2014).

Nivel	Velocidad sierra (m s^{-1})
1	20
2	24
3	28

Figura 17.10. Bota de seguridad Clase 2 de resistencia al corte de sierra de cadena (fuente: www.prolaboral.es).

6.2. Guantes

Deben utilizarse cuando existan riesgos para las manos de tipo mecánico (abrasión, corte, pinchado), térmico o químico. Son el EPI, junto con el calzado, más frecuente, ya que debe utilizarse en prácticamente cualquier tarea (tabla 17.17). A la hora de elegirlos debe tenerse en cuenta:

- La sensibilidad al tacto y la capacidad de asir, muy importante para el manejo de la planta, herramientas o maquinaria guiada a mano.
- La máxima protección frente al riesgo existente.
- La transpiración.

Tabla 17.17. Especificaciones sobre los guantes de uso profesional o de seguridad dictadas por el Comité Europeo de Normalización (EN).

Código	Título	Año
EN ISO 388	Guantes de protección contra riesgos mecánicos	2004
ENISO 381-4	Ropa de protección para usuarios de sierra de cadena accionadas a mano. Parte 4: Método de ensayo para guantes protectores contra sierras de cadena	2000
EN ISO 381-7	Ropa de protección para usuarios de sierra de cadena accionadas a mano. Parte 7: Requisitos para guantes protectores contra sierras de cadena	2000
EN ISO 374-1	Guantes de protección contra los productos químicos y los microorganismos. Parte 1: Terminología y requisitos de prestaciones para riesgos químicos	2016
EN ISO 374-2	Guantes de protección contra los productos químicos y los microorganismos. Parte 2: Determinación de la resistencia a la penetración.	2016

Un guante de protección frente a riesgos mecánicos, debe tener un nivel de prestación 1 o superior para al menos una de las siguientes propiedades: resistencia a la abrasión, al corte por cuchilla, rasgado y perforación (Lara 2010). Los niveles de prestación sirven para comparar productos diseñados para ofrecer un mismo tipo de protección y dar una idea del grado de resistencia o comportamiento del equipo frente al riesgo (tabla 17.18).

Tabla 17.18. Nivel de prestación de los guantes para la protección frente a riesgos mecánicos. [1]: Hace referencia al valor del índice de corte con cuchilla según la EN ISO-388.

Nivel prestación	Resistencia a la abrasión (ciclos)	Resistencia al corte [1]	Resistencia a la perforación (N)	Resistencia al rasgado (N)
1	100	1,2	20	10
2	500	2,5	60	25
3	2 000	5,0	100	50
4	8 000	10	150	75
5		20		

En la mayor parte de los trabajos en el ámbito de las operaciones de apeo y saca el guante debe proteger, sobre todo, de la resistencia a la abrasión y, en menor medida, de la perforación y el rasgado. Los guantes de seguridad que garantizan la resistencia al corte con sierra de cadena se clasifica según cuatro niveles de protección, según la velocidad de corte de la sierra (AENOR 2014) (tabla 17.19, figura 17.11).

Tabla 17.19. Niveles de protección de la resistencia de los guantes al corte con sierra de cadena (AENOR 2000).

Nivel	Velocidad sierra (m s^{-1})
0	16
1	20
2	24
3	28

Figura 17.11. Guantes de Clase 2 de resistencia al corte de sierra de cadena (fuente: www.preventecsl.es).

6.3. Monos de trabajo, chaquetas y protectores de piernas

En la mayoría de los puestos de trabajo tan solo será necesario un mono de trabajo a excepción del trabajo de motoserrista en el que deberá utilizarse chaquetas y protectores de piernas resistentes al corte con sierra de cadena (tabla 17.20).

Tabla 17.20. Especificaciones sobre las chaquetas y protectores de piernas dictadas por el Comité Europeo de Normalización (EN).

Código	Título	Año
EN - 381-11	Ropa de protección para usuarios de sierra de cadena accionadas a mano. Parte 11: Requisitos para las chaquetas protectoras	2003
EN - 381-5	Ropa de protección para usuarios de sierra de cadena accionadas a mano. Parte 5: Requisitos para los protectores de piernas	1995
EN - 381-7	Ropa de protección para usuarios de sierra de cadena accionadas a mano. Parte 9: Requisitos para polainas protectoras contra sierras de cadena	1997

Para la protección del torso la chaqueta debe garantizar una superficie de protección mínima (figura 17.12) (AENOR 2003).

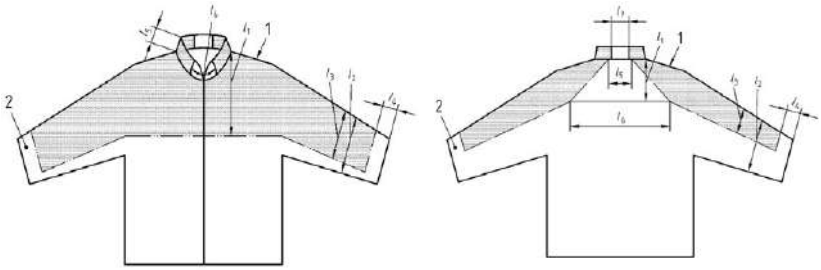


Figura 17.12. Área de protección mínima de las chaquetas para el corte por sierra de cadena (AENOR 2003).

Para la protección de las piernas, según el tipo de protección, existen tres diseños (figura 17.13) (AENOR 1995). Los dos primeros son para trabajadores habituales (A y B), mientras que el tercero (C) es para trabajadores ocasionales.

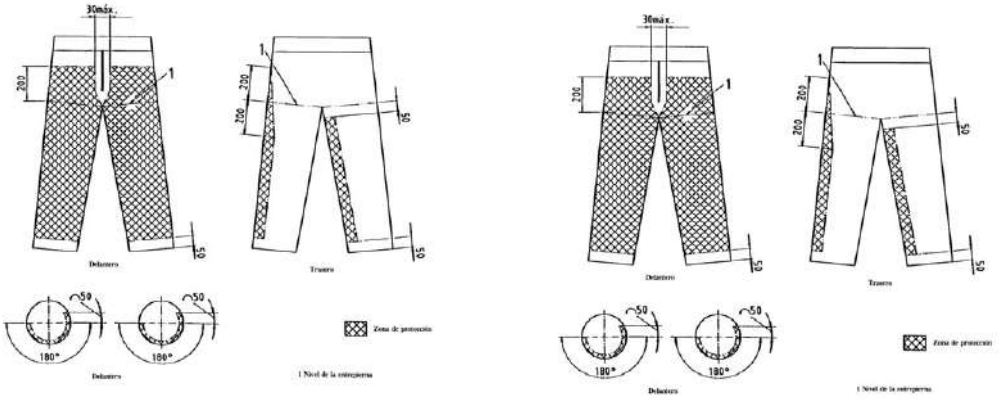


Figura 17.13. Diseños de pantalones protectores de piernas (medidas en milímetros). De izquierda a derecha diseño A y B (AENOR 1995).

La resistencia al corte con sierra de cadena se clasifica según tres niveles de protección, según la velocidad de corte de la sierra (tabla 17.21).

Tabla 17.21. Niveles de protección para chaquetas y protectores de piernas al corte con sierra de cadena.

Protectores de piernas		Chaquetas	
Nivel	Velocidad sierra (m s^{-1})	Clase	Velocidad sierra (m s^{-1})
1	20	0	16
2	24	1	20
3	28	2	24
		3	28

6.4. Cascos

Deben utilizarse cuando existan para la cabeza riesgos de tipo mecánico (caída de objetos, impactos, atrapamiento lateral) o térmico. A la hora de elegirlo se deberá tener en cuenta (del Pino y Barrios 1988):

- Resistencia a la perforación. La mejor protección la proporcionan los cascos de materiales termoplásticos (polietileno y policarbonatos con fibra de vidrio).
- Capacidad de amortiguación de golpes.
- Resistencia al impacto.
- Resistencia a las proyecciones a gran velocidad.

Los principales elementos del casco son (figura 17.14): casquete, visera, ala, arnés, banda de cabeza, banda de nuca y barboquejo. El arnés es el conjunto de elementos que permite sujetar el casco sobre la cabeza y absorber la energía cinética durante un impacto. El barboquejo es un elemento opcional que se sujeta la barbilla para evitar que se caiga el casco.

Existen varias normas que regulan las especificaciones de seguridad que debe tener, según la tipología del casco (tabla 17.22):

- Cascos de protección para la industria. Proporcionan protección contra objetos que pudieran caer y las lesiones del cerebro y fracturas de cráneo consiguientes.
- Cascos contra golpes para la industria. Proporcionan protección frente a golpes contra objetos duros e inmóviles, lo suficientemente fuertes como para provocar laceraciones u otras lesiones superficiales. No están destinados a proteger de los efectos derivados de la caída o proyección de objetos ni de cargas suspendidas o en movimiento.
- Cascos de altas prestaciones para la industria. Proporcionan protección contra la caída de objetos y los impactos fuera de la cima, así como contra las lesiones cerebrales, las fracturas del cráneo y las lesiones del cuello que resulten de ellos.

Tabla 17.22. Especificaciones sobre los cascos.

Código	Título	Año
EN 397	Cascos de protección para la industria	2012
EN 812	Cascos contra golpes para la industria	2012
EN 13087-1	Cascos de protección. Métodos de ensayo. Parte 1: Condiciones y acondicionamiento	2000 y 2002
EN 13087-3	Cascos de protección. Métodos de ensayo. Parte 3: Resistencia a la perforación.	2000 y 2002
En 14052	Cascos de altas prestaciones para la industria	2012

Para el caso del motoserrista los cascos llevan acoplados los protectores auditivos y el protector facial. Los cascos de los trabajadores forestales deben reemplazarse, como mínimo, al cabo de los tres años.

Figura 17.14. Casco de motoserrista con protector facial y auditivos incorporados (fuente: www.tecnicaforestal.com).

6.5. *Protectores auditivos*

Deben utilizarse cuando existan niveles de ruido que puedan provocar un efecto nocivo para el trabajador. Los protectores auditivos pueden ser (García-González 2013):

- Pasivos**.** Se refieren a las orejeras o a los tapones que poseen una respuesta acústica que depende de su diseño y de las características físicas de los materiales utilizados. Estos son los de uso más frecuente y su atenuación acústica permanece constante al variar el nivel de ruido siempre y cuando no cambie la frecuencia o el espectro de ruido presente.

- No pasivos**.** Incorporan algún sistema electrónico o elemento mecánico que los hace comportarse acústicamente de una forma específica. Entre éstos se encuentran las orejeras dependientes del nivel (de ruido), las orejeras con reducción activa del ruido o las orejeras con entrada eléctrica de audio. También hay modelos que poseen más de una función como dependientes del nivel y entrada eléctrica de audio (para conectarse a un sistema de comunicación).

Los más utilizados en el ámbito forestal son los pasivos, como los tapones o las orejeras. El protector auditivo deberá elegirse de modo que reduzca la exposición al ruido a un límite admisible, sin mermar la percepción del habla o de las señales de peligro (tabla 17.23).

Los protectores auditivos los suelen llevar el motoserrista, en cuyo caso llevan acopladas unas orejeras al casco, o los conductores de las máquinas cuando estas no están dotadas de una cabina insonorizada. En ese caso suelen llevar tapones. Existen modelos de protectores que llevan asociados equipos de sonido lo que permite y garantiza la comunicación con los diferentes obreros que están en el tajo.

Tabla 17.23. Especificaciones sobre los protectores auditivos dictadas por el Comité Europeo de Normalización (EN).

Código	Título	Año
EN ISO 352 - 1	Protectores auditivos. Requisitos generales. Parte 2: Orejeras	2003
EN ISO 352 - 2	Protectores auditivos. Requisitos generales. Parte 2: Tapones.	2003
EN ISO 352 - 3	Protectores auditivos. Requisitos generales. Parte 3: Orejeras acopladas a cascos de protección	2003
EN ISO 352 - 4	Protectores auditivos. Requisitos de seguridad y ensayos. Parte 4: Orejeras dependientes del nivel.	2001 y 2006
EN ISO 352 - 5	Protectores auditivos. Requisitos de seguridad y ensayos. Parte 5: Orejeras con reducción activa del ruido	2003 y 2006
EN ISO 352 – 6	Protectores auditivos. Requisitos generales y ensayos. Parte 6: Orejeras con entrada eléctrica de audio.	2003
EN ISO 352 – 7	Protectores auditivos. Requisitos de seguridad y ensayos. Parte 7: Tapones dependientes del nivel.	2004
EN ISO 50332-1	Equipos para sistemas acústicos: Cascos y auriculares asociados con equipos de sonido portátiles. Método de medición del nivel máximo de presión acústica y límites considerados. Parte 1: Método general para “un equipo completo”	2014
EN ISO 50332-2	Equipos para sistemas acústicos: Cascos y auriculares asociados con equipos de sonido portátiles. Método de medición del nivel máximo de presión acústica y límites considerados. Parte 2: Adaptación de equipos y auriculares si ambos se suministran por separado o si se suministran como equipo completo pero con conectores normalizados entre ambos que permitan asociar componentes de distintos fabricantes o con un diseño diferente.	2014

6.6. Protectores oculares y faciales

Deben utilizarse cuando existan riesgos mecánicos para los ojos y la cara (impactos, partículas proyectadas, astillas) o riesgos térmicos (tabla 17.24). Los diferentes modelos se pueden clasificar en:

- Protectores oculares o gafas de protección. Su finalidad es proteger la parte externa del globo ocular y zonas anatómicas próximas. Según la montura existen los siguientes diseños: 1) Gafas de montura universal, 2) Gafas de cazoletas, 3) Gafas de montura integral, 4) Gafas adaptables al rostro y 5) Gafas suplemento.

- Protectores o pantallas faciales. Extienden la protección a toda la cara. Entre los diferentes modelos están: 1) Pantalla de soldador, 2) Pantalla de malla, 3) Pantalla de plástico, 4) Pantalla de tejido anticalórico, etc.

Tabla 17.24. Especificaciones sobre los protectores oculares y faciales dictadas por el Comité Europeo de Normalización (EN).

Código	Título	Año
EN ISO 166	Protección individual de los ojos. Especificaciones	2002
EN ISO 167	Protección individual de los ojos. Métodos de ensayo ópticos.	2002
EN ISO 168	Protección individual de los ojos. Métodos de ensayo no ópticos	2002
EN ISO 1731	Protección individual de los ojos. Protectores oculares y faciales de malla.	2007

Para los riesgos mecánicos de impactos de partículas a media energía los elementos de protección idóneos son las gafas de montura integral o las pantallas. En el caso de impacto por partículas de alta energía solo son aptos las pantallas. El grado de resistencia mecánica de estos protectores se marca mediante tres símbolos (tabla 17.25).

Tabla 17.25. Protectores oculares y faciales de malla dictadas por el Comité Europeo de Normalización (EN) (Los símbolos F, B y A no son del protector sino de cada elemento: montura, ocular, etc. el nivel asignado será el más bajo de los elementos que lo conformen).

Símbolo de resistencia mecánica	Campo de uso	Requisito relativo a la resistencia mecánica
S	Básico	Solidez incrementada
F	Partículas a gran velocidad	Impacto partículas a baja energía
B		Impacto partículas a media energía
A		Impacto partículas a alta energía

6.7. Equipos de protección respiratoria

Aunque no es habitual en los trabajos en monte, cuando se realizan las operaciones de apeo y saca en montes recientemente quemados, el ambiente pulverulento producto de la remoción de las cenizas por el viento o las máquinas que participan, puede precisar del uso de protectores respiratorios (tabla 17.26). Estos protectores tendrán como función el filtrado contra partículas.

Tabla 17.26. Especificaciones sobre los protectores respiratorios dictadas por el Comité Europeo de Normalización (EN).

Código	Título	Año
EN ISO 133	Equipos de protección respiratoria. Clasificación.	2002
EN ISO 134	Equipos de protección respiratoria. Nomenclatura de los componentes.	1998
EN ISO 136/AC:2004	Equipos de protección respiratoria. Máscaras completas. Requisitos, ensayos, marcado.	2004
EN ISO 140/AC:2000	Equipos de protección respiratoria. Medias máscaras y cuartos de máscara. Requisitos, ensayos, marcado	2000
EN ISO 143/A1:2006	Equipos de protección respiratoria. Filtros contra partículas. Requisitos, ensayos, marcado.	2006

7. Señalización

La necesidad de señalizar en la superficie objeto de las operaciones de apeo, procesado y desembosque surge por la imposibilidad de eliminar o reducir suficientemente los riesgos aplicando las medidas de prevención o control (RD 485/1997). Tiene por finalidad advertir a los trabajadores expuestos a un riesgo, con el objeto de orientales o guiarles sobre las pautas de comportamiento a seguir ante cada situación. Hay que tener presente que la señalización, por

si misma, no es una medida preventiva o de protección, ya que no elimina el riesgo al que está sometido el trabajador, por lo que debe estar combinada con estas.

En las operaciones de apeo, procesado y saca de la madera, la señalización puede dirigirse a un sin fin de situaciones, entre las que se pueden citar: señalizar los riesgos de caídas a distinto nivel de los operarios por la presencia de desniveles acusados en el terreno, caídas al mismo nivel ante la existencia de superficies inestables (pedreras, canchales, etc.), riesgos de vuelco de tractor por existencia de fuertes pendientes, zona con riesgo de incendios forestales, zona con riesgo de explosiones por almacenarse sustancias inflamables (combustible de las máquinas) o zonas con nivel freático superficial, manantiales y fuentes con agua no potable, etc. La señalización, cuando se opte por ella, puede hacerse mediante la utilización de señales en forma de panel o mediante un color de seguridad. Las señales pueden ser:

- Señal de prohibición. Una señal que prohíbe un comportamiento susceptible de provocar un peligro. Son de forma redondeada, con pictograma negro sobre fondo blanco y con bordes y banda transversal inclinada 45° roja (ejemplo: prohibido acceder a la zona de trabajo a personas no autorizadas, etc.).

- Señal de advertencia. Una señal que advierte de un riesgo o peligro. Tienen una forma triangular, con el pictograma negro sobre fondo amarillo y con bordes negros (ejemplo: trabajos forestales, caídas a distinto nivel, etc.) (figura 17.15).

- Señal de obligación. Una señal que obliga a un comportamiento determinado.

La utilización de un color de seguridad puede realizarse en algunos casos combinada con la señal en forma de panel o no. Es el caso, por ejemplo, de la señalización del riesgo de caídas, que puede realizarse mediante la utilización de franjas alternas amarillas y negras inclinadas 45° .

Figura 17.15. Señal de advertencia a la entrada de un monte donde se está realizando un aprovechamiento maderero (izquierda), señal de prohibido el paso a toda persona ajena a la obra (centro) y señal de uso obligatorio a la zona de casco y pantalla facial para los motoserristas (derecha).

8. Herramientas

Las herramientas manuales son los utensilios de trabajo que emplean como fuerza motriz la fuerza brazo. En la repoblación forestal se pueden emplear herramientas manuales en las operaciones de mantenimiento de las máquinas y en el movimiento manual de la madera. Son ejemplos de herramientas, los martillos, destornilladores, llaves planas, pinzas de agarre, palancas de derribo, etc. El uso de las herramientas manuales genera un gran número de accidentes laborales, aunque la mayoría son de carácter leve. De forma general, las medidas preventivas que habrá que tomar son las siguientes (Tamborero 1990a, b, c):

- Seleccionar correctamente la herramienta.
- Mantener en buen estado la herramienta; tanto los mangos, como los elementos de corte.
- Usar correctamente la herramienta. Mantener la espalda derecha, no cruzar las manos, evitar golpes cercanos a los pies, con las herramientas de corte realizar este alejando la herramienta del cuerpo, en los desplazamientos asir la herramienta por el mango próximo a la parte metálica con el brazo extendido paralelo al cuerpo.
- Evitar un entorno que dificulte el uso correcto de la misma: deberá despegarse previamente de piedras o ramas que dificulten su uso.
- Guardar las herramientas en lugar seguro.
- Proteger los elementos de corte de la herramienta mediante fundas cuando no se utilice la misma.
- Guardar una distancia de seguridad entre operarios (3 m), tanto en el desarrollo del trabajo como en los desplazamientos por el monte.

9. Maquinaria

Según lo define el RD 1644/2008, se entiende por máquina “el conjunto de partes o componentes vinculados entre sí, de los cuales al menos uno es móvil, asociados para una aplicación determinada, provisto o destinado a estar provisto de un sistema de accionamiento distinto de la fuerza humana o animal, aplicada directamente”.

Esta norma tiene por objeto establecer las prescripciones relativas a la comercialización y puesta en servicio de las máquinas, con el fin de garantizar la seguridad de las mismas y su libre circulación, de acuerdo con lo estipulado por las normativas europeas. El cumplimiento de estas prescripciones llevará consigo el marcado CE. En las operaciones de apeo, procesado y saca de la madera se utilizan una gran diversidad de máquinas en las que es preciso valorar sus requisitos de seguridad (tabla 17.27).

Tabla 17.27. Máquinas utilizadas en las operaciones de apeo, procesado y saca de la madera.

Tipo máquina	Máquina
Máquinas	Motosierra
	Motodesbrozadora
	Cabrestante
	Estación motriz fija (cable grúa)
	Grúa
Máquinas autopropulsadas	Tractor agrícola
	Tractor de cadenas
	Cosechadora
	Skidder o tractor arrastrador
	Autocargador
	Vehículo
	Conjunto de vehículos
	Estación motriz móvil (cable grúa)

El principio integrador de la seguridad es que las máquinas se deben diseñar y fabricar de manera que sean aptas para su función y para que se puedan manejar, regular y mantener sin riesgo para las personas, cuando dichas operaciones se lleven a cabo en las condiciones previstas, pero, también, teniendo en cuenta cualquier mal uso razonablemente previsible. Las medidas que se tomen deberán ir encaminadas a suprimir cualquier riesgo durante la vida útil previsible de la máquina, incluidas las fases de transporte, montaje, desmontaje, retirada de servicio y desguace.

Los requisitos de seguridad para la maquinaria forestal están recogidos en la norma EN ISO 11850 de marzo de 2012 y hacen relación a los riesgos más significativos de las mismas (tabla 17.28).

Sobre los requisitos y medidas de seguridad expuestos, merecen detallarse los siguientes (AENOR 2012a):

1. Estructuras de protección de la cabina del operador. Son tres: a) Estructuras de protección frente a la caída de objetos, *Fallen Objects Protection Sytem* (FOPS), b) Estructuras de protección frente al vuelco, *Roll Over Protection System* (ROPS) y c) Estructuras de protección del operador, *Operator Protection System* (OPS), frente a la penetración de objetos (figura 17.16).

2. Cabecera de la plataforma de carga. Con la finalidad de proteger la cabina del operador cuando la máquina está alineada con la plataforma de carga, las máquinas deben disponer de una estructura en la cabecera de la plataforma de carga capaz de soportar una fuerza de 35 000 N (AENOR 2012a) (figura 17.17). La cabecera se debe situar entre la carga y el puesto del operador y, su altura, debe ser igual o mayor que la altura del puesto del operador. La anchura de la cabecera no debe ser inferior a la anchura total máxima comprendida entre las estacas exteriores, menos 50 mm, como máximo a cada lado.

Tabla 17.28. Riesgos y requisitos de seguridad según la norma EN ISO 11850.

Riesgo	Consecuencia	Requisitos de seguridad y medidas de protección
Caída de elementos sobre la máquina	Impactos, aplastamiento, muerte	Estructura protección caída de objetos (FOPS)
Penetración de objetos	Impactos, aplastamiento, muerte	Estructura protección del operador (OPS) Estructuras de protección de la cabina en la cabecera de la plataforma de carga
Cizallamiento de elementos de las máquinas	Cizallamiento	Resguardos, protecciones
Cortes con elementos afilados	Heridas por bordes afilados	Resguardos, protecciones
Enganches con partes móviles	Cortes, seccionamientos	Resguardos, protecciones En máquinas con dirección articulada separación mínima de 150 mm en la posición de máxima articulación
Proyección fluido alta presión	Impactos, intoxicación, quemaduras	Resguardos para los tubos flexibles que conducen fluidos Protección del puesto de trabajo de humos y fugas
Contactos eléctricos	Descargas	Aislamiento eléctrico de la batería
Contactos con elementos a alta temperatura Incendios	Quemaduras	Extintor portátil de un mínimo de 2 kg Propagación llama puesto del operador 100 mm min^{-1}
Ruido	Pérdida auditiva	Medidas de diseño en la fuente
Vibración	Desórdenes neurológicos	Medidas de diseño en la fuente
Inhalación de fluidos o gases	Intoxicación	Protección del puesto de trabajo de humos y fugas
Posiciones dañinas, esfuerzos excesivos	Fatiga	Asientos ergonómicos y estables frente a los mandos
Inadecuado diseño o identificación de los controles manuales	Pérdida de control	Medidas de control del arranque y parada
Arranque inesperado de la máquina	Atropellos, pérdida de control	Medidas de control del arranque Garantía de estabilidad de la máquina en condiciones normales de trabajo
Imposibilidad de paro de la máquina	Golpes con objetos fijos	Sistemas de frenado (ISO 11169 y 11512)
Rotura durante funcionamiento	Rotura de herramientas de trabajo	Estructura protección caída de objetos (FOPS) Estructura protección del operador (OPS) Estructuras de protección de la cabina en la cabecera de la plataforma de carga
Caída o proyección objetos	Impacto de objetos lanzados al aire	Estructura protección caída de objetos (FOPS) Estructura protección del operador (OPS) Estructuras de protección de la cabina en la cabecera de la plataforma de carga
Pérdida estabilidad o vuelco	Atrapamientos, muerte	Estructura protección frente al vuelco (ROPS) Cinturón de seguridad en los asientos Garantía de estabilidad de la máquina en condiciones normales de trabajo
Deslizamiento, pérdida de equilibrio y caída personas en relación con la máquina	Golpes, caídas	Accesos antideslizantes Condiciones de acceso y salida de la máquina

Figura 17.16. *Skidder* JD 440B con estructuras ROPS y FOPS pero con estructuras OPS incompletas (izquierda) y autocargador con cristal de policarbonato dañado por la caída de un árbol (derecha) (Fotos: J. Pemán).

Figura 17.17. Autocargador JD 1210E con cabecera de la plataforma de carga (izquierda) y vehículo articulado con semiremolque de plataforma sin cabecera de protección de la cabina ni del puesto del gruista (derecha) (Fotos: J. Pemán).

3. Acceso al puesto del operador. Para evitar caídas o deslizamientos en el acceso a las cabinas o puesto de trabajo, el operario debe tener tres puntos de apoyo cuando la superficie se encuentre elevada más de 550 mm del suelo (figura 17.18). La superficie de apoyo de los pies debe ser antideslizante y con un diseño que no permita que se acumulen residuos, barro, nieve, etc. En las máquinas con dirección articulada se debe permitir una separación mínima de 150 mm en la posición de máxima articulación.

4. Protección de elementos móviles. El caso más frecuente es el de los ejes de transmisión con el cardán (figura 17.19).

Uno de los mayores riesgos de la maquinaria forestal en el monte lo determina la pendiente y las características del terreno que determinan su capacidad de trabajo por el riesgo de vuelco (figura 17.20). En el caso de los tractores articulados, la pendiente del terreno determinará la estabilidad del tractor según la orientación del mismo con respecto a la línea de máxima pendiente y según el radio de giro de los *bogies* del tractor entre si (tabla 17.29, figura 17.21).

Figura 17.18. Dispositivos de acceso a la cabina de un *skidder* CAMOX F140 provisto de dos asideros y unos estribos antideslizantes (izquierda) y detalle de los estribos antideslizantes que no permiten la acumulación de barro o nieve (derecha) (Fotos: J. Pemán).

Figura 17.19. Cabrestante sin protección del cardán (Foto: J. Pemán).

Figura 17.20. Autocargador JD 1910E trabajando en terrenos de pendientes cercanas al 40% (Foto: J. Pemán).

Tabla 17.29. Pendiente máxima del terreno para el trabajo con tractores articulados en función del ángulo de orientación del tractor respecto de la línea de máxima pendiente y del ángulo de giro de los *bogies* entre si (Gibson y Biller 1974).

	Ángulo de orientación (γ) respecto línea máxima pendiente (°)	Ángulo de giro (**β**) de un bogie respecto el otro (°)	**Pendiente máxima terreno (%)**
Skidder ruedas	46 a 60	50	47
Autocargador vacío	65	50	55
	80	0	55
Autocargador 1/4 carga	65	50	60
Autocargador cargado	60 a 65	50	40

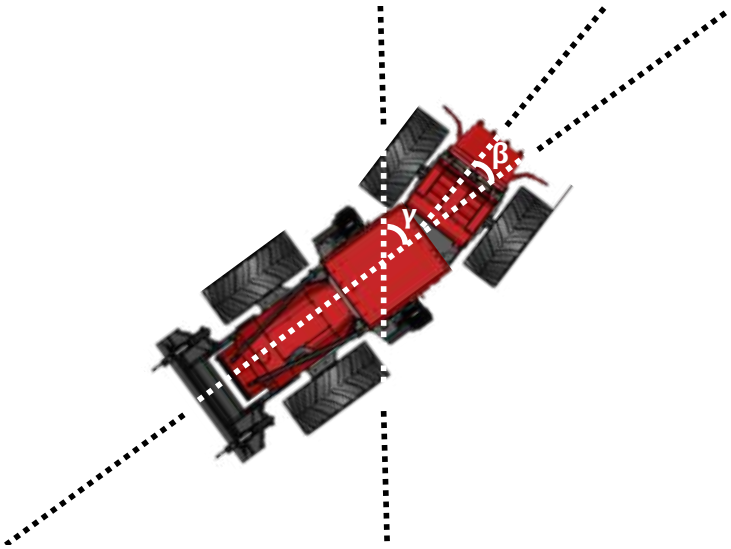


Figura 17.21. Esquema de un tractor articulado trabajando sobre la ladera orientado un determinado ángulo respecto de la línea de máxima pendiente **(γ)** y con un ángulo de giro de los dos *bogies* entre si (β).

En el caso de la maquinaría agrícola que se use en los aprovechamientos madereros, además de las medidas de seguridad laboral aplicables, hay que añadirles las correspondientes a la seguridad vial, para poder circular por las vías públicas de transporte. En el caso de la maquinaria forestal, al circular por las vías públicas en un transporte especial, camiones plataforma o góndola, no son precisas el cumplimiento de las mismas. Si lo serán para estos vehículos y para los camiones de transporte de madera u otros productos derivados del aprovechamiento maderero.

De forma más detallada se describen los riesgos y medidas preventivas de dos de las máquinas forestales más empleadas en el aprovechamiento maderero: 1) el *skidder* y 2) la motosierra.

9.1. Skidder o tractor forestal arrastrador

El *skidder*, o tractor forestal arrastrador, es una máquina autopropulsada adaptada al medio forestal que realiza el desembosque de la madera de manera arrastrada, semisuspendida o suspendida. Se compone de una máquina base que puede llevar dispositivos diferentes para el desembosque de la madera: 1) Cabrestante, 2) Grapa, 3) Grúa.

La máquina base es un tractor articulado, cuando son de ruedas, de una anchura entre 3 y 3,5 m y con una longitud entre 3 y 9 m. Aunque hay un rango amplio de modelos, la potencia mínima recomendada es de más de 120 CV. El chasis es robusto y está elevado del suelo más de 50 cm. Su peso es elevado, entre 5 y 20 t, que se distribuye las dos terceras partes en el eje delantero y el resto en el eje trasero. Los requisitos y medidas de seguridad exigibles a esta máquina, particularizando para el tractor de ruedas provisto de cabrestante, se resumen en la tabla 17.30.

Tabla 17.30. Riesgos del *skidder* y dispositivos de seguridad (Iturri y Pérez de Larraya 2000).

Riesgo	Consecuencias	Dispositivo seguridad
Riesgos mecánicos		
Caída de objetos cabina	Lesiones por impacto	Cabina estructuras FOPS
Penetración objetos cabina	Lesiones por impacto	Cabina estructura OPS
Vuelco máquina	Atrapamientos, golpes, muerte	Cabina estructura ROPS Cinturón de seguridad Respetar limitaciones pendiente
Pérdida de estabilidad, deslizamiento máquina	Pérdida de control de la máquina	Instalación de cadenas en las ruedas Estacionamiento de la máquina en lugar estable. Descenso de la hoja *dozer*.
Golpes al arrastrar en la máquina		Antes de comenzar el arrastre descenso del escudo
Pérdida control de la madera arrastrada		Cabrestante controlado por radio frecuencia
Golpes por rotura cable durante funcionamiento	Lesiones por impacto	Parada automática cabrestante
Deslizamiento operario, pérdida de equilibrio y caída personas en relación con la máquina	Lesiones por impacto	Accesos antideslizantes Condiciones de acceso y salida de la máquina
Enganches con partes móviles	Cortes, seccionamientos	Resguardos, protecciones En máquinas con dirección articulada separación mínima de 150 mm en la posición de máxima articulación
Riesgos físicos		
Ruido	Pérdida auditiva, de equilibrio	Cabina insonorizada o protectores auditivos conductor
Vibraciones	Desórdenes neurológicos	Mandos y asientos diseñados con baja vibración
Incendios	Quemaduras	Extintor
Térmico	Quemaduras por contacto con zonas calientes	Resguardos
Eléctrico	Descarga eléctrica, lesiones	Aislamientos

Riesgo	Consecuencias	Dispositivo seguridad
Riesgo químico		
Inhalación de gases del escape	Problemas respiratorios por inhalación de gases tóxicos	Salida de humos fuera del área de trabajo del operador
Cargas de trabajo		
Fatiga	Lesiones en el aparato locomotor por pérdida de control	Asientos y mandos ergonómicos

En el mantenimiento de la máquina deben seguirse las instrucciones del fabricante.

9.2. Motosierra

La motosierra o sierra portátil de cadena es la máquina más utilizada en España para el apeo y procesado del árbol. A los riesgos analizados en el desarrollo de la actividad hay que añadir los propios de la máquina utilizada (tabla 17.31) que precisa de unas medidas de protección exigibles. Estas medidas de protección están recogidas en la norma EN ISO 11681-1, de mayo de 2012 (AENOR 2012b).

Tabla 17.31. Riesgos en el uso de la motosierra y dispositivos de seguridad (Pérez de Larraya 2003; STHIL 2009).

Riesgo	Consecuencias	Dispositivo seguridad según EN ISO 11681-1 (figura 16.20)
Riesgos mecánicos		
Cortes con la sierra	Lesiones, amputaciones, muerte	2,4,5,8,13
		Freno de cadena Freno de inercia Espada de rebote reducido Cadena de seguridad. Bajo riesgo de rebote al reducir su penetración en la madera.
Golpes por el efecto de tirón	Lesiones por impacto	6
Golpes por rotura cadena	Lesiones por impacto	2, 5, 18, 19
Golpes por proyección de partículas	Lesiones por impacto	7
Riesgo físico		
Ruido	Pérdida auditiva, de equilibrio	21
Vibraciones	Desórdenes neurológicos	20
Incendios	Quemaduras	Matachispas en el escape
Térmico	Quemaduras por contacto con zonas calientes	15
Eléctrico	Descarga eléctrica, lesiones	14

Riesgo	Consecuencias	Dispositivo seguridad según EN ISO 11681-1 (figura 16.20)
Riesgo químico		
Inhalación de gases del escape	Problemas respiratorios por inhalación de gases tóxicos	17
Cargas de trabajo		
Fatiga	Lesiones en el aparato locomotor por pérdida de control	1, 3, 4, 6, 9, 10 y 11

Los requisitos y/o medidas de protección exigibles a las motosierras hacen referencia a los siguientes elementos (AENOR 2012b) (figura 17.22):

1. Empuñaduras. Una para cada mano. Deben garantizar que se pueden asir firmemente y de forma segura cuando el operario lleve los guantes protectores. Deben estar diseñadas para que permitan que el operario puede efectuar la parada del motor de una forma segura. Deben ir provistas de un sistema antivibraciones.

2. Protección de las manos. Una para cada mano. El resguardo de la parte delantera tiene por objeto proteger la mano izquierda del operario del corte con la sierra y el de la parte posterior tiene por objeto proteger la mano derecha del impacto si se produce la rotura de la cadena.

3. Estabilidad longitudinal. El ángulo máximo debe ser de 30º entre la línea central del espadín y el plano horizontal.

4. Protección contra lesiones por rebote. Puede realizarse mediante varios dispositivos: 1) Freno de cadena, 2) Freno de inercia o no manual y 3) Ángulo de rebote. El freno de cadena se puede accionar de forma manual mediante contacto de la mano izquierda con el resguardo delantero. La fuerza necesaria debe estar comprendida entre 20 y 50 N y el tiempo medio de parada no debe exceder de 0,12 s. Para motosierras de cilindrada superior a 80 cm^3 no debe superar los 45º.

5. Captor de cadena. Tiene por objeto recoger la cadena en caso de rotura.

6. Garra de corteza. Tiene por objeto evitar el efecto de tirón facilitando la sujeción y contacto de la motosierra con el tronco.

7. Descarga de serrín. Debe ser por la parte inferior de la sierra para evitar su impacto sobre la cara del operario.

8. Protector cubre espadín. Funda protectora que protege del contacto con la espada en los casos de traslado y almacenamiento.

9. Dispositivo de arranque del motor. Si dispone de dispositivo eléctrico de arranque este debe accionarse con dos movimientos distintos para evitar su arranque accidental. En el caso de arranque manual se debe disponer de un dispositivo de recogida de cuerda.

10. Dispositivo de parada del motor. Debe disponer de un dispositivo de parada del motor que puede ser accionado con la mano derecha mediante el operario maneja la motosierra.

11. Acelerador. Se debe poder accionar teniendo la mano protegida con un guante mientras se sostiene la motosierra. Dispone de un gatillo que al apretarlo revoluciona el motor y al soltarlo vuelve a la posición de ralentí. Suelen disponer de un seguro del acelerador para ayudar en el arranque (11a). Su activación provoca el movimiento de la cadena durante el arranque. Se suelta automáticamente al accionar el gatillo.

12. Protección del piñón del tambor.

13. Embrague. Permite que la cadena no se mueva cuando el régimen del motor es inferior a 1,5 el régimen del ralentí.

14. Protección contra el contacto con partes con alta tensión.

15. Protección contra el contacto por partes calientes.

16. Sistemas de combustible y de aceite. Los tapones deben de disponer de dispositivos de retención. Las aberturas de uno y otro depósito deben ser de al menos 20 y 19 mm, respectivamente. Los depósitos no deben tener fugas en todas las posiciones de trabajo. Las conducciones de ambos líquidos deben estar protegidas y garantizar que no se produzca ninguna fuga.

17. Gases del escape. Deben ser dirigidos lejos de la cara del operario.

18. Lubricación de la cadena. La espada y la cadena se deben lubricar automáticamente.

19. Tensión de la cadena. Deben disponer de los elementos necesarios para el ajuste de la tensión de la cadena.

20. Vibración. Deben disponer de amortiguadores o silentblocks para reducir la vibración en las empuñaduras.

21. Ruido.

22. Inmunidad electromagnética. No se debe alterar su funcionamiento en presencia de una perturbación electromagnética.

Figura 17.22. Dispositivos de seguridad de la motosierra según la norma EN ISO 11681-1. 1: Empuñaduras, 1.d: mano derecha, 1.i: mano izquierda, 2: Protectores de mano, 2.d: mano derecha, 2.i: mano izquierda, 3: Freno de cadena, 4: Captor de cadena, 5: Garras de corteza, 6: Funda de la espada, 7: Dispositivo de arranque, 8: Dispositivo de parada del motor, 9: Acelerador, 9a: Seguro del acelerador, 10: Protector del piñón, 11: Tapones depósitos combustible y aceite de la cadena, 12: Tubo de escape lateral, 13: Tensor de la cadena, 14: Amortiguadores o silentblocks.

En el mantenimiento de la motosierra deberán seguirse las indicaciones propuestas por el fabricante (STHIL 2009).

Problemas de seguridad en el apeo manual

10. Seguridad vial

Una de las causas de mayor siniestralidad en el ámbito forestal son los accidentes de tráfico, tanto en misión o servicio, *in itinere*. Estos accidentes se pueden dar en las carreteras de transporte y en las pistas forestales. Según cual sea el tipo de vía, podrá circular un tipo de vehículo u otro (tabla 17.32).

Si las pistas o caminos interiores del monte son de carácter público hay que regular las condiciones de la circulación, para evitar los riesgos sobre la seguridad vial. Esto puede implicar cortar algunas de ellas al tránsito, al menos, durante unas determinadas horas al día o acondicionarlas para poder hacer compatibles los trabajos con la circulación de vehículos ajenos al mismo. De-

ben señalizarse los caminos interiores por donde circularán las máquinas y las zonas de riesgo que existan en el monte (cortados, zonas de abundante rocosidad, canchales, líneas eléctricas, cursos de agua, etc.).

Tabla 17.32. Tipo de vía de transporte y de vehículo que circula por ella.

Tipo de Vía	Vehículo	Tarea
Carretera	Turismo todoterreno o furgoneta. Con o sin remolque	Transporte obreros y/o material
	Tractores agrícolas con cabrestantes	Traslado al lugar de trabajo
	Camiones con semirremolques o remolques	Transporte de madera
	Camiones de transportes especiales	Traslado de tractores forestales al monte
Pista forestal	Turismo todoterreno o furgoneta. Con o sin remolque	Transporte obreros y/o material
	Tractores agrícolas con cabrestantes	Traslado al lugar de trabajo Desembosque madera
	Tractores forestales (ruedas, cadenas)	Traslado al lugar de trabajo Desembosque madera
	Camiones (4x4) y/o vehículos y conjunto de vehículos	Transporte de madera

10.1. Carga

Según el Reglamento General de Circulación (RGC), la carga transportada por una vía pública en un vehículo siempre deberá estar dispuesta de tal forma que no se pueda (BOE 2015b):

1. Arrastrar, caer total o parcialmente o desplazarse de manera peligrosa.

2. Comprometer la estabilidad del vehículo.

3. Producir ruido, polvo u otras molestias que puedan ser evitadas. En el caso de transporte de materias que produzcan polvo o se puedan caer sobre la calzada, es el caso del transporte de las astillas, se efectuará siempre cubriendo la caja del camión.

4. Ocultar los dispositivos de alumbrado o de señalización luminosa, las placas o distintivos obligatorios y las advertencias manuales de sus conductores.

La sujeción de la madera en rollo en la caja del camión se realiza por medio de los teleros o barras verticales que se disponen a lo cargo de su longitud y/o anchura. Normalmente son metálicos y con una longitud superior a la de la altura de la carga. Como criterio para valorar su resistencia, algunos autores proponen que deben ser capaces de soportar 1/8 del peso de la carga a 2 m de altura (Heikkila). Asimismo, se recomienda que el número de soportes verticales sea de dos por cada grupo de trozas. Los soportes laterales deben estar encadenados en sus extremos superiores con los soportes opuestos de la caja del camión. Además, las trozas deben sujetarse mediante eslingas (de cadena, cable o textiles) que estén tensionadas con una resistencia de 20 kN. Las eslingas estarán sujetas al chasis del camión y su número dependerá de la longitud de las trozas. Para trozas de menos de 3 m bastará una (figura 17.23).

Figura 17.23. Soportes verticales y eslingas de cable para la sujeción de la carga (izquierda) y teleros metálicos dispuestos a lo largo de la caja del camión (derecha) (Fotos: J. Pemán).

Por norma general, la carga no sobresaldrá de la proyección en planta del vehículo, aunque se autoriza, en el caso de vehículos destinados al transporte de mercancías y en el caso de cargas indivisibles como podría ser el fuste completo, que sobresalga 2 m por la parte anterior y 3 m por la posterior. En estos casos la carga deberá ser señalizada por medio de la señal V-20 (figura 17.24). Esta señal se deberá colocar en el extremo posterior de la carga de manera que quede constantemente perpendicular al eje del vehículo. Cuando la carga sobresalga longitudinalmente por toda la anchura de la parte posterior del vehículo, se colocarán transversalmente dos paneles de señalización, cada uno en un extremo de la carga o de la anchura del material que sobresalga. Ambos paneles deberán colocarse de tal manera que formen una geometría de «v» invertida. Cuando el vehículo circule entre la puesta y la salida del sol o bajo condiciones meteorológicas o ambientales que disminuyan sensiblemente la visibilidad, la carga deberá ir señalizada, además, con una luz roja. Cuando la carga sobresalga por delante, la señalización deberá hacerse por medio de una luz blanca.

Figura 17.24. Señal V-20 para indicar que la carga sobresale de la caja del camión (izquierda) y puntales que exceden la longitud de la caja del camión y que deberían estar señalizados (derecha) (Foto: J. Pemán).

La realización de las operaciones de carga y descarga están prohibidas en las vías públicas. No obstante, los cargaderos se suelen ubicar en lugares accesibles y próximos a las mismas para

facilitar la entrada de los camiones de transporte. En el caso de que el cargadero se localice en la zona de dominio público y/o de servidumbre de la vía, 3 y 8 m respectivamente, para todas las vías a excepción de autopistas y autovías, se precisará de autorización de la entidad gestora de la vía (BOE 2015c). Hay que extremar las precauciones para que en el proceso de carga no caigan los troncos sobre la calzada (figura 17.25). Por ello se recomienda que la carga se realice perpendicularmente al eje de la vía.

Figura 17.25. Cargadero en la zona de servidumbre de la vía pública. Precisa autorización de la entidad gestora de la carretera (Foto: J. Pemán).

Carga de vehículo articulado en cargadero situado a pie de carretera

10.2. Acceso a las carreteras

La incorporación y salida de los camiones de transporte de las carreteras suele ser uno de los factores críticos en el transporte de la madera. Generalmente estas zonas se caracterizan por una mala visibilidad, reducido espacio para la incorporación y salida del vehículo y deficiente conservación. Atendiendo a lo dispuesto en el RGC, el acceso del camión de transporte a la carretera debe hacerse con la plena seguridad para los vehículos que circulan por la misma, para lo cual las medidas a tener en cuenta serán (Iturri 2000; AFAMID 2013):

- Elegir puntos de acceso con buena visibilidad.
- Señalizar sobre la carretera que es punto de salida de camiones (figura 17.26).
- Acondicionar el punto de acceso para una buena maniobrabilidad de los vehículos.
- Realizar las operaciones de mantenimiento del mismo durante el tiempo que dure el aprovechamiento.
- Regular los circuitos de acceso si pueden ser utilizados por otros vehículos ajenos al aprovechamiento.

En la incorporación de los camiones a la carretera hay que vigilar que estos no incorporen a la misma restos que pudieran quedar sobre la calzada poniendo en riesgo la circulación sobre la misma (barro, restos de ramas, copas, etc.).

Figura 17.26. Señal de advertencia de un punto de entrada y salida de camiones que transportan madera.

10.3. Circulación interior

Si las pistas o caminos interiores del monte son de carácter público hay que regular las condiciones de la circulación para evitar los riesgos sobre la seguridad vial (figura 17.27). Esto puede implicar cortar algunas de ellas al tránsito, al menos, durante unas determinadas horas al día o acondicionarlas para poder hacer compatibles el aprovechamiento con la circulación de vehículos ajenos al mismo.

Tiempos de conducción y descanso (según Directiva 51/2006)

El tiempo máximo de conducción diario de un conductor de camión de transporte terrestre no puede exceder de 9 horas, salvo dos veces a la semana que puede llegar a las 10 h. El tiempo de conducción máximo semanal no podrá exceder de 56 h. El tiempo diario de conducción durante dos semanas consecutivas no será superior a 90 horas.

Tras un periodo de conducción de 4 h y 30 minutos, el conductor deberá hacer un descanso mínimo de 45 minutos. Esta pausa o interrupción podrá fragmentarse en una de 15 minutos y otra de 30 minutos para el periodo de conducción de 4 h y 30 minutos.

Los conductores deberán tomarse diariamente un periodo de descanso ininterrumpido de 11 h. Este periodo diario de descanso puede ser reducido cuando descansen de forman ininterrumpida más de 9 h. Solo se podrán hacer 3 periodos de descanso diario reducido entre dos periodos de descanso semanales. Cada seis jornadas de 24 h el conductor deberá tomar un descanso semanal. Este periodo deberá ser de al menos 45 h. Este periodo también podrá ser reducido, hasta un mínimo de 24 h consecutivas.

En el tacógrafo digital de que van provistos los vehículos que se dedican al transporte terrestre quedan registrados los tiempos de descanso e interrupciones así como otra información como la distancia recorrida, velocidad, etc. Los conductores deben introducir su tarjeta digital en la unidad que está ubicada en la cabina y en ella queda grabada su actividad de los últimos 31 días.

Figura 17.27. Situaciones no admisibles en la circulación interior, al viajar 3 operarios en la cabina (izquierda) o un operario encima del cabrestante (derecha) (Fotos: J. Pemán).

11. Primeros auxilios y libro de incidencias en los lugares de trabajo

Según dispone la norma sobre las condiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo (RD 486/1997), se debe disponer del material necesario para la realización de los primeros auxilios en caso de accidente. Este material debe ser el adecuado a los riesgos a los que está sometido el trabajador. El botiquín deberá ser proporcionado por el empresario, adecuado a los riesgos a los que está sometido el trabajador y no debe contener medicamentos. En todo caso, se deberá disponer, como mínimo, de un botiquín portátil que contenga:

- Desinfectantes y antisépticos autorizados
- Suero fisiológico
- Gasas estériles
- Algodón hidrófilo
- Vendas
- Esparadrapo
- Apósitos adhesivos
- Tijeras
- Pinzas
- Guantes desechables

Se deberá disponer, igualmente, de agua potable para la limpieza, en caso de necesidad, de las heridas y para las necesidades de hidratación de los trabajadores.

En cada centro de trabajo existirá un Libro de Incidencias, con hojas por duplicado, para el seguimiento del plan de seguridad y salud en la obra (figura 17.28). Será facilitado por el Colegio profesional al que pertenezca el técnico que haya aprobado el plan de seguridad y salud. En el caso de obras de las administraciones públicas lo facilitará la oficina de supervisión de proyectos. Deberá mantenerse siempre en la obra y podrán hacer anotaciones en el mismo la dirección de obra, los contratistas y subcontratistas y los trabajadores autónomos, así como las personas u órganos con responsabilidades en materia de prevención en las empresas intervinientes en la obra, los representantes de los trabajadores y los técnicos de Seguridad y Salud de las Administraciones Públicas competentes. Efectuada una anotación en el mismo, el coordinador en materia de seguridad y salud durante la ejecución de la obra, o la dirección de obra en su defecto, estarán obligados a remitir, en el plazo de veinticuatro horas, una copia a la Inspección de Trabajo y Seguridad Social de la provincia en que se realiza la obra. Igualmente deberán notificar las anotaciones en el libro al contratista afectado y a los representantes de los trabajadores de éste

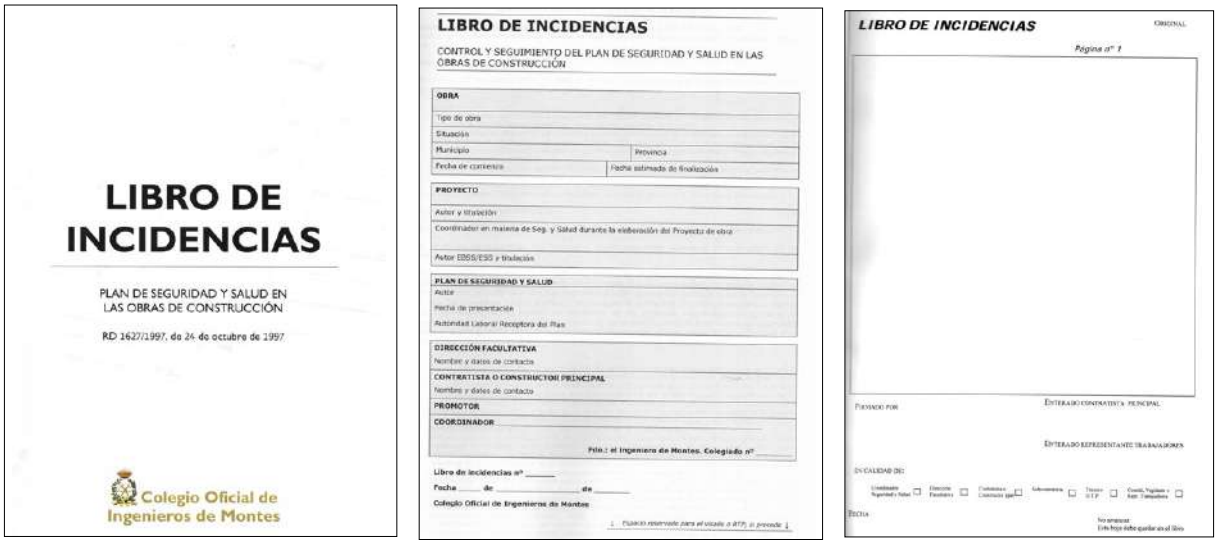


Figura 17.28. Portada de libro de incidencias (izquierda), datos generales del proyecto (centro) y estadillo para la descripción de las incidencias (derecha).

12. Bibliografía

AENOR (2014) Calzado de seguridad resistente al corte por sierra de cadena.

AENOR (2000) EN 381-7. Ropa de protección para usuarios de sierras de cadena accionadas a mano. Parte 7: requisitos para guantes protectores contra sierras de cadena.

AENOR (2003) EN 381-11. Ropa de protección para usuarios de sierras de cadena accionadas a mano. Parte 11: requisitos para las chaquetas protectoras.

AENOR (1995) EN 381-5. Ropa de protección para usuarios de sierras de cadena accionadas a mano. Parte 5: requisitos para los protectores de piernas.

AENOR (2012a) EN ISO 11850. Maquinaria forestal. Requisitos de seguridad. AENOR, Madrid.

AENOR (2012b) EN ISO 11681-1. Maquinaria forestal. Requisitos de seguridad y ensayos de sierras de cadena portátiles. Parte 1: Sierras de cadena para uso forestal. AENOR, Madrid.

AFAMID (2013) Recomendaciones para la mejora de las condiciones de seguridad vial de los trabajadores del sector de la madera. AFAMID, Madrid.

BOE (2015a) Real Decreto 1299 / 2006, de 10 de noviembre, por el que se aprueba el cuadro de enfermedades profesionales en el sistema de la Seguridad Social y se establecen criterios para su notificación y TEXTO CONSOLIDADO. 1-40.

BOE (2010) Real Decreto 1627 / 1997, de 24 de octubre, por el que se establecen disposiciones mínimas de seguridad y de salud en las obras de construcción. 1-20.

BOE (2015b) Real Decreto 1428 / 2003, de 21 de noviembre, por el que se aprueba el Reglamento General de Circulación para la aplicación y desarrollo del texto articulado de la Ley sobre tráfico, circulación de vehículos a motor y seguridad vial, aprobado por el R. 1-131.

BOE (2015c) Ley 37/2015, de 29 de septiembre, de carreteras. 1-48.

Centro Prevención Riesgos Laborales (2007) Trabajos en ambientes calurosos. Junta de Andalucía.

Culver M (2014) Riesgos biológicos en silvicultura, explotación forestal y jardinería: prevención. INSHT.

Fernández-Truan J, de la Puente L, Mateo J, et al. (2003) Manual de prevención de riesgos laborales en Trabajos Forestales. Junta de Andalucía-Asociación Andaluza de Empresas Forestales, Sevilla.

García-González J (2013) NTP 980: Protectores auditivos: orejeras dependientes del nivel.

Gibson HG, Biller CJ (1974) Side-Slope Stability of Logging Tractors and Forwarders. Trans ASAE 1:245-250.

Heikkila T Transporte de madera. CEMAPIF, Honduras.

Hernández-Castañeda A (2008) Calzado para protección individual: especificaciones, clasificación y marcado.

INSHT (1998) Evaluación de riesgos laborales. INHST, Madrid.

Iturri J, Pérez de Larraya C (2000) Maquinaria forestal. En: Instituto Navarro de Seguridad Laboral (ed) Man. Prevención riesgos labores en el Sect. Agrar. Instituto Navarro de Seguridad Laboral, Pamplona, pp 1-19.

Iturri JM Seguridad vial en el subsector forestal. ACER, Pamplona. https://www.navarra.es/NR/rdonlyres/B57DD7B7-4D72-48D5-BFCC-2A4A84387FD1/151297/SeguridadVialForestal.pdf

Lara A (2010) Guantes de protección contra riesgos mecánicos.

Millán J (1996) La prevención de los riesgos laborales. Ediciones Adhara, Granada.

Monroy E, Luna P (2015) NTP-1.037: Estrés por frío (II). Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, Madrid.

Morales J (2004) Prevención de riesgos en el trabajo forestal. Seguridad en incendios forestales. Tecnos, Madrid.

Nogareda S, Canosa M del M (1998) NTP 477 : Levantamiento manual de cargas: Ecuación del NIOSH. INSHT, Inst Nac Segur e Hig en el Trab 10.

Pérez de Larraya C (2003) Manual de seguridad. La motosierra. Gobierno de Navarra, Pamplona

del Pino F, Barrios C (1988) NTP 228 : Cascos de protección : Guías para la elección, uso y mantenimiento.

Rivera D, Obón de Castro C (1991) Guía INCAFO de las plantas útiles y venenosas de la Península Ibérica y Baleares (excluídas las medicinales). INCAFO.

Sanz C (1982) Leyenda y realidad de la fauna venenosa española (y II). Vida Silv 41:14-27.
STHIL (2009) Manual de seguridad de la motosierra.
Tamborero J (1990a) NTP 393 : Herramientas manuales (III): condiciones generales de seguridad. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo.
Tamborero J (1990b) NTP 391 : Herramientas manuales (I): condiciones generales de seguridad. 11.
Tamborero J (1990c) NTP 392 : Herramientas manuales (II): condiciones generales de seguridad. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo.
UGT-CEC (2019) Datos estadísticos. Uno es demasiado. Enero/junio. https://www.ugt.es/sites/default/files/unoesdemasiado_006_web.pdf
Valledor de Lozoya A (1994) Envenenamientos por animales. Animales venenosos y urticantes del mundo. Diaz de Santos, Madrid.

Parte II
Casos particulares

Casos particulares de los aprovechamientos madereros

Caso particular I. La biomasa forestal y su aprovechamiento

Eduardo Tolosana Esteban

1. Contexto: definiciones, procesos de conversión energética y en bioproductos. Situación actual

1.1. Definiciones

AENOR utiliza la definición de la Especificación Técnica Europea CEN/TS 14588 para catalogar la "**biomasa**" como "todo material de origen biológico excluyendo aquellos que han sido englobados en formaciones geológicas sufriendo un proceso de mineralización".

La biomasa residual es la que no se utiliza en procesos industriales de transformación en productos agrícolas, ganaderos o forestales. En último término, resulta de la transformación de la energía solar por los vegetales y otros organismos autótrofos, pero también de los residuos animales, industriales y urbanos de origen orgánico (figura I.1).

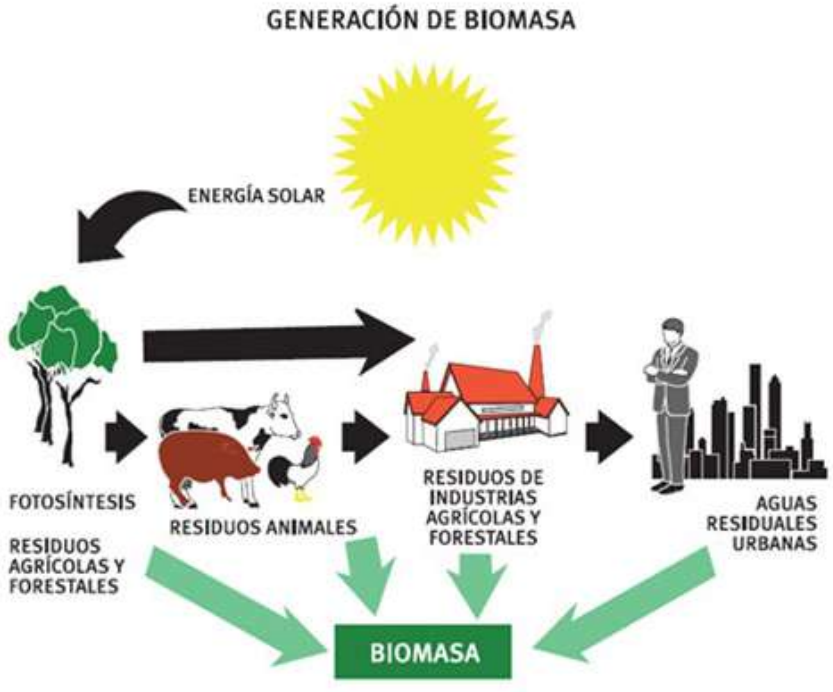


Figura I.1. Origen de la biomasa "residual" (Fuente: adaptado de IDAE, 2007).

No obstante, hay cierto debate sobre el adjetivo "residual", puesto que el residuo de algún proceso deja de serlo y se convierte en producto cuando tiene un uso alternativo, energético o no, dotándose de valor.

La **biomasa forestal** se puede definir como "productos forestales procedentes de cortas, podas, desbroces y otras actividades selvícolas realizadas en masas forestales", si bien el término se refiere normalmente a los productos que no tiene un uso en las industrias forestales de transformación (pasta de celulosa, tableros, aserrado, postes, etc.) sino un uso energético para la generación de calor y/o electricidad.

La biomasa forestal también incluye los llamados **"cultivos energéticos forestales"**, que son plantaciones a turnos cortos que se destinan íntegramente a este uso energético, frecuentemente en forma de monte bajo, es decir, empleando especies forestales rebrotadoras como chopos, sauces, eucaliptos, acacias, etc.

También se considera biomasa forestal la que procede de residuos o subproductos de las industrias forestales, como las cortezas, los licores negros procedentes del proceso Kraft de fabricación de pasta de celulosa o los serrines y virutas procedentes de la industria del aserrado.

1.2. Procesos de transformación energética

Los procesos de producción de energía a partir de la biomasa forestal se muestran en la figura I.2, en que se resaltan en rojo los procesos más comunes.

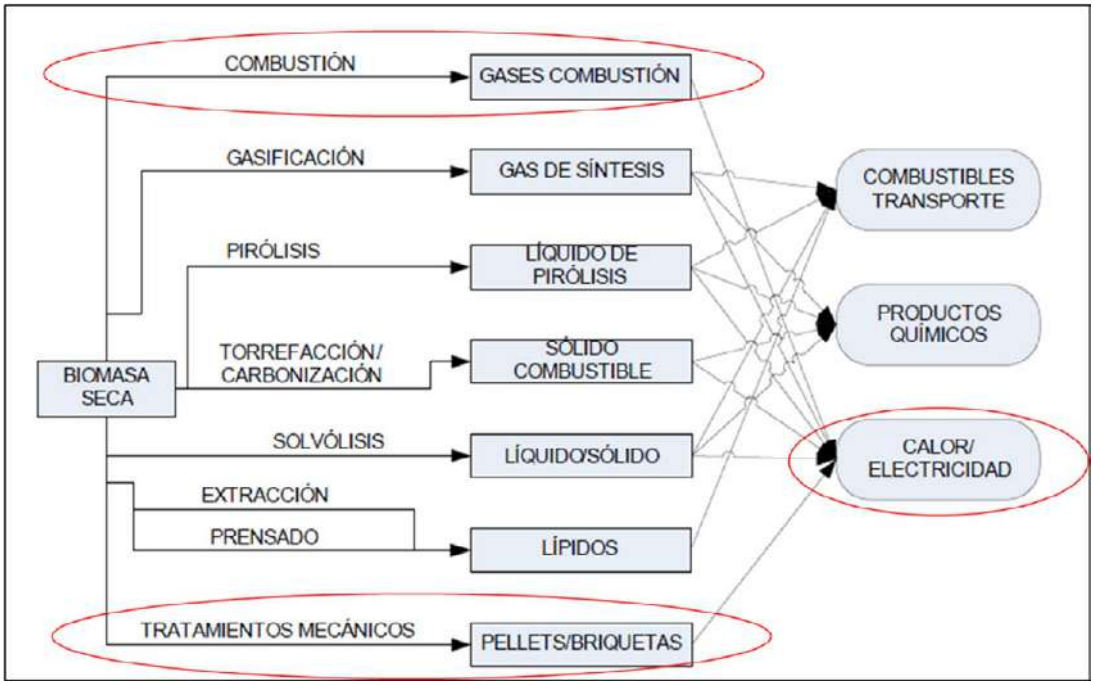


Figura I.2. Procesos de conversión energética de la biomasa seca (se resaltan los más comunes en el caso de la biomasa forestal) (Fuente: Arauzo et al. 2014).

El uso tradicional de la biomasa forestal es la combustión para la producción doméstica de calor, ya en forma de leña o con transformaciones previas de combustión incompleta (pirólisis o carbonización) para su transformación en carbón vegetal, un combustible con mayor densidad energética por unidad de peso, lo que tiene ventajas para su transporte.

Estos procesos se han modernizado en las últimas décadas, empleando estufas o calderas en que el combustible puede seguir siendo leña o bien transformaciones mecánicas de distintos tipos de biomasa forestal, incluida la propia leña, a través de:

- **Astillado o trituración** (fragmentación en partículas de menor tamaño – entre 5 y 50 mm en el caso de las astillas, de acuerdo con ISO —16559: 2022— que ganan en densidad aparente para mejorar su transporte y en homogeneidad, lo que mejora la eficiencia de la combustión).

- **Peletizado o briquetado**, en que la biomasa molida y seca se compacta por presión y temperatura consiguiendo biocombustibles sólidos más homogéneos y eficientes aún, fáciles de transportar y manejar.

Estos procesos de aprovechamiento de energía térmica ganan en eficiencia con la escala (el tamaño de las calderas) y hay tendencia a generar calor de una fuente de gran potencia para abastecer de agua caliente sanitaria y calefacción – e incluso refrigeración – a colectivos grandes, desde hospitales o universidades a urbanizaciones residenciales, en lo que se conoce como redes de calor o "*district heatings*".

La biomasa sólida se puede emplear también, directamente o previas transformaciones en otros biocombustibles líquidos o gaseosos, para la generación de energía eléctrica. En general, la combustión se usa para calentar agua y transformarla en vapor, generando electricidad a través de una turbina (ciclo Rankine).

El inconveniente de la generación eléctrica sin aprovechamiento del calor residual es que su rendimiento energético es bajo. Aunque este rendimiento aumenta con el tamaño de la caldera, no alcanza el 35% sobre el contenido energético del biocombustible, lo que conduce a que una central eléctrica de biomasa tenga una necesidad de hasta 10 000 t al año de biomasa al 30-35% de humedad (en base húmeda) por MW instalado. Una planta con la misma potencia de una central nuclear (900-1000 MW) requeriría de más de la mitad de la madera que se corta anualmente en España para su funcionamiento.

Por ello, se considera preferible desde el punto de vista de la eficiencia energética la producción de energía eléctrica con aprovechamiento del calor residual para usos térmicos, sean industriales (por ejemplo, secado de los tableros o de la pasta de celulosa en industrias forestales) o residenciales (calefacción y agua caliente sanitaria en áreas urbanas). Es lo que se conoce como **cogeneración**.

El problema de estas centrales más eficientes es que, para aprovechar el calor, se requiere una demanda más o menos continua, como ocurre en industrias que requieran calor de proceso durante todo el año, o para uso residencial bajo climas fríos. Otra opción si no existiera demanda continua de calor, pero sí demanda de refrigeración, es la llamada **trigeneración,** con aprovechamiento del calor sobrante para producir calor o frío en función de la demanda (véase el reparto del aprovechamiento energético en una de estas centrales en la figura I.3).

Además de las transformaciones energéticas mencionadas por combustión, hay otros procesos de conversión energética muy prometedores, entre ellos la fabricación de carbón vegetal para su uso como enmienda edáfica (biochar) o en otras aplicaciones como absorbente. La **gasificación** es otro proceso muy prometedor —producción de biohidrógeno o biometano a partir sobre todo de biomasa húmeda, residuos animales y urbanos—.

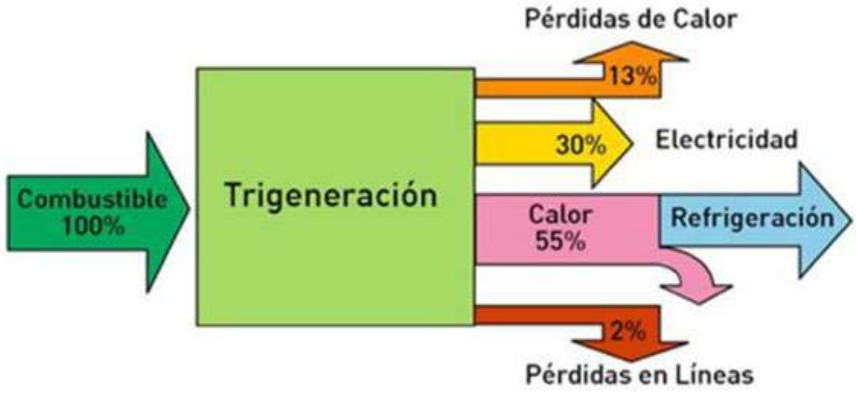


Figura I.3. Reparto del aprovechamiento energético en una central de trigeneración con aprovechamiento preferente de la energía térmica en forma de refrigeración (Fuente: www.empresaeficiente.com, en IDAE, 2012).

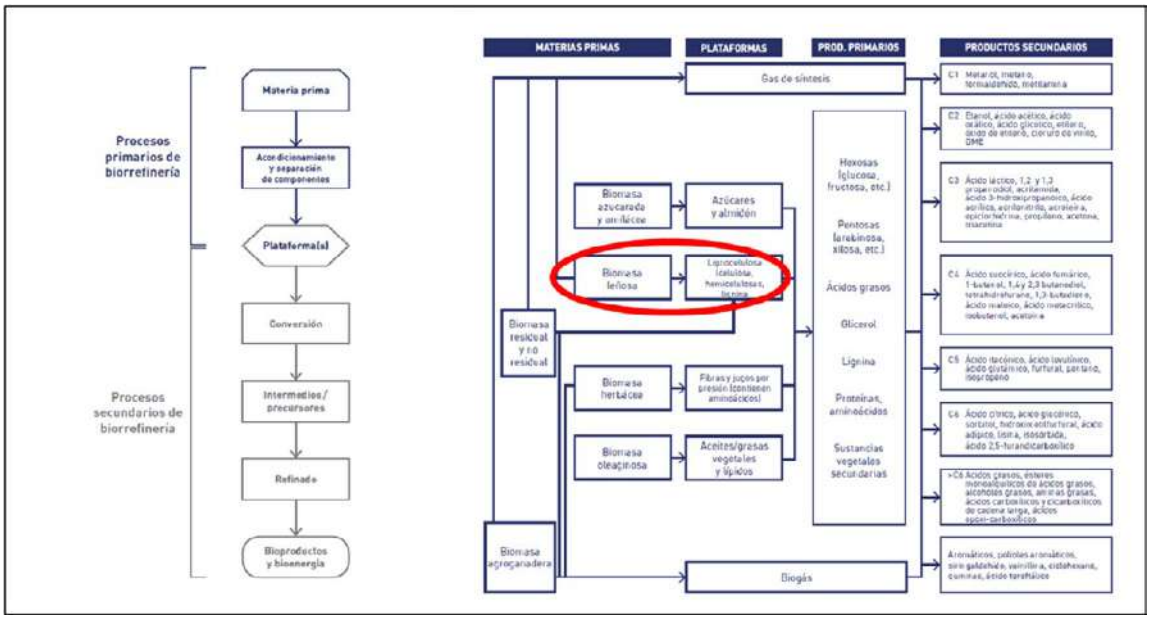


Figura I.4. Esquema del proceso global de una biorrefinería (izquierda) y selección de productos tipo obtenidos en biorrefinerías (derecha) (Fuente: BioPlat and SusChem 2017).

Toda una línea de desarrollo, especialmente partiendo de residuos industriales de carácter orgánico, es la obtención de diversos productos secundarios con aplicación en muy diversos sectores (biocombustibles líquidos y gaseosos, reactivos químicos, biofertilizantes, piensos, productos alimentarios, cosméticos, etc.) en las llamadas **biorrefinerías**, que ya son una realidad en relación con industrias forestales y agroalimentarias, y que pueden revolucionar la valorización de la biomasa, reduciendo en un futuro la proporción destinada a la conversión directa en energía (figura I.4).

1.3. ¿Es renovable la bioenergía forestal?

Se ha considerado y se considera la energía de la biomasa como una energía renovable, ya que la liberación de CO_2 que se produce en los procesos de combustión (entre 1,6 y 1,8 t de CO_2 por cada tonelada seca de madera) se ha fijado previamente por el proceso fotosintético; de hecho, si el aprovechamiento de madera y biomasa sigue los principios de la gestión forestal sostenible, como es legalmente requerido en Europa, las extracciones que pueden parcialmente producir emisiones rápidas de gases de efecto invernadero (por ejemplo, al ser quemadas para producción de energía) son inferiores a las que en ese mismo periodo están siendo fijadas a través del crecimiento de los bosques de donde se han extraído, es decir, no hay una "deuda de carbono".

Es más, como gran parte de las extracciones se emplea en productos de vida media o larga (muebles, carpintería, estructuras, etc.), ese carbono se secuestra por un tiempo superior al que resultaría de su mortalidad natural y descomposición. Además, parte de la biomasa de uso energético proviene del final de ciclos de reutilización de los productos forestales – por ejemplo, de papel reciclado tras sus posibles ciclos de reutilización, de tableros recuperados después de sus ciclos de reciclaje, de residuos industriales que no pueden reincorporarse a los procesos de producción, etc. –, lo que convierte a los productos forestales, incluida la biomasa para uso energético, en un ejemplo claro de bioeconomía circular.

De acuerdo con ello, el Tribunal de Justicia europeo desestimó en 2020 (Case T-141/19, dated 6 May 2020, ECLI:EU:T:2020:179) una demanda interpuesta por varios particulares y ONGs contra la consideración de la biomasa como energía renovable en la directiva RED II de la U.E. Según los demandantes, la directiva empeoraba el cambio climático al exacerbar la tala de bosques en los EE.UU. por la creciente demanda europea de pélets. Además, dudaban del carácter neutro en emisiones de la biomasa forestal, aunque provenga de una gestión sostenible. En palabras de Linde Zuidema, activista de la ONG Fern «Los árboles no vuelven a crecer lo suficientemente rápido como para compensar estas emisiones iniciales, lo que significa que la madera no es generalmente una alternativa sensata a los combustibles fósiles» (www.bioeconomía.info, 6 de mayo de 2019). Es lo que llamaban "deuda de carbono".

Desde 2015 las ONGs conservacionistas europeas se muestran escépticas con la bioenergía, previniendo de una posible sobreexplotación e invocando el principio del "uso en cascada" que priorizaría los usos más duraderos y reciclables sobre el energético (Brachet *et al.* 2015).

Esta reticencia refleja cierto desconocimiento acerca de la reducción de la presión sobre los bosques en el hemisferio norte. Estos llevan décadas aumentando su superficie y se hacen cada vez más densos por la retirada de usos agrarios marginales y aprovechamientos tradicionales. Por ejemplo, las cortas de madera en España sólo supusieron en 2010 un 41% del crecimiento (frente a una media europea del 59%, de acuerdo con Montero y Serrada, 2013). Nuestros bosques crecen y se hacen más espesos, lo que unido al cambio climático genera nuevos riesgos de incendios catastróficos, así como plagas y enfermedades crecientes.

Los incendios de combustibles vegetales en el mundo entre 1997 y 2016 han originado como media un 6 % de las emisiones totales de gases de efecto invernadero en 2014 por quema de combustibles fósiles (Van der Werf et *al*. 2017). Y siguen creciendo. El aprovechamiento sostenible de biomasa forestal para energía frena estos incendios y emisiones, especialmente si esa energía sustituye a la producida por combustibles fósiles.

Por otro lado, este aprovechamiento contribuye al desarrollo rural. Ayuda a los habitantes de la España vacía a seguir manteniendo pastizales y zonas de cultivo con sus ecotonos agroforestales que tanto aportan a la gran biodiversidad de nuestro medio rural.

Ellos sí se dan cuenta de las grandes ventajas de la biomasa como energía térmica de proximidad: tras varias décadas del abandono de la leña para adoptar fuentes de energía más cómodas como el gasoil o los gases licuados del petróleo, ahora el medio rural se vuelca hacia las calderas de pélets y astillas, por sus avances tecnológicos y ventajas económicas. Pero también por su carácter renovable y sostenible.

Muchos autores han estudiado los daños ambientales potenciales por la extracción de biomasa de ramas y copas o de árboles completos. Estos efectos son reducidos si el peso y frecuencia de la intervención no son excesivos. Por ejemplo, en un pinar cuyas acículas se renovasen cada tres años, una intervención selectiva con una frecuencia de 24 años estaría retirando una fracción (digamos la mitad) de la octava parte de la biomasa de hojas producida. El resto se habría incorporado al suelo como materia orgánica con sus nutrientes.

Otro podría ser el caso de las plantaciones con una gestión intensiva y turnos cortos, que a menudo requieren fertilización como cultivos que son. En ellas, la recolección frecuente y completa de biomasa puede tener, dependiendo de los tipos de bosques, suelos y climas, efectos negativos en algunos ciclos de nutrientes como el fósforo. También pueden en ese caso ser afectados algunos ecosistemas —de forma muy variable—, particularmente los organismos descomponedores de la madera muerta cuando se extrae la biomasa en su totalidad, especialmente los tocones (Ranius et *al*. 2019). Incluso para esa extracción intensa, los resultados de los estudios son a menudo contradictorios. Muchos han encontrado que no hay efectos relevantes e incluso unos cuantos han detectado efectos positivos sobre la biodiversidad.

La mayoría de los expertos recomiendan elaborar manuales de buenas prácticas y normativa específica para cada caso (bosques agrupados por regiones biogeográficas, tipologías estruc-

turales o específicas, tipos de suelos). Son ejemplos la Guía de Cacot et *al*. (2006) o la revisión sobre Manuales de Buenas Prácticas en Norteamérica (Abbas et *al*. 2011). Hay también publicaciones que proponen Criterios e Indicadores específicos para certificar la extracción de biomasa forestal (Lattimore et *al*. 2009; Janowiak y Webster 2010).

Como ejemplo de medidas preventivas o correctoras, aplicables a la extracción frecuente e intensa de biomasa y/o a suelos o ecosistemas especialmente sensibles, se puede obligar a fertilizar o a devolver al monte las cenizas de combustión, o imponer plazos para volver a recolectar biomasa después de cada aprovechamiento, para evitar extraerla con demasiada frecuencia, o forzar a dejar un porcentaje de residuos gruesos para favorecer a los organismos descomponedores, o a dejar secar la biomasa antes de extraerla para que queden más nutrientes finos. Evidentemente, no se trata de obligar a todo a la vez en todas partes, sino de decidir en qué casos hacen falta qué medidas y desarrollar normativa, así como criterios e indicadores para una certificación propia.

Las críticas a la bioenergía también reflejan desconfianza acerca de los mecanismos de garantía de sostenibilidad de la normativa europea —como las normativas nacionales o el reglamento europeo de legalidad de la madera EUTR—. Es cierto que sería de gran ayuda que la certificación del comercio de biomasa evolucionara desde los estándares nacionales hacia un estándar europeo común (Mai-Moulin et *al*. 2019). En ese sentido se ha desarrollado el esquema de certificación SURE.

1.4. La biomasa en el mundo. Problemas derivados de sus usos tradicionales en los países en desarrollo.

Las energías renovables suponen un 14% del consumo de energía primaria global. La contribución de la biomasa tradicional (leña, carbón vegetal, residuos agrícolas) al consumo mundial de energía primaria ha pasado del 100% antes del s.XIX al 6% actual (figura I.5). Hoy crece a escala mundial la contribución de biocombustibles modernos (pélets, astilla, biocombustibles líquidos, biogás, etc.) frente a la biomasa tradicional, aunque ésta sigue siendo dominante.

Dentro del total de biomasa, los biocombustibles sólidos —incluyendo leña, carbón y residuos— suponen un 85%. En África, el 47% del suministro de energía primaria proviene de renovables, en su gran mayoría biomasa tradicional y (menos) energía hidráulica. En Asia, Centro y Sudamérica, la biomasa tradicional tiene también un papel relevante en el suministro de energía primaria.

En cuanto a la generación de electricidad, las energías renovables suponen un 17% de la generación eléctrica global. Dentro de ellas, la biomasa supone un 11% (es decir, es responsable de algo menos del 2% de la generación eléctrica mundial). Dentro de esta biomasa, los biocombustibles sólidos suponen un 68% (Fuente: World Bioenergy Association 2022).

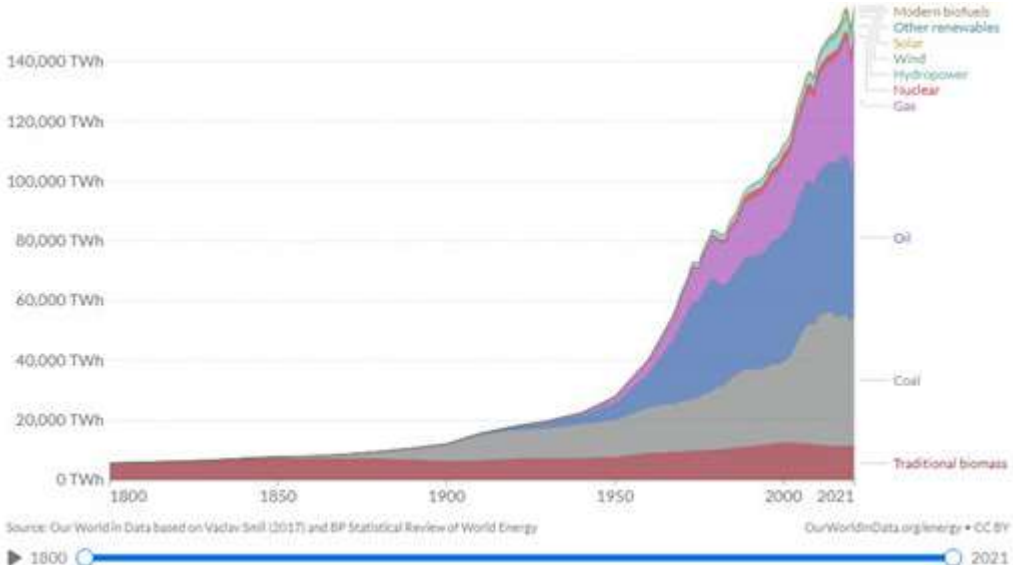


Figura I.5. Evolución histórica 1800-2021 del reparto del consumo de energía primaria por fuentes, en TWH (Fuente: Global Change Data Lab, University of Oxford, 2022)

Dentro de los biocombustibles sólidos, siguen teniendo mucha importancia la leña y el carbón vegetal, sobre todo en África, Asia y América del Centro y Sur. En África su consumo es creciente (fuente principal de calor para calefacción y cocina, en aumento), utilizando para ello sistemas tradicionales (fuegos interiores abiertos), como en grandes zonas de Asia, Centro y Sudamérica, donde el consumo de biomasa tradicional se mantiene, por el contrario, estable. 2 400 millones de personas usan biomasa tradicional y otros combustibles (keroseno, excrementos animales) en fuegos abiertos o cocinas/estufas ineficientes para cocinar o calentarse. Esto provoca 3,2 millones de muertes al año causadas por contaminación de interiores (casi 250 000 niños), en 2021 alrededor de cinco veces más que el SIDA (Fuente: Organización Mundial de la Salud 2022). Además, el uso de estos combustibles en fuegos abiertos o cocinas tradicionales es muy ineficiente, lo que conduce a un aumento de presión sobre los recursos.

Es esencial por ello mejorar el uso de biomasa tradicional (cocinas mejoradas, biocombustibles modernos) y su combinación con otras fuentes de energía, preferentemente renovables. Los principales beneficiarios en el mundo en desarrollo serían mujeres y niños, que mejorarían su salud y podrían invertir el tiempo dedicado a recolectar leña y cocinar por métodos insalubres e ineficientes en otras tareas provechosas (educación, recreo, otros trabajos, etc.).

Además, casi 900 millones de personas carecen de acceso a la electricidad, empleando también biomasa tradicional para iluminación. Debido al COVID-19 y a la crisis energética por la guerra de Ucrania, se estima que 75 millones de personas pueden perder la capacidad de acceso a la electricidad y 100 millones pueden volver a la biomasa tradicional para cocina y calor por razones de costes (Fuente: Agencia Internacional de la Energía 2022).

A pesar de estos problemas, como se ha indicado, el uso de biomasa contribuye a reducir emisiones contaminantes frente a otras fuentes (figura I.6) y además tiene otras externalidades

positivas —es la energía renovable que implica más empleo en el territorio, contribuyendo al desarrollo rural—. Además, contribuye a alcanzar varios de los objetivos de desarrollo sostenible, de una forma muy directa en el caso de los ODS 7, 13 y 15, relacionados con la energía, la acción por el clima y la mejora de los ecosistemas terrestres.

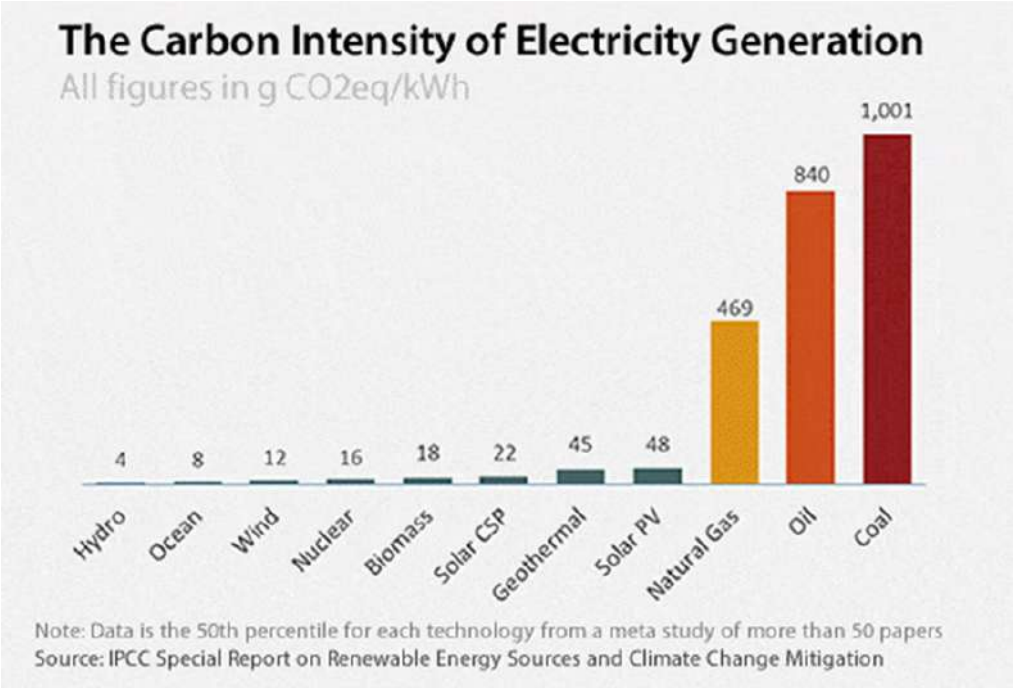


Figura I.6. Emisiones de CO2 por kWh generado de electricidad en función de la fuente de energía (Fuente: IPCC 2012).

1.5. La biomasa forestal en Europa

El consumo interno de biocombustibles sólidos (excluyendo carbón vegetal) en Europa en 2020 fue de 94,4 millones de toneladas equivalentes de petróleo (Eurobserver 2022). España es el séptimo país, consumiendo 5,1 millones de tep, siendo los mayores consumidores, en este orden, Alemania, Francia, Suecia, Finlandia, Italia y Polonia, según se muestra en el mapa de la figura I.7.

La mayor parte de ese consumo se destina a la producción de calor (76,4 millones de tep, de ellas 4,5 en España). En cuanto a la producción de electricidad, la producción bruta con biocombustibles sólidos es de 82,6 TWh —equivalentes a 7,1 M de tep—, en España 3,6 TWh.

De la producción europea de energía eléctrica con biocombustibles sólidos, un 73,2% se genera en plantas de cogeneración, que aprovechan también el calor. Como particularidades de la situación española en relación con el entorno europeo, hay que destacar los siguiente (figura I.8):

- El consumo interior bruto de biocombustibles sólidos en tonelada equivalente de petróleo (TEP) por habitante es muy pequeño, 0.107 TEP (puesto 23 de 27 países)

- La proporción de energía eléctrica producida con biocombustibles sólidos en 2020 fue en España sólo en un 19,7% proveniente de plantas de cogeneración (que aprovechan el calor residual como energía térmica). Es el tercer país de los 25 estudiados con menor aprovechamiento del calor residual, después de Hungría e Irlanda.

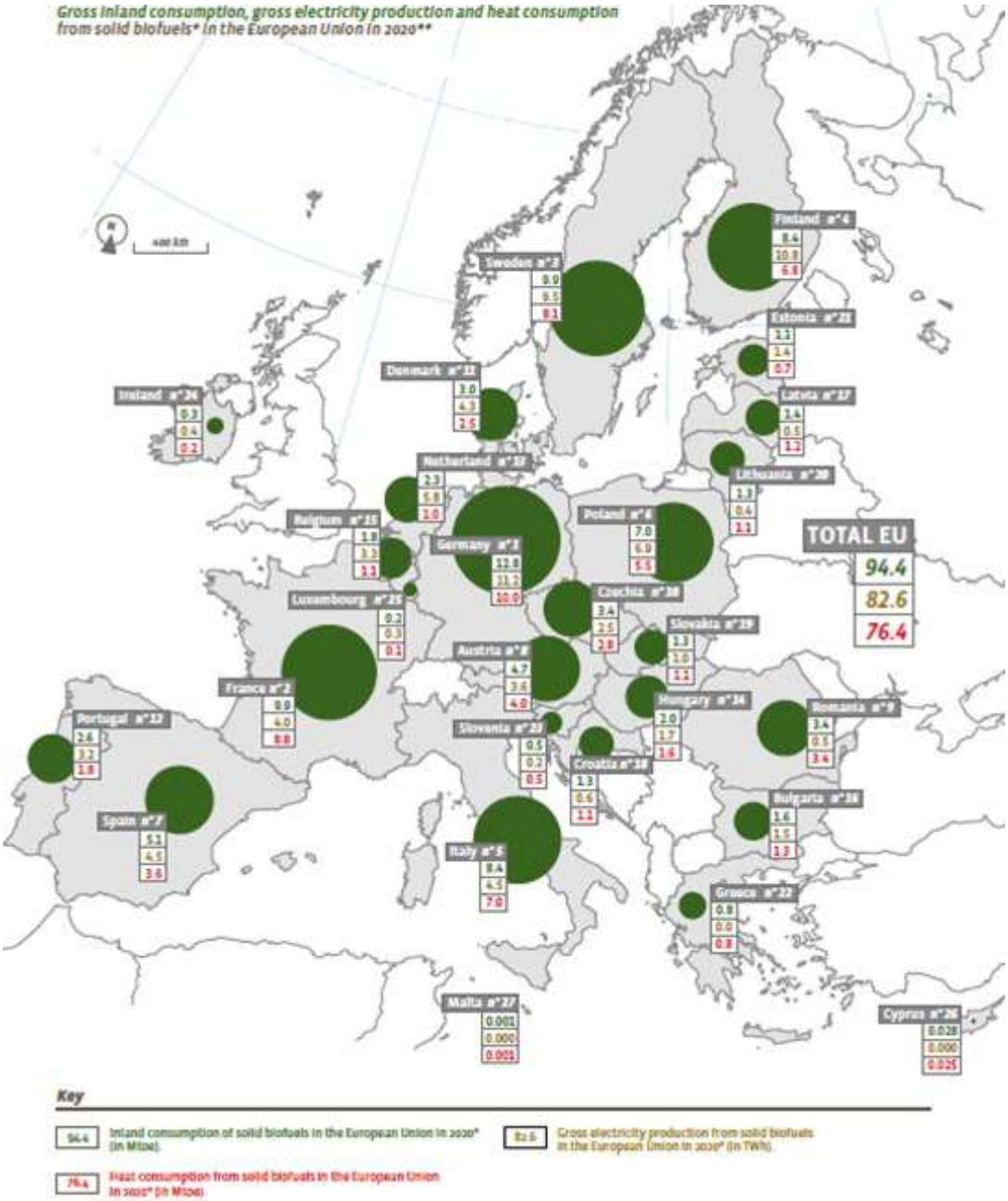
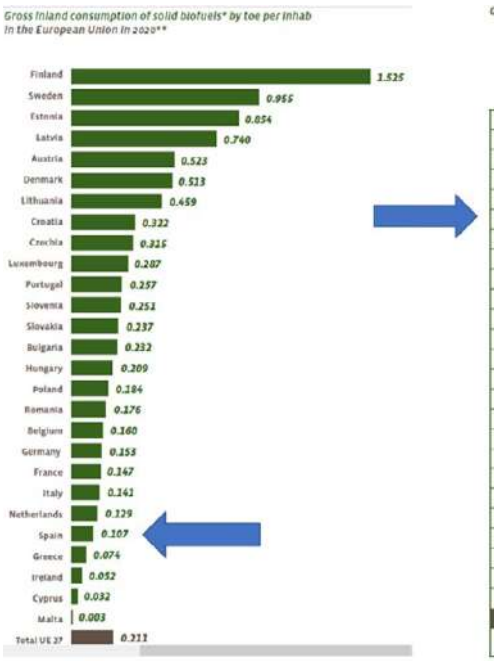


Figura I.7. Producción de energía en la UE 27 con biocombustibles sólidos (Fuente: Eurobserv'er 2022).

En cuanto al mercado europeo de pélets, contrasta una producción anual de 21,6 millones de toneladas (incluyendo al Reino Unido) con un consumo de 35,6 millones de toneladas, es decir, hay una gran corriente importadora de pélets hacia Europa. Los mayores productores son Alemania y Letonia seguidos por Suecia, Polonia, Francia y Austria, mientras que el mayor consumidor es el Reino Unido, seguido por Alemania, Francia, Suecia, Italia, Holanda y Dinamarca (Bioenergy Europe 2022)



Gross electricity production from solid biofuels* in the European Union in 2019 and 2020** (in TWh)

	2019			2020		
	Electricity only plant	CHP plant	Total	Electricity only plant	CHP plant	Total
Germany	5.055	5.984	11.039	5.169	6.058	11.227
Finland	1.328	10.999	12.327	1.030	9.730	10.760
Sweden	0.000	11.220	11.220	0.000	9.496	9.496
Poland	1.564	4.877	6.441	1.557	5.376	6.933
Netherlands	0.537	2.300	2.838	1.012	4.773	5.785
Spain	3.009	0.876	3.885	3.646	0.895	4.541
Italy	2.132	2.108	4.240	2.180	2.291	4.470
Denmark	0.000	4.353	4.353	0.000	4.302	4.302
France	0.506	3.375	3.882	0.670	3.289	3.959
Austria	0.763	2.922	3.686	0.890	2.745	3.634
Belgium	1.990	1.301	3.291	2.034	1.285	3.319
Portugal	1.041	1.709	2.750	1.454	1.753	3.207
Czechia	0.002	2.397	2.399	0.002	2.497	2.499
Hungary	1.501	0.268	1.769	1.414	0.252	1.666
Bulgaria	0.314	1.232	1.546	0.301	1.179	1.480
Estonia	0.245	1.015	1.260	0.278	1.151	1.429
Slovakia	0.000	1.130	1.130	0.000	1.021	1.021
Croatia	0.000	0.477	0.477	0.000	0.565	0.565
Latvia	0.000	0.575	0.575	0.000	0.520	0.520
Romania	0.047	0.403	0.450	0.061	0.433	0.494
Ireland	0.329	0.017	0.346	0.408	0.025	0.433
Lithuania	0.000	0.331	0.331	0.000	0.373	0.373
Luxembourg	0.047	0.160	0.207	0.000	0.266	0.266
Slovenia	0.000	0.151	0.151	0.000	0.157	0.157
Greece	0.009	0.016	0.024	0.012	0.038	0.050
Total UE 27	20.410	60.398	80.807	22.115	60.469	82.584

*excluding charcoal **estimate Source: EurObserv'ER 2021.

Fuente: EurObserver' 2022

Figura I.8. Situación de España en cuanto a consumo de biocombustibles sólidos per capita y reparto de la generación eléctrica entre plantas de sólo generación eléctrica y plantas de cogeneración (CHP) en comparación con el resto de países de la UE 27.

El consumo de pélets para producción de calor es de 21,3 millones de t, de donde se deduce que una alta proporción del consumo se destina a generación eléctrica, en la que tiene mucha importancia la **cocombustión**, es decir, el uso de biomasa combinada con carbón, en una estrategia para reducir las emisiones de CO_2.

Este hecho conduce a que entre los cinco mayores importadores de pélets del mundo se encuentren, junto a Japón y Corea del Sur, el Reino Unido, Dinamarca y Holanda. Estas importaciones proceden de Norteamérica en su mayoría, aunque es creciente la proporción procedente de Brasil, como se muestra en la figura I.9 (Fuente: WRI: Global Wood Pellet Markets 2021).

Estas grandes importaciones han llevado a la Unión Europea a discutir la sostenibilidad de este consumo de biocombustibles sólidos, junto con el de biocombustibles líquidos y gaseosos procedentes en buena parte de importaciones y que suponen en el conjunto de Europa un 4% de los combustibles empleados en el transporte, ha conducido a la aprobación de Directivas restrictivas, a saber:

- **La Directiva europea de renovables RED II**

Directiva Europea 2018/2011 (RED II) transpuesta por el R.D. 376/2022 en mayo, incluye criterios de sostenibilidad para la biomasa agrícola y la biomasa forestal en materia de uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y selvicultura aplicable, junto a criterios relativos a la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero por producción y uso de biocarburantes, biolí-

quidos y combustibles de biomasa, además de requisitos de eficiencia energética para instalaciones de generación de energía eléctrica.

En cuanto a los biocombustibles para el transporte, desde el 31.12.2023, la proporción de biocarburantes con riesgo elevado de cambio indirecto del uso de la tierra a partir de cultivos alimentarios y forrajeros con alto riesgo se reducirá gradualmente hasta el 0% el 31.12.2030.

Además, crea un sistema de garantías de origen aplicable a los gases renovables, documento electrónico oficial que proporcionará evidencia a un cliente final sobre la parte o cantidad de energía que se produjo a partir de fuentes renovables (Fuente: De Gregorio 2022).

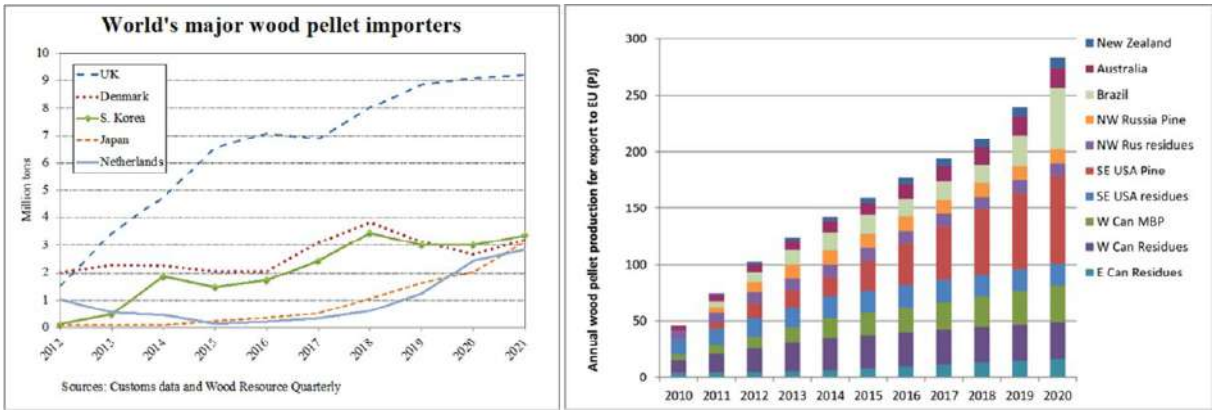


Figura I.9. Principales importadores de pélets en el mundo (izquierda) y procedencia de las importaciones europeas de pélets (derecha) (Fuente: WRI Global Wood Pellets Markets 2021).

A los requerimientos de esta directiva, el sector de los biocombustibles sólidos se ha adaptado mediante un sistema de trazabilidad específico llamado SURE.

- **La nueva directiva europea de renovables RED III**

Se espera que se promulgue a principios de 2023. Es consecuencia del Pacto Verde Europeo, por el que en busca del objetivo vinculante de neutralidad climática para 2050, la UE se ha comprometido a reducir las emisiones en al menos un 55% de aquí a 2030 en comparación con 1990. Este paquete de medidas se denomina *Fit for* 55 (objetivo 55).

El Parlamento Europeo en septiembre de 2022 aprobó el texto consolidado de la RED III a presentar a la fase final de negociaciones (trílogos) con la Comisión y el Consejo Europeos.

En este texto, define 'biomasa leñosa primaria' como toda la madera excepto la proveniente de prevención sostenible de incendios forestales, de medidas de seguridad vial o de bosques afectados por catástrofes naturales, plagas activas o enfermedades.

Establece que únicamente se contabilizará como renovable, a los efectos de ser apoyada mediante políticas y retribuciones, la biomasa leñosa que no sea primaria (en su mayoría, producida por la industria forestal, en España ya aprovechada por la propia industria forestal) más las excepciones citadas. Además, se establece un límite de consumo de biomasa leñosa primaria y se exige su reducción gradual hasta 2030. Esta última norma se considera una amenaza grave para el sector de la biomasa para energía en España, dado que una parte importante de los recursos biomásicos provienen de especies no comerciales como los montes bajos de frondosas o pinares jóvenes y densos, que no tienen otra demanda y cuyo uso se vería perjudicado por un principio de cautela que se debe a las importaciones de pélets que en España no son importantes (el uso de los pélets en nuestro país es de origen mayoritariamente interno, y se destina a calor doméstico, no a generación eléctrica en centrales de cocombustión con carbón).

1.6. La biomasa forestal en España

Las energías renovables y procedentes de residuos supusieron un 21,2% del consumo de energía final en 2020 (MITECO 2022). La biomasa supuso un 30,3% de ellas, en su mayoría para producción térmica y biocombustibles de transporte, con una menor aportación en generación eléctrica.

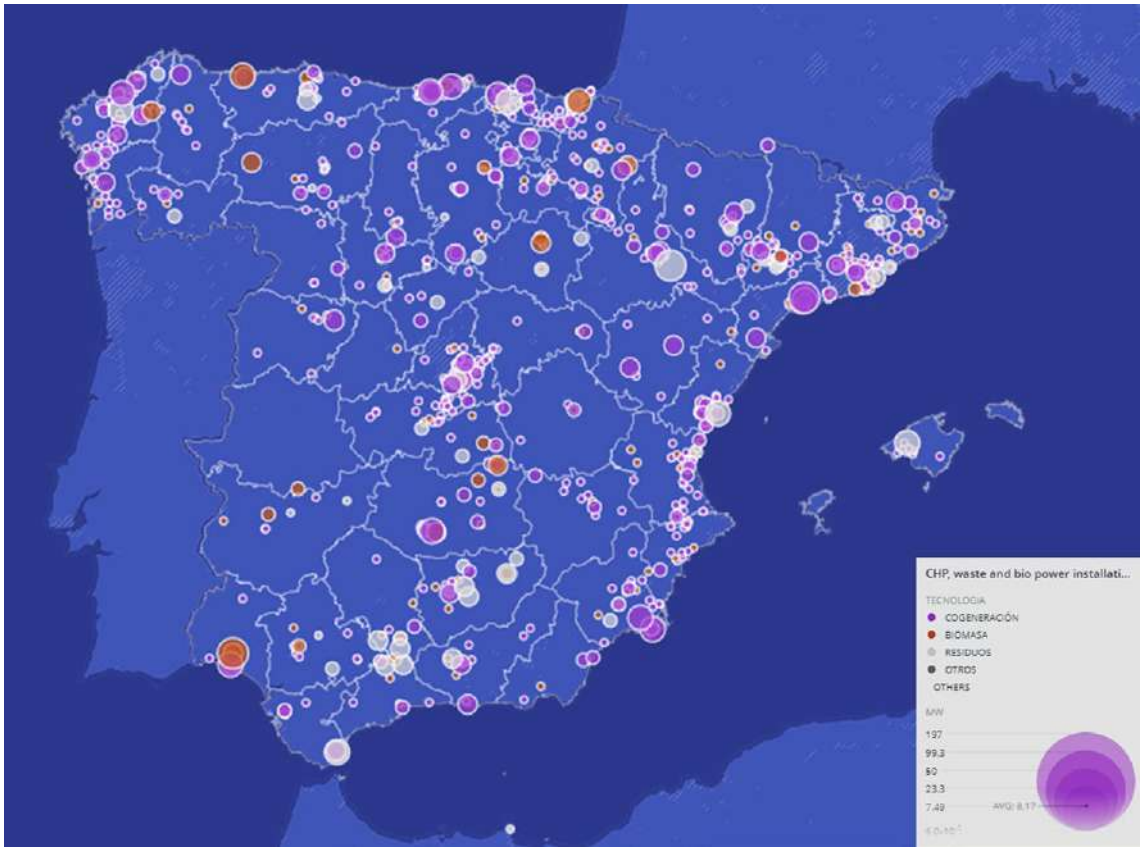


Figura I.10. Mapa de las plantas de generación y cogeneración con biomasa (incluidos residuos industriales agroalimentarios y forestales)

La biomasa térmica tenía a finales de 2019, una capacidad instalada de 10 500 MWt instalados (AVEBIOM 2020). De acuerdo con Eurobserver (2022) el consumo de calor proveniente de biomasa sólida en España fue en 2020 de 3 648 tep, cerca pero por debajo del objetivo del plan, con buena parte del crecimiento en el sector del pélet.

En cuanto a la biomasa del sector de generación eléctrica biomasa (incluyendo residuos), supone un porcentaje del 1,9% del total, 4 541 GWh en 2020 (MITECO 2022), muy por debajo del objetivo. El 80,3% se produjo en plantas de generación sin aprovechamiento del calor extra.

El mapa de las plantas de cogeneración, generación con biomasa (incluyendo biomasa agrícola) y con residuos se muestra en la figura I.10 (Fuente: Red Eléctrica Española 2022).

1.6.1. La biomasa eléctrica agroforestal en España

Algunas de las principales plantas son las siguientes (Tolosana 2021):

Andalucía: 17 plantas, la mayoría de orujillo y residuos agrícolas, las de ENCE en Huelva (137 MW) consumen también residuos forestales.

Castilla y León: consume sobre todo biomasa forestal la central de generación de 50 MW de Forestalia en Cubillos del Sil (León); otras con distintas proporciones de biomasa agrícola y forestal, la de 15 MWe de ENSO en Garray (Soria), las de Acciona en Briviesca, Burgos (consume principalmente paja) y de Talosa (cogeneración en Tableros Losán) en Soria.

Castilla-La Mancha: planta de cogeneración con biomasa forestal de Acciona en la fábrica de tableros de Pinasa (Cuenca), plantas de ENCE en Villarta de San Juan (predominio de biomasa agrícola) y en Puertollano (Ciudad Real), híbrida de biomasa agrícola y termosolar.

Galicia: cogeneración forestal de ENCE en planta de celulosa de Pontevedra (35 MW) y de varias factorías de tableros. También consume solo biomasa forestal la planta de Greenalia en Curtis - Texeiro (49,9 MW) y la de Allariz (Allarluz, de Norvento Enerxía, con 2.35 MW).

Asturias: plantas de cogeneración de ENCE en la fábrica de celulosa de Navia (77 MW).

Cantabria: Biomasas de Cantabria, del grupo Armando Álvarez (11 MW), también con biomasa forestal residual.

Extremadura: planta de Acciona en Miajadas (consume sobre todo paja), plantas de ENCE, también consumiendo básicamente biomasa agrícola.

Valencia: planta de cogeneración relacionada con la industria de tableros en Utiel, consume biomasa forestal residual industrial.

Navarra y País Vasco: plantas de la industria de celulosa (grupo Smurfit Kappa) y planta de Acciona en Sangüesa, consumidora de paja.

Cataluña: central híbrida de biomasa forestal y termosolar en Borges Blanques (Lleida), ha renovado recientemente sus calderas de biomasa.

Como fortalezas de la biomasa eléctrica agroforestal, se trata de una energía renovable y gestionable (no depende del tiempo atmosférico como la eólica o la fotovoltaica).

Como debilidades, hay que mencionar el bajo rendimiento de conversión energética si sólo generación (<35%), y el alto precio de la materia prima, con perspectivas de subidas en invierno (mayor consumo, crecientes exportaciones de pélets por la crisis energética debida a la guerra de Ucrania), si bien se prevé un posible alivio por el aprovechamiento de los incendios del pasado verano.

Finalmente, como principales oportunidades de desarrollo futuro del sector, la cogeneración termointensiva, producción de vapor para industrias que requieren una descarbonización importante (siderúrgica, cerámica, vidrio), y la producción de CO_2 para bebidas gaseosas, cultivos intensivos en invernaderos, y la producción de biohidrógeno/biometano**.**

En la última subasta de electricidad renovable (octubre de 2022), se adjudicaron 146 MWe con biomasa a Hunosa y Acciona, en plantas de generación eléctrica. En el resto del sector domina cierta incertidumbre porque se considera adjudicada a precios bajos, se estima que faltará materia prima y se teme la competencia con plantas existentes próximas.

1.6.2. La biomasa térmica forestal en España

Frente a la generación eléctrica con biomasa, que hoy por hoy requiere subvención para autofinanciarse, la producción de calor con biomasa es rentable: aunque requiere una mayor inversión inicial, el coste del MWh térmico es inferior al que se obtiene con combustibles fósiles.

Una parte importante de la demanda procede, pues, de calefacción doméstica. Se estima que un 18% de la energía para calefacción y refrigeración en España se cubre con renovables (Eurostat 2022), en su gran mayoría biocombustibles sólidos. Al igual que en otros países europeos mediterráneos, se considera que hay riesgo de subestimación en el caso del consumo de leña, dado que el control de las cortas de pequeña cuantía no es muy rígido, y hay una parte que se comercializa dentro de la llamada economía sumergida.

En cuanto al consumo de pélets, el principal consumidor es doméstico: en 2019, un 77% del total; la industria consumió un 19% y otros usos tales como cama de ganado, un 3,7% (AVEBIOM 2020b). La instalación de estufas y calderas de pélets y otros biocombustibles agroforestales (astillas, hueso de aceituna) ha sido fuertemente creciente en los últimos años (figura I.11).

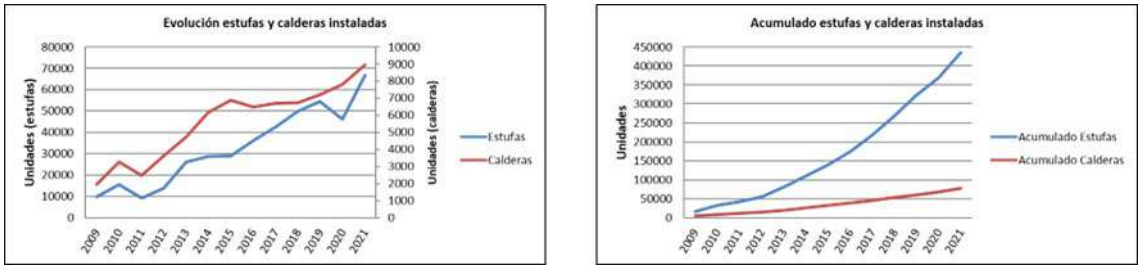


Figura I.11. Número de estufas y calderas de biomasa instaladas en España entre 2009 y 2021 (a la izquierda, número instalado al año, en distintas escalas; a la derecha, número acumulado) (Fuente: AVEBIOM 2022).

El uso térmico de biomasa (pélets o astillas) en instalaciones colectivas (redes de calor o *district heatings*) es promovido por los poderes públicos, especialmente en ciertas comunidades autónomas (Castilla y León, Cataluña, Madrid). En España había, en 2020, 433 redes de calor alimentadas por biomasa, con 383 MW térmicos instalados (AVEBIOM 2021). Este tipo de instalaciones tiene mayor eficiencia y menor requerimiento de calidad del combustible, con lo cual supone una mayor oportunidad.

La evolución de los precios de los pélets en España desde 2014 hasta el segundo cuatrimestre de 2022 se presenta en la figura I.12. La subida hasta mitad de 2022 fue del 70% (hasta el tercer cuatrimestre alcanzó aproximadamente un 100%, aunque siguió siendo más barato el MWh térmico que el procedente del carbón, gasóleo o gas natural). Otros biocombustibles como la astilla o, sobre todo, el hueso de aceituna, resultan aún más baratos.

Esta subida de los precios, debida como se ha indicado al incremento de la demanda europea, se ha atenuado por la reciente reducción del IVA de los biocombustibles, incluida la leña, al 5%.

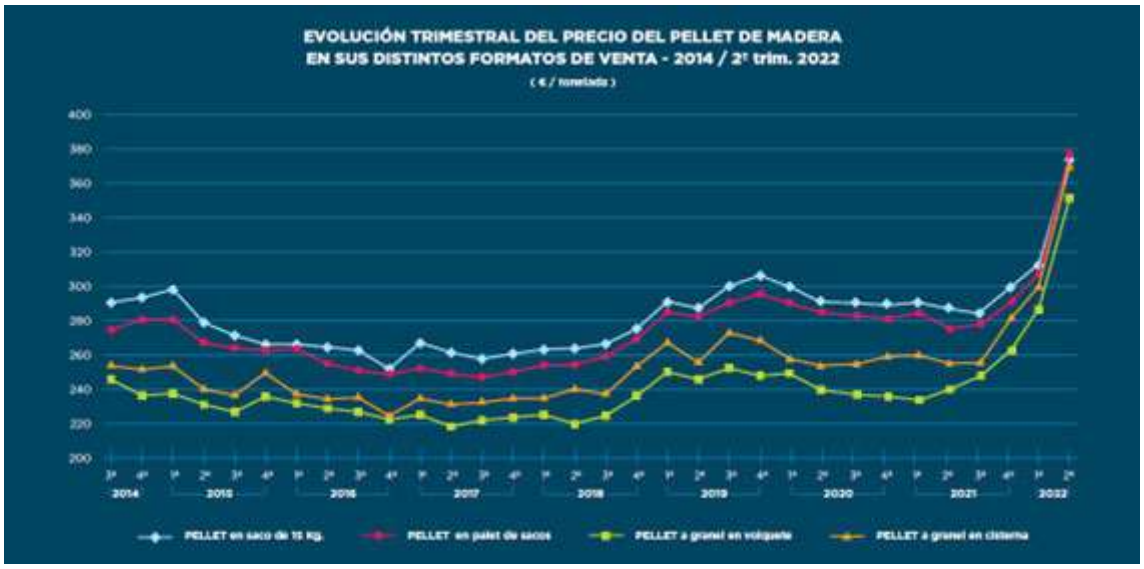


Figura I.12. Precios de los pélets de madera hasta el segundo cuatrimestre de 2022 (Fuente: AVEBIOM 2022).

2. Principales aspectos logísticos para considerar en el aprovechamiento de la biomasa forestal

2.1. La densidad del material

La biomasa bruta, según se recoge en el monte, es un material con mucha menos densidad aparente que la madera y otras materias primas. La densidad de los restos de corta puede oscilar entre 100 y 175 kg por metro cúbico aparente de camión, la de los árboles completos o tronzados sin desramar (partes de árbol) oscila entre 150 y 300 kg por estéreo, mientras que la de la astilla o la biomasa triturada, en función de la especie y de la humedad, oscila entre 250 y 400 kg por metro cúbico. La biomasa comprimida en pacas tiene una densidad aparente entre 300 y más de 400 kg por metro cúbico aparente, mientras que la madera corta, en función de la especie y la humedad, tiene una densidad en verde entre 400 y más de 500 kg por metro cúbico de apilado en caja de camión (figura I.13).

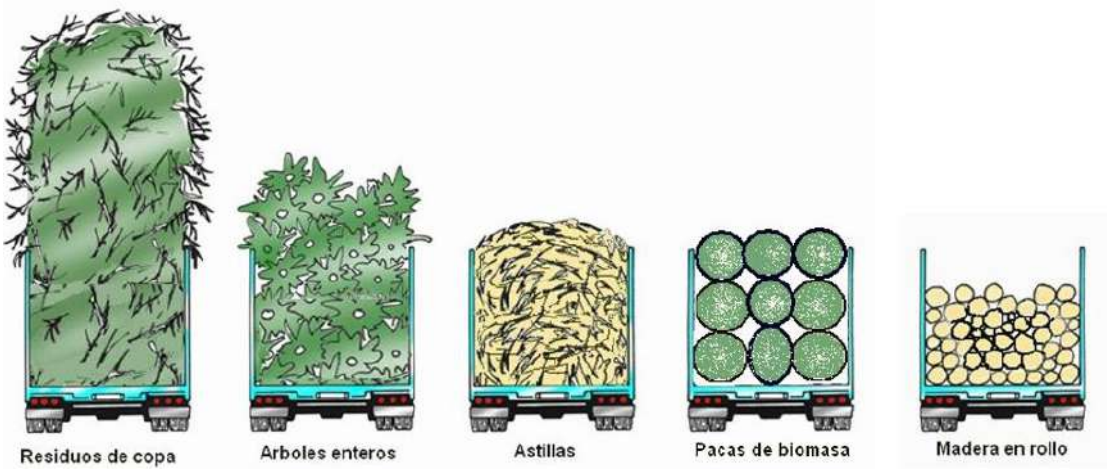


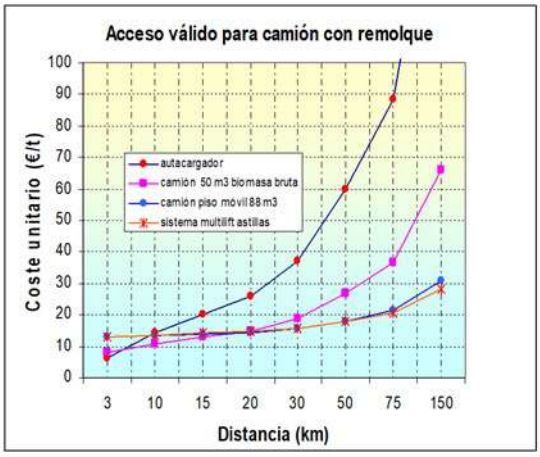
Figura I.13. Densidad de la biomasa: cantidad necesaria, en función de su grado de procesado, para ocupar la capacidad máxima de un camión (Fuente:Wood-energy-extension.org)

Los camiones cobran por viaje, y su capacidad está limitada en España por su peso máximo autorizado en circulación de 40 t, su longitud y altura máxima según la normativa, salvo excepciones, por lo que su volumen de carga oscila entre 60 y 90 metros cúbicos aparentes. Si vamos a los extremos, en un viaje con restos de corta un camión rígido de 40 estéreos podría trasportar 6 toneladas, mientras que un camión de piso móvil de 90 estéreos podría transportar, para una densidad de astillas o pacas de 300 kg por estéreo, 27 toneladas, en el límite de su capacidad legal. Esto quiere decir que el coste de transporte se multiplicaría por 4 o más para biomasa bruta frente a astillas o pacas, lo que sería un incremento muy importante en el ciclo si la distancia de transporte fuese grande.

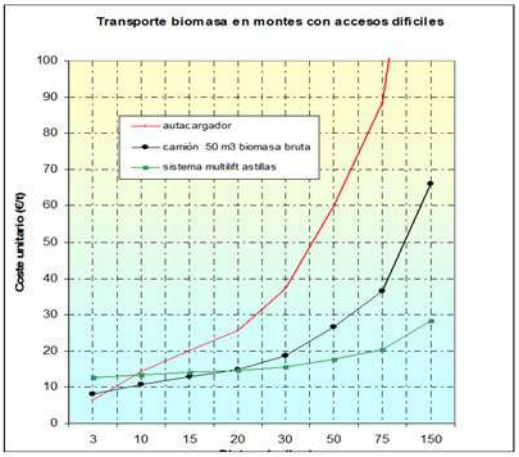
Este incremento de costes debería compensar el coste de desplazar maquinaria para aumentar la densidad de la biomasa (astilladoras o trituradoras, empacadoras), y la compensación depen-

de de la distancia —compensa más para distancias grandes – y del tamaño del aprovechamiento – compensa más para tamaños mayores—.

En la figura I.14 se muestran los costes totales de aprovechamiento, en función de la accesibilidad del monte – que permite o no utilizar camiones de mayor capacidad – y de la distancia a la planta de consumo para determinadas circunstancias de costes en un estudio de caso español. Para distancias muy pequeñas —menos de 4 ó 5 km— no merece la pena usar un medio de transporte y el mismo autocargador puede llevar la biomasa sin procesar al lugar de consumo. Para distancias pequeñas —entre 4-5 y 20-22 km— no merece la pena transportar la astilladora y compensa transportar la biomasa bruta a destino sin procesar, pero para distancias mayores y un tamaño medio del aprovechamiento, compensa transportar la astilladora a cargadero y llevar a destino la biomasa astillada o triturada.



Costes de transporte en montes de acceso apto para camiones con remolque



Costes de astillado y transporte, montes de acceso difícil

Medios de transporte empleados	Montes de acceso complicado		Montes de fácil acceso	
	Biomasa bruta	Astilla	Biomasa bruta	Astilla
Autocargador	< 5 km	--	< 4 km	--
Camión rigida	5-22 km	> 22 km	--	--
Camión *multilift*	--	--	--	>20 km
Camión piso móvil	--	--	--	>20 km

Distancias de transporte en función del medio de transporte, tipo de procesado de biomasa y dificultad de acceso.

Figura I.14. Ejemplo de costes totales de aprovechamiento en función del grado de procesado (y la densidad) de la biomasa (Fuente: Tolosana 2009).

Es sólo un ejemplo, la solución óptima depende de muchos factores (tamaño del aprovechamiento, densidad de la astilla, condiciones de las vías de transporte, tipo de camión y capacidad legal máxima, etc.) pero puede servir como orientación en España.

2.2. *La humedad de la biomasa*

La biomasa verde, procedente de árboles o matorrales recién cortados, tiene una humedad entre el 45 y el 55% sobre el peso total, es decir, alrededor de la mitad de su peso es agua. Si se

genera energía a partir de ella por combustión, una parte importante de la energía liberada se invierte en la ebullición del agua, con lo que el poder calorífico inferior por t húmeda desciende linealmente, y el poder calorífico inferior por tonelada seca, especialmente en el tramo de humedad más alta, desciende más deprisa aún, siguiendo una curva cóncava hacia abajo (figura I.15).

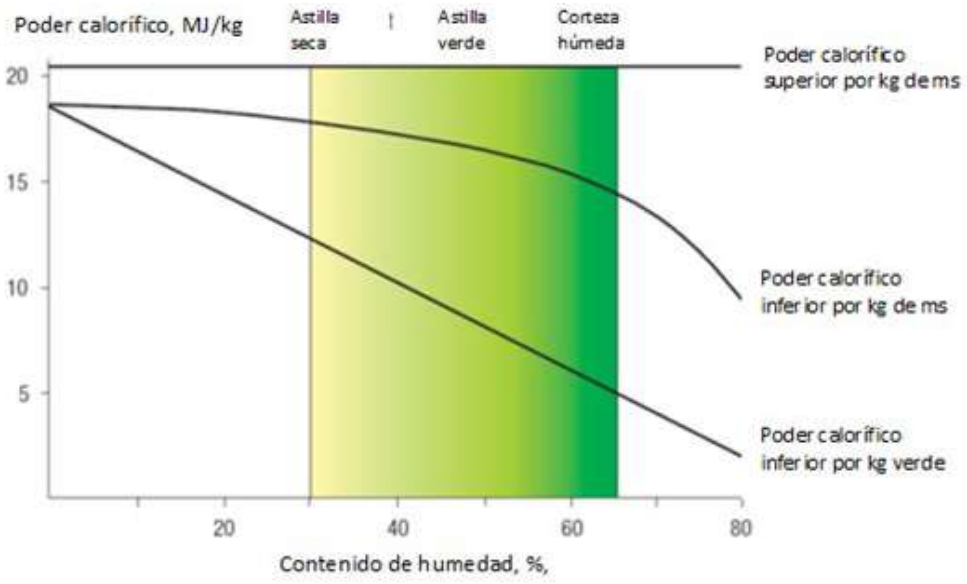


Figura I.15. Variación del poder calorífico de la biomasa en función de la humedad (Fuente: adaptado de Hakkila y Parikka 2002).

Además de la pérdida de eficiencia en la conversión energética, la biomasa húmeda pesa más, con lo que el coste de su transporte se está invirtiendo en buena parte en transportar agua. En el ejemplo de la figura I.16 se aprecia cómo varía el coste de transporte no sólo por tonelada seca transportada sino en más medida por MWh de energía térmica.

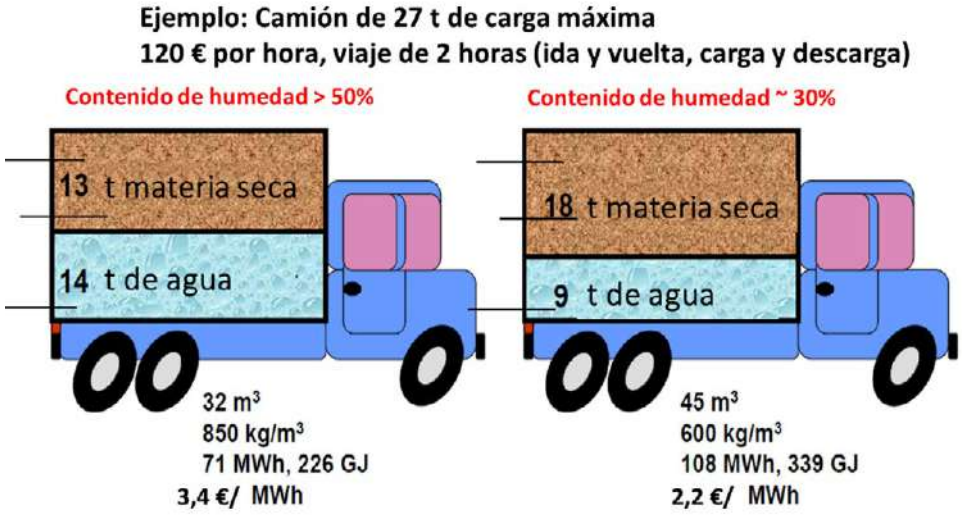


Figura I.16. Diferencia del coste del transporte por unidad de energía producida en función de la humedad de la biomasa (Fuente: adaptado de Sikanen 2010).

De hecho, en muchas plantas no se paga la biomasa por tonelada, ni aún por tonelada seca, sino por MWh, para lo que se mide la humedad de la astilla o material triturado en la puerta de la planta.

Por este motivo, es interesante dejar secar la biomasa antes de triturarla o astillarla, porque las pilas de material triturado y, sobre todo, de astillas, son impermeables al aire excepto en su capa más externa, con lo cual no sólo no se secan, sino que pueden experimentar reacciones anaerobias con pérdida de masa, emisión de gases combustibles como el metano, e incluso autocombustión.

Esto puede fomentar la práctica de dejar la biomasa secar en monte, más o menos apilada y acordonada, con lo que no sólo se seca sino se desprenden parte de las hojas o acículas, mejorando el balance de nutrientes y, como se verá, la calidad de la biomasa como combustible. No obstante, la práctica de dejar secar la biomasa en el monte conlleva una pérdida de eficiencia en su recogida (la biomasa seca se rompe más al acopiarla y cargarla) y puede suponer también riesgos de incendios y plagas. Una alternativa es el secado en cargadero, no exento de riesgos.

2.3. La calidad como combustible

La calidad se relaciona, además de con la humedad, con la homogeneidad de tamaños y con la presencia de impurezas desde el punto de vista de la combustión (cenizas, azufre, álcalis, etc.) que dan lugar a depósitos que reducen la eficiencia de la conversión energética – sinterización – o a restos que obligan a la limpieza frecuente de las parrillas de combustión

Desde esos puntos de vista, es mejor el material leñoso (madera) sin corteza ni hojas o acículas, donde se concentran más los nutrientes problemáticos (azufre, cloro, etc.). Además, es importante que la biomasa esté limpia de arena, piedras u otras impurezas.

Esto es más importante para las calderas pequeñas (producción de calor para uso doméstico o de instalaciones colectivas pequeñas) que son más sensibles a las impurezas y no tienen sistemas automatizados de limpieza.

La diferencia de precios entre biomasa astillada con corteza y partes verdes húmeda (al 50%) y heterogénea frente a biomasa astillada de madera y seca (al 30%) puede oscilar de 45 a 120 o más € por tonelada verde.

3. Maquinaria para el aprovechamiento de la biomasa forestal

Los diferentes tipos de máquinas que se pueden utilizar para el aprovechamiento de la biomasa forestal se pueden agrupar en:

- Máquinas para la corta de árboles.
- Máquinas para reducir el tamaño y/o comprimir la biomasa.

- Máquinas para el transporte extraviario de residuos forestales, árboles completos o astillas
- Máquinas para apilado/acordonado de la biomasa o carga de astillas
- Máquinas combinadas para corta y elaboración de biomasa
- Camiones para el transporte de la biomasa

3.1. Máquinas para la corta de árboles

Se pueden diferenciar dos grandes grupos: 1) Multitaladoras, 2) Cosechadoras convencionales.

1. **Multitaladoras.** Es una modalidad de "taladora-apiladora" o *feller-buncher* que presenta la capacidad de acumular en su cabezal talador un grupo de árboles para depositarlos juntos en una pila. Sólo pueden cortar y tronzar, no tienen sistema de alimentación ni desramado. Las multitaladoras cortan y, en su caso, tronzan árboles pequeños para su aprovechamiento integral como biomasa, caso en el que aprovechan su capacidad de acumulación (figura I.17a).

2. **Cosechadoras convencionales.** La cosechadora convencional (también llamada "procesador" o "procesadora") corta árboles y los procesa (desramado, tronzado, despunte y apilado). Las cosechadoras se usan para procesar en pista o cargadero árboles completos extraídos por otros medios, o para el procesado convencional de la madera separando las copas y ramas para biomasa (aprovechamiento integrado). En este último caso, si la cosechadora trata de dejar la biomasa concentrada para facilitar su posterior carga y desembosque, pierde algo de productividad, pero compensa para la economía del aprovechamiento considerado como conjunto.

Hay cabezales especiales para el aprovechamiento de madera y biomasa, que cuentan con dos espadas de corte para evitar que la biomasa quede en medio de las "calles" y sea pisada por las máquinas, incorporando barro o arena (figura I.17b).

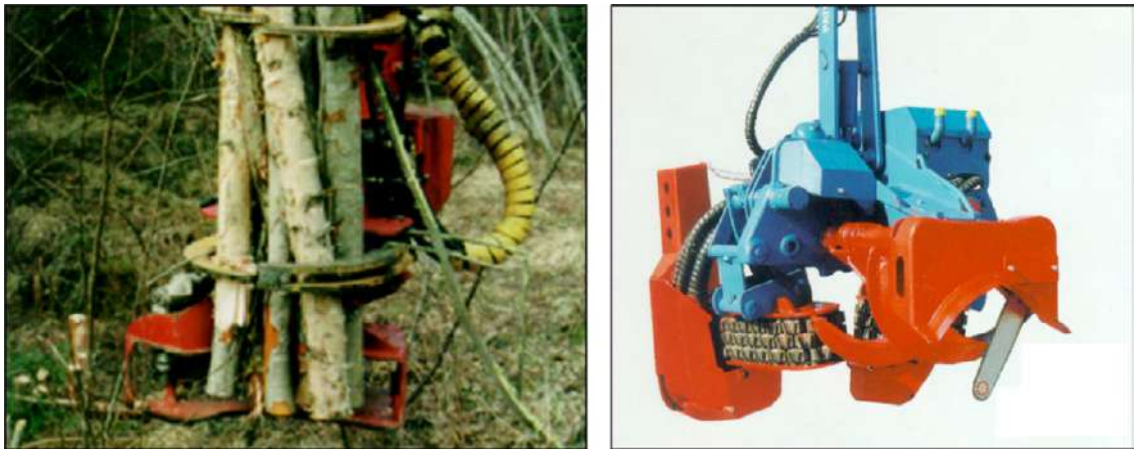


Figura I.17. a. Cabezal multitalador (izquierda) (Foto: E. Tolosana). b. Cabezal procesador con dos espadas de corte para depositar las copas al lado de la calle (derecha) (Fuente: Keto).

La principal variable que afecta al rendimiento de estas máquinas es el tamaño de los árboles (volumen o peso unitario), aunque influye también su número por hectárea (que, al final, se traduce en las toneladas por hectárea de biomasa). La especie, la pendiente y otros factores fisiográficos pueden condicionar también la productividad.

3.2. Máquinas para reducir el tamaño y/o comprimir la biomasa

Como se ha indicado, las máquinas que reducen el tamaño de la biomasa triturándola o astillándola tienen como objetivo reducir su densidad aparente para abaratar su transporte, además de hacer más eficiente la combustión al producir un material más homogéneo. Se pueden diferenciar cuatro grupos de máquinas: 1) Pretrituradoras, 2) Trituradoras, 3) Astilladoras, 4) Empacadoras.

1. Pretrituradoras. Son máquinas con mecanismo robusto y resistente que no actúan por corte, sino por rotura por presión con superficie roma (figura I.18). Se utilizan para triturar, hasta tamaños no muy finos, materiales duros o que pueden tener clavos y otros metales, piedras, etc.

Inicialmente diseñadas para el tratamiento de áridos y de residuos sólidos urbanos, se emplean también para residuos de madera usada (palés, envases, etc.) y, en el terreno forestal, para el tratamiento de materiales con muchas impurezas, como los tocones.

Ventajas:

- El material puede ser triturado aunque se alimente a la pretrituradora mezclado con piedras, metales, arena u otras impurezas gruesas.
- El material resultante, al ser demasiado grueso, no presenta riesgo de autocombustión.
- El material resultante presenta más huecos, por lo que seca más rápido en montones que, por ejemplo, las astillas.
- El mantenimiento es menos frecuente en comparación con astilladoras o trituradoras.

Inconvenientes:

- El material producido no es apto para su consumo directo en calderas de combustión. Es necesario procesarlo, por lo que el coste del producto aumenta.
- Son máquinas de gran potencia, por lo que los consumos y los costes horarios son mayores.

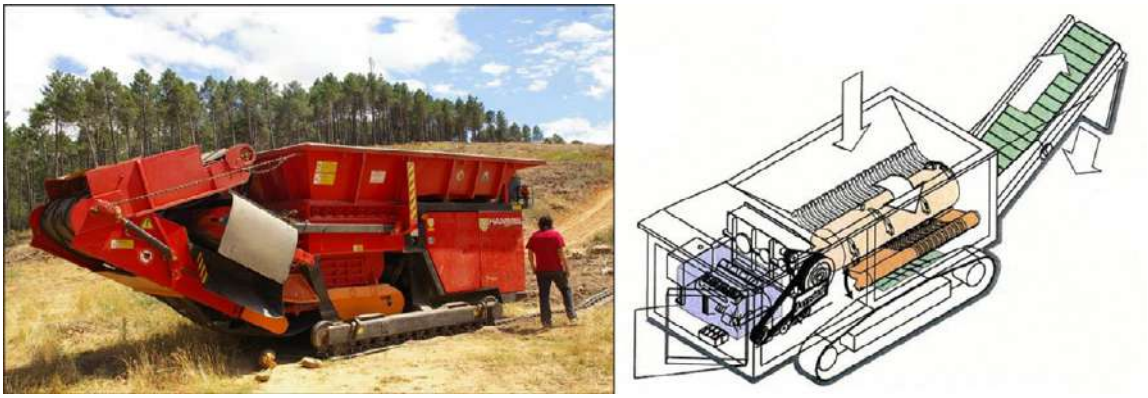


Figura I.18. Pretrituradora (Foto: E. Tolosana).

Suelen trabajar en cargadero y/o parque de fábrica, son remolcadas por camiones, a veces son semimóviles (pueden desplazarse a distancias cortas por sí mismas, como las que se presentan en la figura I.18). Se usan con frecuencia en casos en que la presencia de piedras o metales no sólo impide el uso de equipos de cuchillas, sino que produciría un desgaste excesivo en las trituradoras de dientes locos o martillos, como por ejemplo tocones o palés, a menudo alternando su uso en monte y en parque de fábrica o centro de gestión de residuos

2. Trituradoras. Se trata de máquinas diseñadas para reducir el tamaño de materiales no muy duros, a los que atacan por impacto de piezas metálicas, a menudo móviles (martillos o dientes, articulados o no). Suelen disponer el rotor horizontal transversalmente al eje de la máquina (figura I.19).

Figura I.19. Trituradora semimóvil (izquierda) y detalle del útil triturador (derecha) (Fotos: E. Tolosana).

Ventajas:

- Pueden ser también objeto de un uso mixto, polivalente, en monte y parque (ejemplo: industria del tablero aglomerado).

- Tienen mayor tolerancia que las astilladoras a materiales “sucios”, con arena o pequeñas piedras, aunque no tanto como las pretrituradoras.

- Tienen menor consumo y requerimiento de potencia que las pretrituradoras.

- El material resultante es más homogéneo que el de las pretrituradoras, e incluso se puede usar para combustión directa en ciertas aplicaciones.

- Tienen menor frecuencia de mantenimiento que las astilladoras.

Inconvenientes:

- El material producido no es apto para su consumo directo en determinadas calderas de combustión.

- Siguen siendo de mayor potencia que las astilladoras, por lo que los consumos y los costes son mayores.

- Generalmente estos equipos no disponen de grúa, por lo que han de complementarse con palas cargadoras de alto volteo o grúas tipo pulpo (figura I.20).

- El desgaste y cambio de martillos o dientes es costoso.

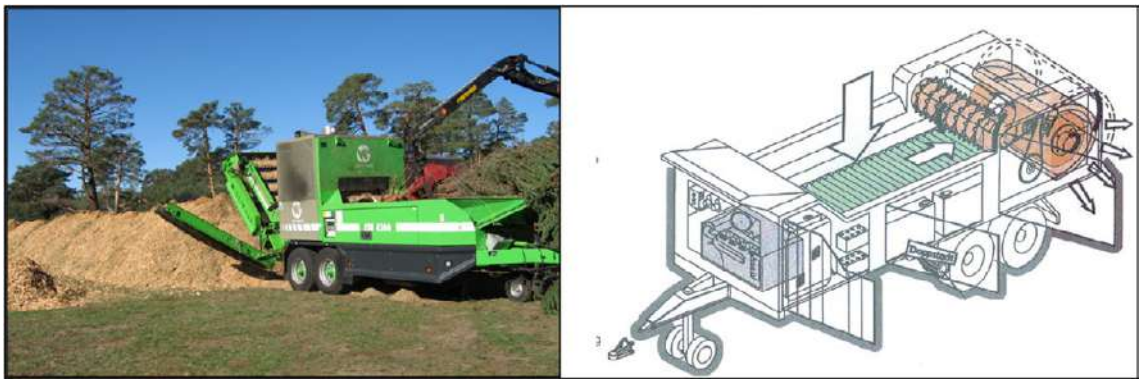


Figura I.20. Trituradoras semimóviles, acoplables a camión y que requieren alimentación externa (Foto: E. Tolosana).

Tienen un uso mixto con el industrial, especialmente útil si los materiales son duros, tienen cortezas de difícil astillado, presentan arena, u otras impurezas frecuentes. Hay que evitar su utilización para materiales muy sucios, como los tocones.

3. Astilladoras. Son máquinas que están diseñadas para el ataque a materiales blandos, generalmente árboles, madera o productos de madera sin contener elementos duros, que reducen la madera sólida a partículas mediante un mecanismo de corte con cuchillas (en un número

pequeño de casos, mediante tornillos con aletas de bordes afilados). Las cuchillas se montan sobre elementos rotatorios con velocidades angulares relativamente altas.

Hay astilladoras de disco o de tambor. Las máquinas para aprovechamiento a escala industrial, con mayor capacidad y rendimiento, son de tambor (figura I.21), que además producen astilla de mejor calidad que las de disco.

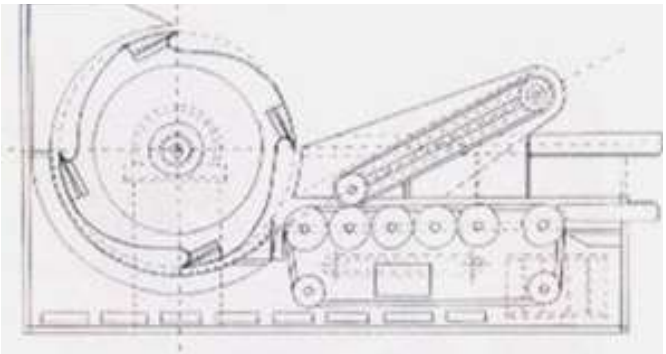


Figura I.21. Astilladora de tambor, con un rotor con cuchillas tangenciales que se dispone transversalmente al eje de la máquina y ataca al material perpendicularmente a la fibra (Fuente: Tolosana 2009).

Hay varios tipos de astilladoras de tambor: **semifijas**, que llevan un motor propio y son remolcadas por un camión (aunque suelen trabajar en presencia de la cabeza tractora, abundando menos las máquinas semimóviles), y **móviles**, pueden ser acoplables a un tractor agrícola de cierta potencia o bien pueden ser acoplables o estar integrados en el chasis de un autocargador, aunque con frecuencia el motor de la astilladora es independiente del del vehículo acoplable. La astilladora móvil debe remolcar un contenedor de astillas, dado que su función es recolectarlas, y no expulsarlas como en aplicaciones no industriales (eliminación de residuos).

Las astilladoras semifijas trabajan en cargadero y expulsan la astilla a un montón en el suelo, a un camión o a un contenedor. Las astilladoras móviles requieren un vehículo auxiliar con remolque donde basculan su contenedor cuando está lleno para poder seguir astillando mientras este tractor auxiliar o "lanzadera" extrae las astillas a cargadero (figura I.22).

Figura I.22. Astilladora fija trabajando en cargadero (izquierda) y astilladora móvil trabajando en una chopera (derecha) (Fotos: E. Tolosana).

Ventajas:

- Proporcionan la máxima calidad de astilla (figura I.23). Es la máquina de tratamiento de biomasa que aporta un mayor valor añadido.

- Frente a las pretrituradoras y trituradoras, tienen menor consumo y requerimiento de potencia (mayor rendimiento)

- Es frecuente que estos equipos cuenten con una grúa propia, lo que facilita su alimentación.

Figura I.23. Astilla homogénea de calidad, procedente de astillado (Foto: R. Laína).

Inconvenientes:

- Las astilladoras tienen poca tolerancia a la presencia de piedras u objetos metálicos en la biomasa tratada. Las averías pueden ser muy graves.

- El coste y el tiempo de mantenimiento de las cuchillas elevado (figura I.24).

- Las astillas, debido a su menor tamaño y por tanto escasa ventilación, plantean problemas de almacenamiento mayores que otros materiales (mayor riesgo de pérdidas por fermentación, de autocombustión, etc.).

Se usan, preferentemente, para astillado fijo en cargadero sobre pilas grandes de biomasa, con la excepción en España de las choperas, sin pendientes, con condiciones favorables de pendiente y con la biomasa bastante concentrada sobre el terreno, donde el astillado es móvil.

La productividad de las astilladoras, igual que de las trituradoras y pretrituradoras, depende mucho de su potencia. Además, la productividad aumenta si trabajan en cargadero sobre pilas grandes de biomasa. En caso de trabajo como astilladoras móviles, requieren que la biomasa esté amontonada o acordonada sobre el terreno para tener mejor rendimiento.

En todo caso, el aprovechamiento integrado de madera y biomasa – en que la empresa que aprovecha ambos recursos es la misma y coordina ambos aprovechamientos – mejora tanto la productividad de la operación como la calidad de la biomasa.

Figura I.24. Detalle del mantenimiento de las cuchillas de una astilladora fija (Foto: R. Martínez-Ferrari).

4. Máquinas empacadoras de biomasa. Son máquinas que reúnen y comprimen biomasa bruta (ramas, copas, árboles completos, etc.) de origen forestal, para formar pacas o balas de suficiente densidad (figura I.25).

Figura I.25. Máquina empacadora de biomasa trabajando sobre restos de corta (Fuente: John Deere).

Se pueden distinguir varios tipos: 1) Equipos semifijos o semimóviles: diseñados para la operación en cargadero. Son máquinas de mayor envergadura, normalmente remolcadas por camiones y 2) Equipos móviles: implementados sobre chasis de autocargador. Por su envergadura, trabajan en muchos casos también en cargadero o bien en cortas a hecho.

Ventajas:

La utilidad de las empacadoras se centra en un triple ahorro de costes:

- Ahorro de costes de transporte (material resultante unas tres veces más denso).
- Ahorro en materiales específicos para el manejo de biomasa, en costes fijos y en complicaciones logísticas, dado que se pueden usar las mismas máquinas que para la madera (autocargadores y camiones).
- Ahorro en costes de manipulación y almacenamiento (menor espacio requerido menores complicaciones para el manejo de pacas frente al de biomasa bruta, no hay problemas de autocombustión, secan mejor que las astillas o el material triturado, etc.).

Inconvenientes:

- Sobrecostes debidos al uso de esta máquina. Tiene un precio comparable al de una astilladora móvil, muy elevado, pero no aporta valor añadido a la biomasa, que debe ser astillada posteriormente en todo caso.

De acuerdo con el ahorro mencionado, los principales usuarios de estas tecnologías serían grandes consumidores, que tienen distancias grandes de suministro y que cuentan con centros logísticos que les permiten manejar grandes cantidades de pacas sin problemas, e incluso procesarlas para la separación de diferentes fracciones, etc.

Sin embargo, en la cornisa Cantábrica se han hecho muy populares sobre todo en eucalipto, por razones logísticas relacionadas con el pequeño tamaño de la propiedad y la falta de espacios de cargaderos para organizar el astillado. Sólo la central de Greenalia tiene 60 empacadoras propias trabajando a dos turnos, y puede haber unas 25 o más trabajando para ENCE y Álvarez Forestal.

3.3. Máquinas para el transporte extraviario de residuos forestales, árboles completos o astillas

Se pueden distinguir dos tipos de máquinas: 1) Tractores autocargadores y 2) Tractores con remolque basculante de descarga trasera forzada.

1. Tractores autocargadores o agrícolas adaptados para desembosque de residuos forestales o árboles completos. Se trata de tractores con remolque y grúa, adaptados para uso forestal, análogos a los autocargadores forestales que se emplean para saca de madera (figura I.26), aunque las grúas para recogida de biomasa residual son distintas a las de madera. Su principal inconveniente es que, dada la menor densidad aparente de la biomasa con respecto a la madera, su capacidad de carga se reduce, encareciendo la extracción.

Figura I.26. Tractores autocargadores extrayendo residuos de corta (izquierda, Fuente: Valtra) y árboles completos (derecha, foto: E. Tolosana).

Por eso, pueden llevar adaptaciones para que el remolque aumente su tamaño o actúe comprimiendo la biomasa bruta, generalmente paneles compresores que permiten aumentar la capacidad de carga (figura I.27).

Figura I.27. Autocargadores con remolque equipados con paneles compresores (Fuente: Valmet, izquierda y E. Tolosana, derecha).

La productividad de la saca de biomasa con autocargador depende positivamente de la capacidad de carga y negativamente de la distancia de desembosque y de la pendiente, si bien se ve muy influida por el grado de concentración de la biomasa (tanto su densidad en t ha^{-1} como el hecho de que esté concentrada en montones o cordones, lo que facilita y acelera la carga).

Por eso es importante que el aprovechamiento de madera y biomasa sea integrado, al igual que ocurría en el caso del astillado móvil.

2. Tractores con remolque basculante o de descarga trasera forzada para el desembosque de astillas. Se usan combinados con astilladoras móviles, para extraer la astilla desde el monte hasta el cargadero, donde descargan en el suelo o basculan sobre contenedor o camión. Pueden servir también para transporte de astilla para distancias cortas hasta el consumidor final (figura I.28).

Ventajas e inconvenientes:

- Descarga de astilla más rápida. Para transporte de biomasa bruta, no son tan necesarios estos sistemas de descarga, que a cambio ocupan espacio y requieren más potencia.

- En el caso de la descarga forzada por la parte trasera, la principal ventaja es que se pueden producir descargas parciales (por ejemplo, si un tractor o camión debe suministrar pequeñas cantidades de astilla a clientes muy pequeños, para aplicaciones térmicas domésticas).

En España, se usan sobre todo para el transporte de astillas en el astillado móvil en choperas. La astilladora descarga su contenedor en el de un tractor agrícola, dado que su elevado coste horario no aconseja su uso para desembosque de astilla. En este caso, su rendimiento suele estar condicionado por el de la astilladora.

Figura I.28. Tractores para transporte extraviario de astillas. En la fotografía de arriba a la derecha, tractor de descarga trasera forzada (Fotos: E. Tolosana).

3.4. Máquinas para apilado/acordonado de la biomasa o carga de astillas

Entre los diferentes tipos se pueden distinguir: 1) Máquinas para apilado y acordonado de la biomasa, 2) Cargadoras rotatorias de astillas, 3) Palas cargadoras.

1. Máquinas para el apilado o acordonado de biomasa. Son tractores de pequeño tamaño, palas cargadoras frontales o cargadoras telescópicas (tipo Manitou) a las que se acoplan aperos para reunir y amontonar los restos de corta (figura I.29).

Figura I.29. Diversos tipos de máquinas para el apilado o acordonado de restos de corta (Fotos: E. Tolosana).

Ya se ha indicado que tanto para la productividad del astillado o empacado móvil como para la de la extracción en autocargador de restos de corta, es esencial su agrupación en montones o cordones, para lo que en general se usan máquinas de poca potencia y coste horario reducido.

2. Cargadoras rotatorias de astillas (basadas en retroexcavadora). Se emplean para cargar astillas en camiones, en cargadero o parque de planta, deben utilizar grúas de tipo “pulpo” para evitar las pérdidas de carga (figura I.30).

Figura I.30. Cargadoras rotatorias de astilla, con grúas tipo "pulpo" (Fuentes: Sennebogen, izquierda, y E. Tolosana, derecha).

3. Palas cargadoras de astillas. Se trata de palas cargadoras frontales o de cargadoras telescópicas (tipo Manitou) que cargan las astillas por mecanismos de "cuchara" o "valvas"(figura I.31).

Figura I.31. Pala cargadora frontal y cargador telescópico para carga o descarga de astillas (Fuentes: Hanomag, izquierda, y E. Tolosana, derecha).

3.5. *Máquinas combinadas para corta y elaboración de biomasa*

Existen diferentes tipos: 1) Taladoras acumuladoras-astilladoras, 2) Multitaladora-empacadora, 3) Cosechadoras-recolectoras de matorral.

1. Taladoras acumuladoras – astilladoras. Son máquinas con grúa y un cabezal talador-apilador, trabajan con árboles pequeños y, cuando acumulan un fajo, alimentan la tolva de entrada de una astilladora que proyecta las astillas a un contenedor posterior (figura I.32). Es una variante del método de astillado móvil, en que si la distancia de desembosque no fuera pequeña, se requiere un tractor más barato que actúe como vehículo lanzadera para el transporte extraviario de las astillas al cargadero. El prototipo, desarrollado por Valmet (hoy Komatsu) no ha tenido desarrollo comercial.

Figura I.32. Máquina combinada para apeo multiárbol y astillado de árboles completos pequeños (Fuente: Valmet).

2. Multitaladora – empacadora. Se trata de una máquina con grúa en que un cabezal multitalador alimenta una unidad empacadora, que va montada sobre el semichasis trasero de un autocargador o taladora-transportadora (*harwarder*). La máquina con un mayor desarrollo ha sido diseñada por la casa finlandesa Fixteri, que ha ido mejorando el prototipo inicial ganando en productividad y eficiencia. La máquina Fixteri FX-15a (figura I.33) se ha probado en España en aprovechamientos de masas incendiadas o afectadas por plagas con buen resultado, si bien por el momento no hay ninguna unidad activa en nuestro país.

Figura I.33. Máquina taladora-empacadora Fixteri FX 15a trabajando en un regenerado posincendio afectado por una plaga de Matsococcus spp. en Girona (Foto: E. Tolosana).

3. Cosechadoras-recolectoras de matorral (o de restos acordonados). Se basan en una desbrozadora de eje horizontal, remolcada, que va triturando el material acordonado (o el matorral o regenerado joven) y, a través de uno o dos ciclones, lo impulsa hacia un contenedor trasero. Tiene especial interés este tipo de tecnología en un país con millones de hectáreas de matorrales como España, en el que tienen tanto potencial los desbroces de matorral como tratamientos preventivos de incendios. RetraBio, una máquina desarrollada por el instituto gallego CIS-Madeira ha sido probada sobre distintos matorrales en España (Esteban *et al*. 2017) y sobre regenerados post-incendio y, a pesar de ciertos problemas mecánicos, ha tenido resultados prometedores (figura I.34).

Otras máquinas sobre el mismo concepto han sido desarrolladas en España por la empresa Serrat o por fabricantes foráneos, como Prinoth, Seppi, Ryetec y otros. Aunque en general son máquinas con limitaciones por pendiente y pedregosidad flotante, podrían tener mucho interés en tratamientos preventivos de incendios sobre matorrales o regenerados jóvenes.

Se puede mencionar también una desbrozadora-empacadora de matorral de fabricación canadiense, modelo BioBaler FX-55, que ha sido ensayada sobre distintos tipos de matorral y regenerados jóvenes de pino en España, con resultados condicionados por su poca eficiencia en la recogida que sugiere posibles mejoras en su diseño mecánico.

Figura I.34. Desbrozadora recolectora de matorral RetraBio (Foto: E. Tolosana).

3.6. Camiones para el transporte de la biomasa

Lo ideal es usar camiones de alta capacidad, tanto camiones de madera (aptos para el transporte de pacas) como camiones cerrados para el transporte de biomasa bruta, astillada o triturada.

En este último caso, se usan camiones con remolque o semi-remolques convencionales y de "piso móvil" (hasta 90 estéreos de capacidad), o bien camiones "multilift" de contenedores, con remolque, que son capaces de cargar contenedores que han sido previamente llenados de astilla o material triturado, lo que reduce los costes de transporte y evita cargar astilla desde el suelo y que recoja arena (figura I.35).

En ambos casos, deben ir cerrados incluso por la parte superior (con redes o lonas) para no perder la carga.

Son condicionantes del transporte en camiones de alta capacidad las restricciones normativas injustificadas (por ejemplo, en España el peso máximo en circulación de los camiones es de 40 t —salvo transportes especiales—, frente a normativas europeas que, como en el caso de los países nórdicos, permiten hasta 60 t).

La escasa densidad de este material —en verde, la astilla pesa aproximadamente la mitad que la madera— aconseja maximizar el volumen de carga. Los camiones de mayor capacidad necesitan espacio de cargadero y no suelen tener medios de carga propios, por lo que suelen requerir de un medio auxiliar de carga.

Figura I.35. Camión de piso móvil (izquierda) y camión *multilift* (derecha) (Fotos: E. Tolosana).

4. Sistemas de aprovechamiento de la biomasa forestal

Los principales sistemas de aprovechamiento de biomasa forestal son los siguientes:

- Sistema 1. Aprovechamiento integral de árboles completos, pequeños o no comerciales, con astillado en cargadero o terminal/planta.

- Sistema 2. Aprovechamiento integrado (con el de madera) de árboles completos, con procesado en cargadero y astillado de ramas y copas en cargadero o en terminal/planta.

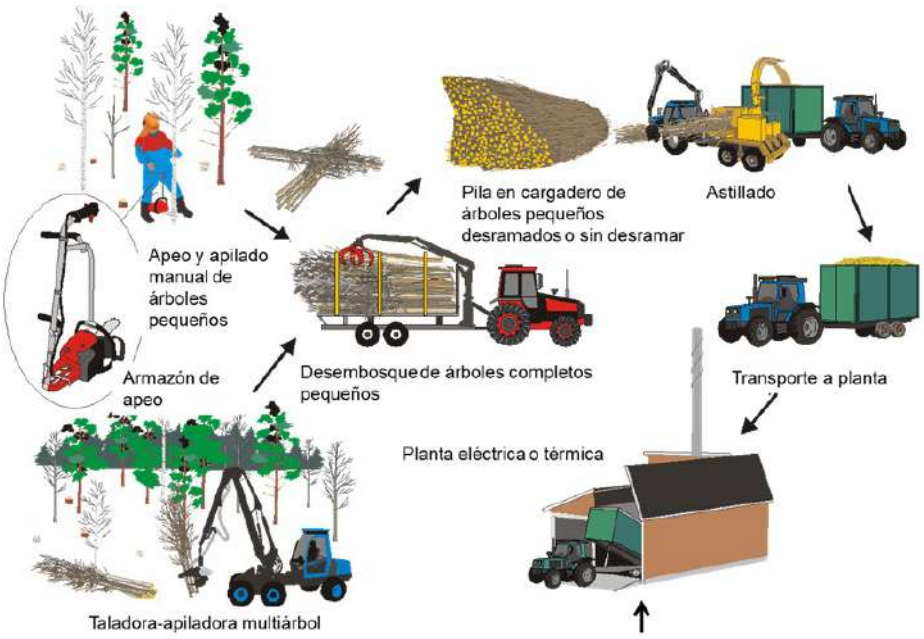


Figura I.36. Sistema 1.a de aprovechamiento integral de árboles completos pequeños/no comerciales (Fuente: adaptado de Alakangas (VTT) 2006).

- Aprovechamiento de restos (ramas y copas) de cortas comerciales, integrado con el de madera, que puede ser:

  - Sistema 3. Extracción de ramas y copas y astillado en cargadero o terminal/planta.

- Sistema 4. Astillado móvil (en área de corta) y extracción a cargadero y transporte de astillas.

- Sistema 5. Empacado y saca y transporte de pacas. Astillado en terminal/planta.

- Sistema 6. Aprovechamiento de tocones, con pretriturado en cargadero o en terminal/planta y cribado y reastillado en terminal/planta.

Sistema 1. Aprovechamiento integral de árboles completos pequeños o no comerciales (propio de clareos o primeras claras o de resalveos de montes bajos no comerciales).

Una primera variante (1a) parte de la corta de arbolillos con motosierra/motodesbrozadora o taladora-apiladora multiárbol, seguida de la saca de árbol completo y astillado o triturado fijo de los árboles completos – en cargadero – o su transporte a la planta para su astillado o triturado, en caso de distancias pequeñas (figuras I.36 y I.37).

Figura I.37. Ejemplo de sistema 1a aplicado en un monte bajo de encina. A la izquierda, multitaladora y a la derecha, autocargador con paneles compresores (Fotos: E Tolosana).

La variante 1b consiste en la corta y empacado de los arbolillos completos con multitaladora-empacadora, seguidos del transporte de las pacas a planta o terminal logístico para su astillado (figura I.38).

Figura I.38. Sistema 1b, multitaladora – empacadora (izquierda) y astillado de pacas en cargadero (derecha) (Fotos: E Tolosana).

Sistema 2. Aprovechamiento integrado de árboles completos con aprovechamiento comercial. Separación de madera comercial y astillado de ramas y copas en el propio cargadero o en terminal/planta (figura I.39).

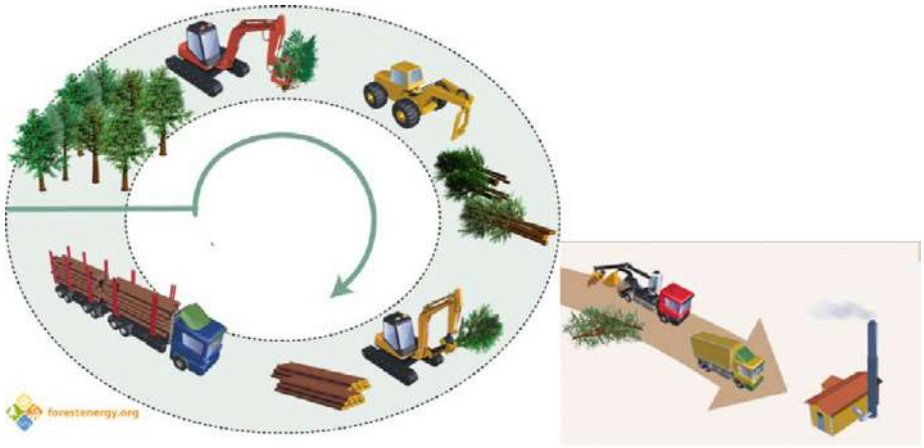


Figura I.39. Sistema 2. Aprovechamiento integrado de árboles completos para madera y biomasa (Fuente: Forestenergy.org).

Sistema 3. Aprovechamiento integrado de restos de corta – de madera comercial - con desembosque de ramas y copas con autocargador seguido de su astillado fijo (en cargadero) o en terminal/planta si la distancia de transporte fuera pequeña (figura I.40, junto con los sistemas 4 y 5).

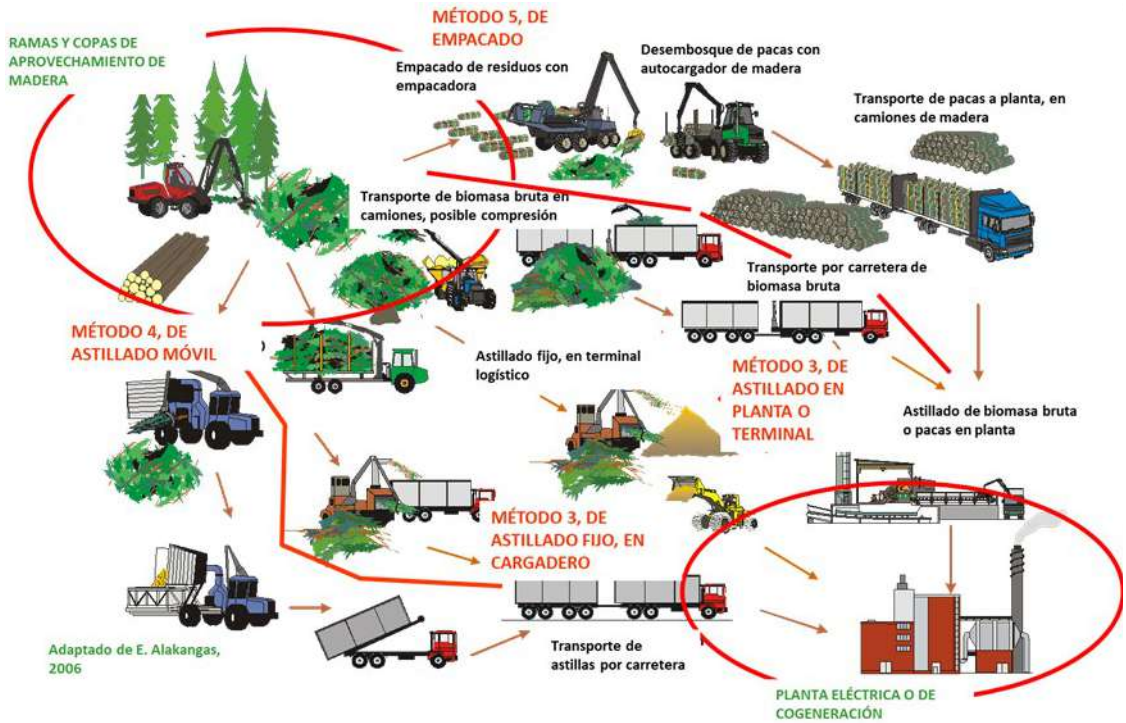


Figura I.40. Esquemas de los sistemas 3, 4 y 5 de aprovechamiento de biomasa de ramas y copas de cortas comerciales (Fuente: adaptado de Alakangas (VTT) 2006).

Sistema 4. Aprovechamiento integrado de restos de corta – de madera comercial - con astillado móvil – en la zona de apeo – seguido de desembosque de astillas y transporte a terminal/planta (figura I.40, junto con los sistemas 3 y 5).

Sistema 5. Aprovechamiento integrado de restos de corta – de madera comercial - con empacado de ramas y copas, extracción de pacas con autocargador seguido de su transporte y astillado en terminal/planta (figura I.40, junto con los sistemas 3 y 4).

Todos estos sistemas de aprovechamiento de los llamados "restos de corta" requieren una densidad mínima de estos restos sobre el terreno, por debajo de 40 ó 50 toneladas verdes por hectárea en general, este tipo de aprovechamiento no suele ser autofinanciable, aunque la rentabilidad depende también del tamaño del aprovechamiento y de sus condiciones de acceso y pendientes (a menor tamaño y peores condiciones, menos rentabilidad del aprovechamiento de la biomasa de ramas y copas). La importancia del peso por hectárea, por ejemplo, conduce a tratar de dejar la mayor parte de la corteza sobre el terreno en los aprovechamientos comerciales mecanizados de eucalipto en la cornisa cantábrica, lo que favorece a cabezales con rodillos que desprenden más la corteza, por su diseño o por la mayor presión aplicada sobre los fustes.

Sistema 6. Aprovechamiento de tocones con pretriturado en cargadero o en terminal/planta, cribado y astillado en destino.

Asociado a menudo a choperas, obras de infraestructuras, tratamientos fitosanitarios (enfermedades de las raíces), derribos por viento o nieve o cambio de clones en plantaciones comerciales. Los tocones, a pesar de los problemas de impurezas, suelen tener una densidad energética considerable. Se puede ver un ejemplo, con transporte de los tocones a planta, en la figura I.41.

Figura I.41. Método de producción del aprovechamiento de los tocones en los países escandinavos (Fuente: adaptado de Alakangas (VTT) 2006).

Abundantes referencias sobre los rendimientos y costes estimados de varias cadenas de transformación para los sistemas de aprovechamiento anteriores pueden encontrarse, para distintos países y maquinaria, en Ghaffariyan et al. (2017), y en lo referente a montes bajos en Europa, en Spinelli et al. (2016).

Los resultados de estudios específicos de aprovechamiento de biomasa en España entre 2006 y 2009 en cuanto a rendimientos y costes para los sistemas citados y diferentes especies y tipos de corta se presentan en Tolosana (2009).

Resultados más detallados sobre rendimientos, costes y, en algunos casos, efectos ambientales de estudios de aprovechamiento de biomasa en España pueden encontrarse en Tolosana et al (2011), Laina et al. (2013), Tolosana et al (2014), San Miguel et al. (2015), Sánchez-García et al. (2015), Sánchez-García et al. (2016), Tolosana et al. (2018), Bados et al. (2020), Tolosana et al. (2021), Laina et al (2022), Herguido et al. (2023) y Tolosana et al. (2023).

5. Tendencias de evolución de las cadenas de abastecimiento de biomasa en los países nórdicos

Aunque no todas las tendencias escandinavas sean extrapolables a España, debido a las distintas condiciones de tamaño de la propiedad, fisiografía, acceso, limitaciones legales al tamaño de los medios de transporte y otras, muchas de las tendencias en los países forestalmente más avanzados se han acabado por imponer, al menos en parte, en nuestro país. Se citan a continuación algunas de las más notables (Fuentes: Väätäinen et al. 2021; adaptado de Tahvanainen y Anttila 2011; Kärhä 2011):

Como media en el sureste de Finlandia, gracias a los camiones de gran capacidad, resultaba la opción más económica el transporte de la biomasa bruta y su astillado en terminal o planta hasta 50 ó 60 km, el astillado o triturado y transporte del material a planta hasta 150-160 km, y a partir de ahí el transporte de material astillado o triturado en ferrocarril. En España el primer límite es mucho más bajo y el segundo, por inadaptación del sector ferroviario a este tipo de transporte, mucho más alto.

- Aumenta el interés por el transporte a larga distancia, que ha conducido a una importancia creciente de terminales logísticas para procesar biomasa de múltiples fuentes y producir distintos combustibles para diferentes clientes.

- Se detecta desde principios de siglo una tendencia a aumentar el tamaño y capacidad de los camiones, incluidos los de astillas, testando camiones de hasta 30 m y 90 t. Los camiones de gran tamaño redujeron los costes entre un 7 y un 20% comparados con los usuales de 60 t, suponiendo también menores emisiones de gases de efecto invernadero.

- Aumenta la frecuencia del transporte ferroviario, las terminales asociadas a estaciones de tren de carga y las grandes plantas de biomasa con acceso de líneas de tren.

- Hay una creciente sinergia entre los productores de biomasa y la industria forestal (de madera sólida).

- Ha aumentado desde principio de siglo el interés por fuentes alternativas de biomasa (sobre todo, tocones), aunque en Finlandia esta tendencia se ha frenado últimamente.

- Se detecta estancamiento o reducción de la tecnología de empacado, se mantiene el astillado en origen, casi exclusivamente fijo (en cargadero) y aumenta mucho el astillado en terminal logística o planta, así como el uso de madera en rollo de pequeñas dimensiones (*energy wood*). En Finlandia, en 2017, el 54% de la astilla se produjo en cargadero, sobre un 33% en terminales logísticos y el 12 % en planta, mientras que el astillado móvil ha desaparecido (Strandström 2018). La cadena de suministro típica consiste en una astilladora sobre camión y dos o tres camiones con remolque de contenedores (Routa et *al*. 2013). En Suecia, cerca del 90% de los restos de corta o arbolillos completos se astillan en cargadero, mientras que la mayoría de la madera en rollo defectuosa empleada para energía se astilla en terminales (Brunberg 2014, 2016). Para el astillado en cargadero, los sistemas más comunes se basan en astilladoras montadas sobre autocargador combinadas con camiones de contenedores o camiones de astillas con sistemas de autocarga, así como camiones de astillas con astilladora propia.

- La logística de la biomasa forestal se controla y gestiona con precisión y eficiencia crecientes gracias al desarrollo de las tecnologías de la información y de numerosos programas informáticos a tal efecto.

6. Conclusiones

La biomasa forestal es una fuente de energía sostenible y neutra en emisiones de gases de efecto invernadero. Tiene, sobre otras energías renovables, la ventaja de ser gestionable (no depende del tiempo atmosférico o de la luz).

La biomasa térmica o de cogeneración o trigeneración (que combina producción de electricidad con producción de calor y, en su caso, refrigeración) es rentable y tiene una eficiencia muy superior a la generación exclusiva de electricidad.

La biomasa tradicional en usos térmicos para calefacción o cocina plantea aún graves problemas sanitarios en los países en desarrollo que requieren un esfuerzo común para su superación.

Las perspectivas de futuro de la biomasa agroforestal pasan, para uso energético, por los procesos de peletización, pirólisis para fabricación de biochar y derivados o gasificación, entre otros. Más allá del uso energético, la fabricación de bioproductos de alto valor añadido en las llamadas biorrefinerías es ya una realidad con un futuro muy prometedor.

En la logística del abastecimiento de biomasa forestal, tienen gran importancia la baja densidad, que penaliza mucho el transporte a largas distancias (y que se aumenta gracias al astillado, triturado o empacado), la humedad, que eleva los costes de transporte y reduce el poder calorífico (y que se reduce mediante el secado en monte o cargadero), y la calidad como combustible, que se consigue evitando la contaminación con partes verdes o arena y otros elementos extraños al mismo tiempo que se busca la mayor homogeneidad.

La mecanización es imprescindible, a través de:

- Máquinas de corta de árboles (taladoras-apiladoras para el aprovechamiento integral, cosechadoras o procesadoras forestales para el aprovechamiento integrado).

- Astilladoras, trituradoras o pretrituradoras (en orden decreciente de calidad del combustible producido, y en orden creciente de adecuación a la mayor presencia de impurezas gruesas) para reducir el tamaño de la biomasa y aumentar su densidad. Su uso es más necesario cuando aumenta la distancia de transporte.

- Empacadoras. Son otra alternativa para aumentar la densidad y reducir costes de transporte y manipulación, útiles para distancias largas, aunque no aportan valor añadido preparando la biomasa para su combustión. Son populares en el N de España por el pequeño tamaño de la propiedad y la dificultad de encontrar lugares adecuados para el astillado.

- Máquinas de desembosque, en que destacan los autocargadores, a veces dotados de paneles compresores.

- Máquinas de bajo coste para concentración de la biomasa bruta (amontonado o acordonado), para transporte extraviario de astillas, para carga de astillas o biomasa en medios de transporte, etc.

- Camiones de transporte de alta capacidad.

Los principales sistemas de aprovechamiento de biomasa forestal son los siguientes:

- Aprovechamiento integral de árboles completos, pequeños o no comerciales, con astillado en cargadero o terminal/planta.

- Aprovechamiento integrado (con el de madera) de árboles completos, con procesado en cargadero y astillado de ramas y copas en cargadero o en terminal/planta.

- Aprovechamiento de restos (ramas y copas) de cortas comerciales, integrado con el de madera, que puede ser:

    - Extracción de ramas y copas y astillado en cargadero o terminal/planta.

  - Astillado móvil (en área de corta) y extracción a cargadero y transporte de astillas.

  - Empacado y saca y transporte de pacas. Astillado en terminal/planta.

- Aprovechamiento de tocones, con pretriturado en cargadero o en terminal/planta y cribado y reastillado en terminal/planta.

Los principales factores de mejora de la productividad y reducción de costes en el aprovechamiento de biomasa forestal son los siguientes:

- Tamaño medio de los árboles.

- Peso de biomasa por hectárea, posiblemente el factor más relevante.

- Superficie del aprovechamiento.

- Fisiografía y condiciones de acceso.

- En el caso de aprovechamiento de restos de cortas de madera, que sea integrado con el aprovechamiento de madera.

- Concentración de la biomasa (apilado o acordonado) previa al astillado móvil, carga en autocargador o empacado.

- Manejo de la biomasa para evitar que incorpore impurezas y, cuando sea posible, secado previo a otras operaciones en monte o cargadero.

- Distancias de transporte no excesivas, con adecuación de la logística a las mismas.

7. Bibliografía

Abbas D, Current D, Phillips M, Rossmand R, Hoganson H, Brooks KN (2011) Guidelines for harvesting forest biomass for energy: A synthesis of environmental considerations. Biomass & Bioenergy 35: 4538-4546. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0961953411003539. Consultado en diciembre de 2022.

Agencia Internacional de la Energía (2022). World Energy Outlook 2022. 524 pp. Documento online https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2022. Consultado en diciembre de 2022.

Alakangas E – VTT – (2006) Wood Energy Technology Programme, Finland. En European Biomass Industry Association: Recovery of forest residues. Disponible en https://www.eubia.org/cms/wiki-biomass/biomass-resources/challenges-related-to-biomass/recovery-of-forest-residues/. Consultado en diciembre de 2022.

Arauzo J, Bimbela F, Abrego J, Sánchez JL, Gonzalo A (2014) Introducción a las tecnologías de aprovechamiento de biomasa. Bol. Grupo Español Carbón 33: 1-5. Documento online https://www.gecarbon.org/Boletines/Boletin/BoletinGEC_033.pdf. Consultado en diciembre de 2022.

AVEBIOM (2020a) Día de la Bioenergía en la UE y en España. Rev. Biomasa News 1: 21-22. https://www.avebiom.org/sites/default/files/biomasanews/biomasa_news-1.pdf. Consultado en diciembre de 2022.

AVEBIOM (2020b) PELLETS 2020. Informe estadístico sobre producción y consumo de pellets en España. Documento Online https://www.avebiom.org/sites/default/files/2020-06/Informe-estadistico-Pellets-2020-AVEBIOM.pdf. Consultado en diciembre de 2022.

AVEBIOM (2021) Informe Redes de Calor con Biomasa 2020. 19 páginas. Documento online https://www.avebiom.org/sites/default/files/observatorio_biomasa/Informe-REDES-CALOR-BIOMASA-2020-AVEBIOM.pdf. Consultado en diciembre de 2022.

AVEBIOM (2022) Índice de precios de los biocombustibles domésticos en España a cliente final. Rev. Biomasa News 6: 64-65.

Bioenergy Europe (2022) Pellets Statistical Report 2022. Documento online https://bioenergy-europe.org/article/389-sr-22-pellets.html. Consultado en diciembre de 2022.

BIOPLAT, SUSCHEM (2017) Manual sobre las biorrefinerías en España. 91 pp. Documento online https://www.suschem-es.org/docum/pb/2017/publicaciones/Manual_de_Biorrefinerias_en_Espana_feb_2017.pdf. Consultado en diciembre de 2022.

Brachet I, Caloprisco P, Coelho V, Connolly T, Eräjää S, Fauconnier J-F, Herman M-O, Luebbeke I, Zuidema L (2015) Pitfalls and potentials – The role of bioenergy in the EU climate and energy policy post 2020: NGO recommendations. https://www.birdlife.org/sites/default/files/attachments/Bioenergy_post_2020_NGO%20recs.pdf. Consultado en diciembre de 2022.

Brunberg T (2014) Skogsbränslets metoder, sortiment och kostnader 2013. [Forest fuels – methods, assortments and costs 2013]. Webresultat Nr. Nr 74-2014 Skogforsk, 2 sid. In Swedish.

Brunberg T (2016) Forest Fuel – Trends over 5 Years. En Palmér C-H, Eliasson L., Iwarsson Wide M (Eds) Forest Energy for a Sustainable Future. Composite report from the R&D programme efficient forest fuel supply systems 2011–2015. Skogforsk, Uppsala, Sweden: 36–37.

Cacot E, Eisner N, Charnet F, Leon P, Rantien C, Ranger J (2006) La récolte raisonnée des rémanents en forêt. Ed. ADEME Editions. 36 pag. ISBN 978 - 2 - 86817 - 834 – 6. https://belinra.inrae.fr/doc_num.php?explnum_id=3102. Consultado en diciembre de 2022.

de Gregorio M (2022) Sostenibilidad de la biomasa en España. Rev RETEMA Especial Bioenergía 2022: 120-125. Documento online https://www.retema.es/revista-digital/especial-bioenergia-8. Consultado en diciembre de 2022.

EUROBSERV'ER (2022) Solid Biofuels Barometer 2021.7 pp. Documento online https://www.eurobserv-er.org/solid-biofuels-barometer-2021/. Consultado en diciembre de 2022.

EUROSTAT (2022) Renewable energy statistics. Documento Online https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=File:Table_3_share_of_energy_from_renewable_sources_in_heating_and_cooling_2020.PNG. Consultado en diciembre de 2022.

Ghaffariyan MR, Brown M, Acuña M, Sessions J et al. (2017) An international review of the most productive and cost-effective forest biomass recovery technologies and supply chains.

Renewable and Sustainable Energy Reviews 74:145-158 (https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032117302174. Consultado en diciembre de 2022.

Global Change Data Lab (2022) Universidad de Oxford. Documento online https://ourworldindata.org/global-energy-200-years. Consultado en diciembre de 2022.

Hakkila P, Parikka M (2002) Fuel resources from the forest. In Bioenergy from Sustainable Forestry. Springer, Netherlands, pp 19-48.

Herguido L, Tolosana E, Laina R, de la Fuente T, Bergström D, Fernandez-Lacruz R, Nordfjell T (2023) Effects of boom-corridor and selective thinnings on harvester productivity in dense small diameter Pyrenean oak (Quercus pyrenaica Willd.) coppices in Spain. Croatian Journal of Forest Engineering (en prensa).

IDAE (2007) Energía de la Biomasa. Serie Manuales de Energías Renovables. 140 pp. Documento online https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_10374_Energia_de_la_biomasa_07_28e17c9c.pdf. Consultado en diciembre de 2022.

IDAE (2012) Mapa tecnológico: calor y frío renovables. Borrador. 40 pp. Documento online https://pfcyl.es/sites/default/files/biblioteca/documentos/calor_y_frio_renovables_biomasa_11012012_global_v2.pdf. Consultado en diciembre de 2022.

IPCC (2012) Special report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation. Cambridge University Press. 1088 pp. Documento online https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/SRREN_Full_Report-1.pdf. Consultado en diciembre de 2022.

Janowiak MK, Webster CR (2010) Promoting Ecological Sustainability in Woody Biomass Harvesting. Journal of Forestry 108(1): 16-23. https://academic.oup.com/jof/article/108/1/16/4599385. Consultado en diciembre de 2022.

Kärhä K (2011) Industrial supply chains and production machinery of forest chips in Finland. Biomass and Bioenergy 35: 3404-3413.

Laina R, Tolosana E, Ambrosio Y (2013) Productivity and cost of biomass harvesting for energy production in coppice natural stands of Quercus pyrenaica Willd. in Castilla y Leon (Spain). Biomass and Bioenergy 56: 221 - 229.

Laina R, Herrero SJ, Corona B, Tolosana E, de la Fuente T, San Miguel G (2022) Economic and environmental assessment of a multifunctional poplar plantation for roundwood and wood chip production in Spain. Forest Systems 31(1): 1 – 11

Lattimore B, Smith CT, Titus BD, Stupak I, Egnell G (2009) Environmental factors in woodfuel production: Opportunities, risks, and criteria and indicators for sustainable practices. Biomass & Bioenergy 33(10): 1321-1342. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S096195340900124X. Consultado en diciembre de 2022.

Mai-Moulin T, Armstrong S, van Dam J, Junginger M (2017) Toward a harmonization of national sustainability requirements and criteria for solid biomass. Biofuels, Bioprod. Bioref. 13. https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/bbb.1822. Consultado en diciembre de 2022.

MITECO (2022) Online document https://www.miteco.gob.es/es/prensa/ultimas-noticias/espa%C3%B1a-cumple-los-objetivos-europeos-de-renovables-y-eficiencia-energ%C3%A9tica-en-2020/tcm:30-534576. Consultado en diciembre de 2022.

Montero G, Serrada R (2013) La situación de los bosques y el sector forestal en España - ISFE 2013. Edit. Sociedad Española de Ciencias Forestales. Lourizán (Pontevedra). 253

pág. http://www.congresoforestal.es/fichero.php?t=12225&i=529&m=2185. Consultado en diciembre de 2022.

Organización Mundial de la Salud (2014) WHO indoor air quality guidelines: hosehold fuel combustión. 154 pp. Documento online https://www.who.int/publications/i/item/9789241548885. Consultado en diciembre de 2022.

Ranius T, Hämäläinen A, Sjögren J. et al. (2019) The evolutionary species pool concept does not explain occurrence patterns of dead-wood-dependent organisms: implications for logging residue extraction. Oecologia 191: 241–252. https://doi.org/10.1007/s00442-019-04473-2. Consultado en diciembre de 2022.

Red Eléctrica Española (2022) Mapa de Instalaciones de Cogeneración, Residuos y Biomasa/Biogás en España. Documento online https://www.esios.ree.es/es/mapas-de-interes/mapa-instalaciones-cogeneracion-residuos-biomasa-biogas (consultado en diciembre de 2022).

Sánchez-García S, Canga E, Tolosana E, Majada J (2016) Analysis of Productivity and Cost of Forwarding Bundles of Eucalyptus Logging Residues on Steep Terrain. Croatian Journal of Forest Engineering. 37- 2: 241 – 249

San Miguel G, Corona B, Ruiz D, Landholm D, Laina R, Tolosana E, Sixto H, Cañellas I (2015) Environmental, energy and economic analysis of a biomass supply chain based on a poplar short rotation coppice in Spain. Journal of Cleaner Production 94 – 1: 93 – 101

Sikanen, L (2010) Effect of moisture content on the financial and environmental cost of forest biomass. Harvesting Forest Biomass: A Global State of the Art. COST Forest Energy Action Meeting. Trento, Italia.

Strandström M (2018) Metsähakkeen tuotantoketjut Suomessa vuonna 2017 [Production Chains of Forest Chips in Finland in 2017]. Metsätehon tuloskalvosarja 11:1-20. In Finnish

Tahvanainen T, Anttila P (2011) Supply chains cost analysis of long-distance transportation of energy wood in Finland. Biomass and Bioenergy 35: 3360-3375.

Tolosana E (2009) Manual técnico para el aprovechamiento y elaboración de biomasa forestal. Ed. MundiPrensa – Fundación Conde del Valle de Salazar. Madrid, 348 pp.

Tolosana E, Laina R, Ambrosio Y, Martín M (2014) Residual biomass recovery from fully-mechanized delayed thinnings on Spanish Pinus spp. plantations. Biomass and Bioenergy 71: 98 – 105.

Tolosana E, Spinelli R, Aminti G, Laina R, López Vicens I (2018) Productivity, Efficiency and Environmental Effects of Whole-Tree Harvesting in Spanish Coppice Stands Using a Drive-to-Tree Disc Saw Feller Buncher. Croatian Journal of Forest Engineering. 39 – 2: 163 – 172.

Tolosana E, Bados R, Laina R, Bacescu N, de la Fuente T (2021) Forest Biomass Collection from Systematic Mulching on Post-Fire Pine Regeneration with BioBaler WB55: Productivity, Cost and Comparison with a Conventional Treatment. Forests 12 – 979: 1 – 15

Tolosana E (2021) Capítulo XII: Biomasa. En Ortuño S, González V (Eds) La estructura económica del sector forestal en España 2000-2020. MITECO, Madrid, pp. 191-204.

Tolosana E, Laina R, Spinelli R, Aminti G, López-Vicens I (2023) Operational and Environmental Comparison of Two Felling and Piling Alternatives for Whole tree Harvesting in Quercus Coppices for Bioenergy Use. Croatian Journal of Forest Engineering (en prensa).

Väätäinen K, Anttila P, Eliasson L, Enström J, Laitila J, Prinz R, Routa J (2021) Roundwood and Biomass Logistics in Finland and Sweden. Croat. j. for. eng. 42(1): 39-61.

Van der Werf GR, Randerson JT, Giglio L et al. (2017). Global fire emissions estimates during 1997–2016 Earth Syst. Sci. Data, 9: 697-720. https://essd.copernicus.org/articles/9/697/2017/essd-9-697-2017.pdf. Consultado en diciembre de 2022.

World Bioenergy Association (2022) Global Bioenergy Statistics 2021. 51 pp. Documento online https://www.worldbioenergy.org/uploads/211214%20WBA%20GBS%202021.pdf. Consultado en diciembre de 2022.

WRI, World Resources International (2022) Global Wood Pellets Market Report. Documento online https://ajot.com/news/wri-global-wood-pellet-markets. Consultado en diciembre de 2022.

Caso particular II. Aprovechamiento maderero de montes de eucalipto en Galicia y la Cornisa Cantábrica

Marcos Barrio Anta, Marcos López Vázquez

1. Introducción

El género eucalipto fue introducido en Europa a finales del siglo XVIII con fines ornamentales, aunque su gran adaptación a las condiciones ecológicas del sur de Europa, sus altas tasas de crecimiento y los múltiples usos que pronto se vieron para su madera, propiciaron que a lo largo del siglo XIX fuese ya frecuente su plantación sobre terrenos forestales (Silva-Pando & Pino-Pérez 2016). Sin embargo, la aceleración de su expansión se produjo a partir de la segunda mitad del siglo XX al descubrirse en Portugal que su madera era excelente materia prima para producir pasta de papel (Bermúdez et al. 2002; Alegría et al. 2020) y a la instalación en esa época, y en décadas posteriores, de grandes plantas de celulosa en el norte de España (Cantabria en 1940, País Vasco en 1950 y en Galicia y Asturias en las décadas de 1960 y 1970, respectivamente).

Hoy en día, las plantaciones de eucalipto ocupan en el norte de España (Galicia, Asturias, Cantabria y País Vasco) una superficie de más de 453.000 ha, superficie que se ha multiplicado casi por cinco en los últimos 50 años (López-Sánchez at al. 2021). El volumen medio anual de cortas en el período 2005-2019 se situó en 4,9 millones de m^3, representando el 48% de las cortas de madera en dichas comunidades y el 33% de las cortas totales en el país en ese período (MTERD 2021), lo que convierte a los eucaliptos en las especies forestales más importantes en cuanto a volumen de cortas en España. Las razones de su enorme importancia comercial son las siguientes: i) su alta tasa de crecimiento y productividad, ii) la calidad de su madera y sus fibras, iii) su capacidad de rebrotar de cepa (en algunas especies) y iv) su plasticidad y capacidad de adaptación a la sequía y a los terrenos de baja fertilidad.

En la actualidad el uso principal de su madera es la producción de pasta de papel, aunque cada vez se destina más volumen al aserrado y desenrollo. El destino principal de las masas y su rápido crecimiento han determinado que la especie se plante a marco definitivo (densidades habituales de entre 1100 y 1600 pies/ha) con ausencia de claras y podas y con un turno de máxima renta en especie de 12-16 años, según calidades de estación (Viera et al. 2016). La gestión aplicada a estas plantaciones es, por tanto, muy simple y comprende básicamente desbroces durante los primeros años tras la plantación y selección de brotes durante el primer año

cuando la nueva masa proceda del rebrote de cepa tras la corta a matarrasa de la masa existente. La facilidad de cultivo, con apenas inversiones en cuidados culturales, y la ya comentada plasticidad y gran crecimiento, convierten de los eucaliptales en un cultivo forestal muy rentable y hacen que sea la opción preferida en gran parte de las zonas costeras de Galicia y la Cornisa Cantábrica.

El aprovechamiento de las masas destinadas a la producción de pasta de papel se ha mecanizado mucho durante las últimas décadas, abandonándose operaciones tradicionales como el descortezado manual en monte. El procesado de la madera (apeo, desramado y tronzado), aunque en determinadas circunstancias se realiza de forma manual, es frecuente que esté mecanizado parcial o totalmente, como se verá en capítulo 3.3 sobre la descripción de los sistemas de aprovechamiento empleados. Las razones que impulsan la mecanización del aprovechamiento maderero en general y de los eucaliptales en particular, son variadas y se pueden concretar en las siguientes: i) la búsqueda de nuevos métodos de aprovechamiento que faciliten el trabajo y reduzcan el riesgo de accidentes, ii) la dificultad creciente para encontrar motoserristas profesionales, iii) la mayor rentabilidad respecto a la elaboración manual (reducción de costes y aumento de la productividad) y iv) la mayor facilidad para la gestión del personal en las empresas.

2. Condicionantes

La planificación y ejecución de cualquier aprovechamiento maderero está condicionado por diversos factores que influyen en la toma de decisiones sobre los métodos, medios, equipos y máquinas a emplear, así como sobre la época más adecuada para realizarlo. En el caso de los aprovechamientos de eucalipto en el norte de España hemos agrupado los principales condicionantes en cinco grandes tipos: estructurales, orográficos, climáticos, industriales y selvícolas.

2.1. Condicionantes estructurales

2.1.1. Tipología y tamaño de la propiedad forestal

La propiedad de los montes de eucalipto es en su gran mayoría privada y se caracteriza por el gran minifundismo y atomización de las parcelas, mayor si cabe hacia Asturias y Galicia. Así, por ejemplo, en Galicia el 64,2% de la propiedad forestal es privada individual y el tamaño medio de la propiedad es de 1,7 ha que además se distribuye entre una y diez parcelas no contiguas, lo que arroja una superficie media de la parcela forestal de 0,26 ha (Xunta de Galicia 2018). Ante esta situación es muy difícil acometer cualquier tipo de gestión y planificación, ya que la gestión racional de los recursos madereros requiere que los aprovechamientos tengan unas superficies superiores a determinados “mínimos técnicos o de rentabilidad” por debajo de los cuales resulta inviable la aplicación de las técnicas selvícolas o de aprovechamiento (figura CPIII.1).

La influencia de este minifundismo encarece no sólo el aprovechamiento maderero propiamente dicho, sino también el transporte, al aumentar posibilidad de cargas incompletas en los camiones (Laina et al. 2017). Por tanto, la influencia que tiene el tamaño de los lotes de corta en los costes de gestión y explotación es determinante. Así, partiendo del mismo precio de la madera en parque de fábrica, descontando los costes hacia el monte, resulta que para una tonelada procedente de una corta de 20 t el valor residual que le quedaría al propietario por la venta de la madera en pie sería del 19% del valor de la madera en fábrica. Sin embargo, para una corta de 10.000 t este valor subiría hasta el 54% (Villapol 1997). Los maderistas, para tratar de paliar esta situación, deben comprar lotes de varias parcelas contiguas o próximas para que le sea rentable el aprovechamiento; contando, aun así, con muchos problemas a la hora de definir las rutas o caminos de desembosque, ya que deben pedir autorización a los propietarios de las fincas colindantes y buscar ubicaciones para los cargaderos. Además, en numerosas ocasiones los límites y cabidas de las parcelas son confusos y no están apoyadas en información cartográfica, por lo que es frecuente la paralización del aprovechamiento de lotes de madera por problemas de titularidad o deslinde entre propietarios (Ambrosio et al. 2001).

Las administraciones y las asociaciones forestales y/o de propietarios están impulsando soluciones como la concentración parcelaria (figura CPII.2) o la creación de agrupaciones o cooperativas de propietarias forestales. Así, la administración forestal gallega trata de corregir esta situación con la promoción desde 2012 de las Sociedades de Fomento Forestal (Sofor), instrumentos que permiten la agrupación de propietarios forestales para hacer un aprovechamiento conjunto de sus tierras (figura CPIII.1, derecha).

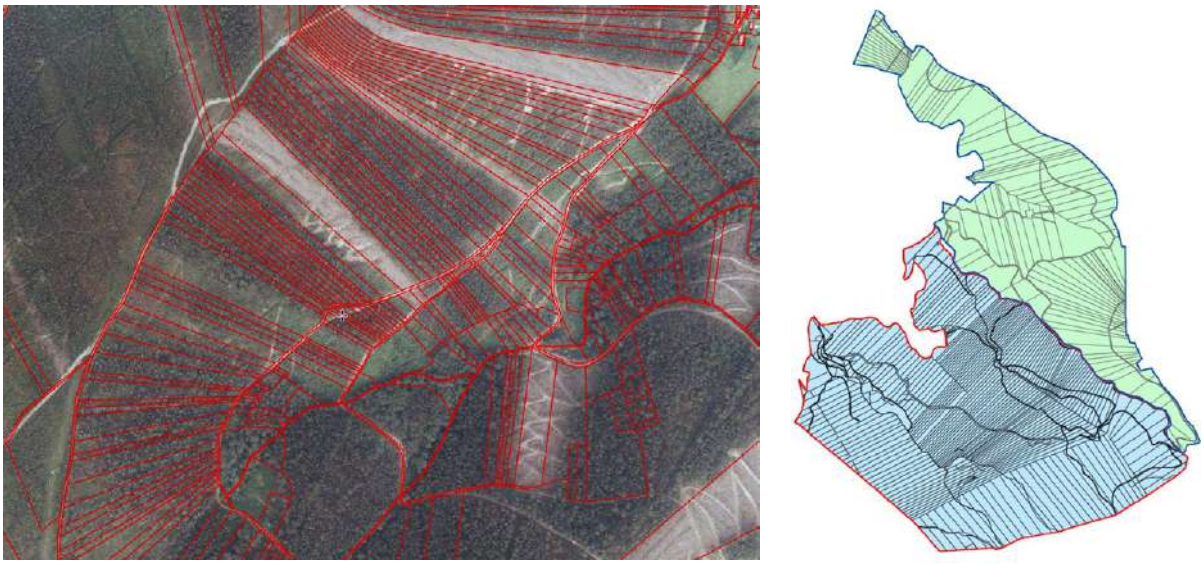


Figura CPII.1. Detalle del minifundismo de las parcelas plantadas con eucalipto en el concejo de Santirso de Abres (Asturias), donde se aprecia la disposición de las parcelas en fajas estrechas en el sentido de la pendiente, desde la cima al valle (izquierda) (Fuente: SigPac). A la derecha, detalle de las fajas de microparcelas de dos SOFOR (color verde y azul) en el concello de Silleda (Pontevedra) (Fuente: Tomado de Gil (2020)).

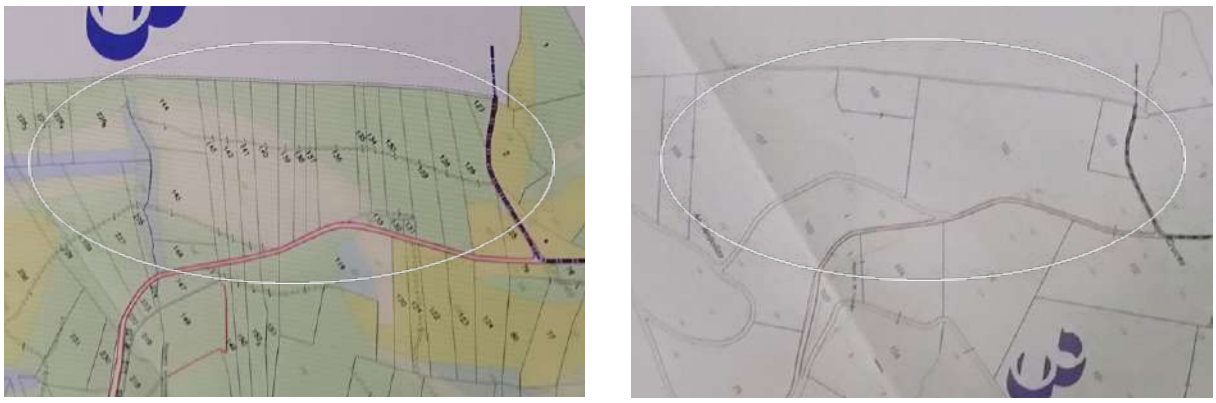


Figura CPII.2. Ejemplo de concentración parcelaria en el concejo de Tapia de Casariego (Asturias). Número y tamaño de las parcelas antes (izquierda) y después (derecha) de la concentración parcelaria (Fuente: Consejería de Desarrollo Rural y Recursos Naturales del Principado de Asturias).

2.1.2. Red de pistas y cargaderos

La mecanización de los aprovechamientos en zonas de pendiente exige la apertura de numerosas pistas que permitan cubrir de forma más o menos homogénea la zona de corta. Sin embargo, las microparcelas que conforman los lotes de madera de eucalipto dificultan enormemente la apertura de las pistas y en muchas ocasiones es necesario comprar la madera de varias plantaciones aledañas para que sea posible su apertura. Estas pistas cobran especial relevancia sobre todo en terrenos con mucha pendiente donde es frecuente la apertura de pistas en "zeta" sobre las cuales circula una máquina cosechadora que procesa la madera apeada por los motoserristas sobre las pistas o en sus inmediaciones (sistema semimecanizado Euca_01, ver punto 3.3) (figura CPIII.3).

Figura CPII.3. Aspecto sobre ortofoto del trazado de pistas forestales en "zeta" en San Tirso de Abres (Asturias) (izquierda) y detalle sobre el terreno (derecha). Fotos. SigPac y M. Barrio Anta.

2.2. Condicionantes orográficas del terreno

La orografía de los montes de eucalipto en Galicia y la Cornisa Cantábrica es bastante compleja y condiciona de forma importante la ejecución de los aprovechamientos madereros y la posibilidad de su mecanización. Las pendientes elevadas dificultan enormemente las labores manuales e impiden o condicionan mucho la mecanización. Así, en buenas condiciones de adherencia (suelos secos), la pendiente máxima para circular por el monte empleando máquinas cosechadoras de ruedas es de un 30% y de un 40% para el caso de máquinas con bases tractoras de cadenas, siempre trabajando en máxima pendiente. En el caso de pendientes mayores o en condiciones de mala adherencia, los aprovechamientos se llevan a cabo mediante el apeo manual con motoserrista y el procesado desde pista con cosechadora forestal de base tractora de ruedas o cadenas.

El efecto de la pendiente se ve muy agravado por la disposición de las parcelas de aprovechamiento en las laderas. Es muy frecuente que las parcelas procedan de divisiones de herencias en fajas en el sentido de la pendiente desde la cima al valle (figuras CPII.1 y CPII.3). Cuando se aprovecha una sola de estas parcelas (algunas veces de unos pocos metros de anchura), el tractor autocargador ha de trabajar por la línea de máxima pendiente para no invadir propiedades colindantes. Pendientes bajas-medias se convierten entonces en problemas difícilmente superables (Ambrosio et al. 2001).

2.3. Condiciones climáticas y de humedad del terreno

El clima dominante en Galicia y la Cornisa Cantábrica es atlántico y está caracterizado por precipitaciones abundantes durante gran parte del año. En el caso de las plantaciones de eucalipto, la lluvia y el viento serán los factores climáticos que condicionen en mayor medida los rendimientos, costes y la seguridad de los trabajos (Ambrosio et al. 2001). El apeo manual con motosierra se debe suspender los días de lluvia muy intensa por los peligros que conlleva el propio desplazamiento por el monte. El fuerte viento, sobre todo en rachas, es particularmente problemático para las operaciones manuales ya que somete al árbol a fuerzas y tensiones, puede cambiar la dirección de caída, provocar el rajado del tronco desde las entalladuras de corta; y, los operarios pueden ser alcanzados por caídas de árboles próximos. Por ello, estos días deben suspenderse las operaciones manuales de apeo y procesado de los árboles. Sin embargo, la mecanización total del apeo y procesado de la madera (mediante el uso de la cosechadora forestal o taladora-apiladora + procesadora) permite realizar estos trabajos de forma segura incluso en días de lluvia y vientos de intensidad considerable (Bravo y Ortuzar 2016).

El clima lluvioso también condiciona bastante las operaciones mecanizadas de desembosque ya que el desplazamiento de las máquinas está restringido por suelos excesivamente húmedos que provocan falta de adherencia e incrementa los impactos ambientales con roderas profundas en las calles o pistas de desembosque (figura CPII.4).

Figura CPII.4. Detalle del impacto ambiental de los aprovechamientos madereros en zonas con alta humedad en los suelos. Los autocargadores provocan grandes roderas y las ruedas tienen importantes problemas de adherencia (Fotos: E. García Coya).

Las condiciones climáticas también influyen la elección de la época más adecuada para realizar el aprovechamiento cuando se utiliza el método de beneficio de monte bajo. Así, en Galicia y la Cornisa Cantábrica, la corta puede realizarse en cualquier época del año con excepción de los meses de noviembre a febrero, en aquellos montes situados en zonas con inviernos muy fríos o en zonas muy encharcables, o en julio y agosto, en montes situados en zonas con fuerte sequía estival y suelo somero ya que generan un peor rebrote e, incluso, ocasionan que bastantes yemas aborten (Ruiz et al. 2008).

2.4. Exigencias de la industria transformadora

Industria de celulosa: esta industria es la principal consumidora de la madera de eucalipto y requiere que los proveedores suministren madera corta (trozas de 2-2,5 m de longitud). Sin embargo, algunas industrias como la planta de Ence en Navia (Asturias) poseen una línea de procesado de madera larga (trozas de 5 m de longitud) para madera propia de la papelera (compras de madera en pie o montes de su patrimonio), lo que permite mejorar los rendimientos de la fase de procesado, saca y transporte a fábrica. Hasta hace unas décadas la madera de eucalipto se recepcionaba sin corteza en fábrica, por lo que era necesario su descortezado en monte. La operación se realizaba manualmente mediante el empleo de hachas o cuchillos descortezadores y debía realizarse inmediatamente después del apeo ya que la corteza se adhiere más a la madera a medida que el árbol se va secando (González Río et al. 1998). Actualmente el descortezado no suele incluirse como una operación más en el aprovechamiento maderero de eucalipto ya que el principal destino de la madera es la fabricación de pasta de celulosa, y esta operación se lleva a cabo en los propios parques de madera de las fábricas, por ser más económico y porque la corteza se utiliza como fuente de energía en las calderas de biomasa (Ruiz et al. 2008). Sin embargo, las fábricas suelen disponer de bastante corteza procedente de aprovechamientos madereros propios, por lo que recepcionan ambos tipos de madera.

El suministro de madera con corteza permite incrementar el rendimiento del procesado (no se hace circular la madera tantas veces por los rodillos de la procesadora) y además disminuyen los restos de corta que se dejan en monte. Por su parte el suministro de madera sin corteza presenta las siguientes ventajas para el proveedor: i) incrementa muy poco el coste del procesado ya que se descorteza de forma simultánea al desramado y tronzado como se explicará a continuación y ii) permite mejorar la rentabilidad de la saca y el transporte al llevar más cantidad de madera a fábrica en los camiones para el mismo volumen de carga, por lo que se disminuye el coste de estas operaciones posteriores al procesado. Por su parte, las fabricas suelen pagar varios euros más la tonelada de madera sin corteza; por ello, la decisión de descortezar o no en monte depende de cada rematante o de los acuerdos que este alcance con la propiedad.

Figura CPII.5. Descortezado simultáneo de trozas de eucalipto mediante el uso de cabezales cosechadores con rodillos dotados de cuchillas cortantes oblicuas que posibilitan el giro del fuste a la vez que avanza. Detalle de los rodillos de avance dotados de cuchillas cortantes inclinadas (derecha) (Fotos: F. Veiga Aguiar).

Actualmente, cuando se realiza en monte, el descortezado se hace de forma mecanizada por medio de los cabezales de las cosechadoras forestales. El descortezado se lleva a cabo simultáneamente al desramado regulando la presión de los rodillos de avance de los cabezales que a su vez van dotados con cuchillas cortantes con una inclinación de 30-45º que giran el árbol a la vez que provocan su avance, permitiendo de esta forma el descortezado de toda la sección del fuste (figura CPII.5). Para conseguir el descortezado total del fuste son necesarias al menos dos o tres vueltas completas de alimentación a gran velocidad desde la coz hasta la punta del fuste (Bravo y Ortuzar 2012).

Industria de aserrado y desenrollo: aunque es minoritario, también se destina madera de eucalipto para aserrado y desenrollo. En este caso la madera debe proceder de rodales de mayor edad (20-30 años o más), preferiblemente que hayan sido aclarados, aunque lo frecuente es que proceda de pies o rodales aislados en plantaciones de menor edad y distinta densidad de plantación y que se destinan a este uso al pagarse más que por la madera destinada a pasta de celulosa. Las dimensiones de los árboles obligan a llevar a cabo su procesado de forma manual. Los aserraderos en este caso recepcionan trozas con longitudes de entre 2 y 2,5 m y diámetros de 40-50 cm.

Tradicionalmente en Galicia, para eliminar tensiones de crecimiento que dificultan su aprovechamiento como madera de sierra, se ha procedido al anillado manual de los ejemplares a apear para producir su muerte en pie, disminuyendo de esta forma las tensiones de crecimiento en la madera y dificultando o impidiendo el rebrote posterior tras el apeo (Serrada et al. 2021).

2.5. Condicionantes selvícolas

Las especies forestales que forman las masas, sus características dasométricas (densidad, estructura, tamaño medio del arbolado, etc.) y la gestión selvícola habitual (cortas intermedias o cortas finales) también condicionan las soluciones que se van a adoptar a la hora de realizar los aprovechamientos madereros. Así, en el caso del género eucalipto, las especies habituales tienden a formar fustes de elevada rectitud que permiten la mecanización del procesado con cosechadora. Muchos montes de especies del género *Quercus*, o algunos del género *Pinus*, no pueden ser procesados de forma mecanizada, aun en condiciones muy favorables de pendiente, debido a la tortuosidad de sus troncos.

Por otro lado, la ausencia de cortas intermedias en estas plantaciones hace que siempre estemos ante cortas finales, con volúmenes de corta por hectárea elevados. Esta particularidad favorece, desde el punto de vista económico, la mecanización del aprovechamiento, siempre y cuando se disponga de una superficie de corta suficiente. Este mínimo de corta "suficiente" viene determinado por los costes del desplazamiento de la maquinaria hasta el monte. Estos costes empiezan a ser altos y así desaconsejan la mecanización del aprovechamiento, para operaciones por debajo de 1,5-2 hectáreas. Téngase en cuenta que estos costes se dividirán por el volumen total de madera a aprovechar, y por tanto, a un menor volumen de aprovechamiento, mayor repercusión de los costes del traslado de las máquinas en los costes totales del aprovechamiento.

Por otra parte, la especie de eucalipto más extendida (*Eucalyptus globulus*) presenta un buen rebrote de cepa (figura CPII.6), por lo que los montes se aprovechan por el método de beneficio de monte bajo. Existen numerosos montes de este tipo con ausencia de selección de brotes, que da lugar a masas con varios pies de pequeño diámetro sobre la misma cepa, aspecto que disminuye mucho la productividad de las operaciones de apeo y procesado manual.

Ante estas circunstancias selvícolas, si las condiciones orográficas lo permiten, el sistema de aprovechamiento maderero más eficiente consistiría en el empleo de una taladora-apiladora de disco para el apeo seguido de una cosechadora para el procesado. Las taladoras-apiladoras incorporan brazos acumuladores que permiten talar todos los pies de la cepa en el mismo ciclo de la grúa, aumentando mucho la productividad del apeo. El uso de taladoras-apiladoras con sistemas de corte de cuchillas es menos recomendable desde este punto de vista ya que generan un peor rebrote (Serrada et al. 2021).

No obstante, existen situaciones en las que puede no ser deseable el rebrote tras la corta, por lo que el apeo con cizalla no presentaría problemas. Además, para dificultar aún más el rebrote se ha propuesto lo siguiente (Serrada et al. 2021): i) anillado manual en pie de los ejemplares a

apear semanas o incluso meses antes de la corta y ii) el motoserrista puede descortezar la parte baja del fuste antes del apeo, o inmediatamente tras el mismo, y producir cortes en los bordes del tocón, cuando se lleve a cabo el apeo con motosierra.

Figura CPII.6. Rebrote de las cepas de eucalipto tras la corta (izquierda) y masa adulta de eucalipto con varios pies por cepa (derecha) (Fotos: M. Barrio Anta y M. López Vázquez).

3. Planificación del aprovechamiento

La planificación consiste en organizar espacial y temporalmente los distintos medios y equipos que se van a utilizar teniendo en cuenta los objetivos del aprovechamiento y las restricciones y condicionantes existentes. Básicamente se trata de decidir qué hacer, cómo y quién lo hace y en que lugares. También es parte importante de esta planificación el análisis de la red de pistas forestales (necesidad de nuevas aperturas o mejoras de las existentes) y la ubicación de los cargaderos necesarios.

3.1. Operaciones previas. Red de vías y cargaderos

Existen tres puntos claves que se deben evaluar antes de comenzar los trabajos de aprovechamiento, como parte del proceso de planificación:

1. Análisis de las posibilidades de apeo:

- Se puede realizar el apeo mecanizado: esto significará que toda la pendiente del monte será baja o moderada para permitir el tránsito por el monte de la maquinaria, por lo que no harán falta más vías que las ya existentes o incluso en algunos casos ninguna más que la vía que lleva al cargadero. La maquinaria de apeo, procesado y desembosque podrá circular por toda la superficie del monte (pendientes inferiores al 30-40% y baja escabrosidad del terreno).

- No se puede realizar apeo mecanizado: la causa principal suele ser la alta pendiente o escabrosidad de la finca. En este caso se debe conseguir una red de vías suficiente para que la maquinaria (procesado y/o saca) llegue a toda la madera del monte, teniendo en cuenta que será el motoserrista el que, en la propia operación de apeo manual, oriente la caída de los árboles hacia estas pistas. Por tanto, es muy importante en el cálculo de necesidad de vías (densidad de vías) que se tenga en cuenta la pendiente existente y la altura media de los árboles que componen el monte. No podrá haber pistas separadas entre sí una distancia mayor de dos veces la altura media de los árboles, asegurando así que todos los pies serán recogidos (bien para su procesado o bien para su saca) por las grúas de la maquinaria a utilizar, que exclusivamente rodará por dichas pistas, al no poder circular por toda la superficie del monte.

2. Análisis de las posibilidades de desembosque.

Las vías de saca deben recorrer toda la superficie del monte, de forma que toda la madera pueda ir desde las superficies de corta hasta la zona de cargadero. Es posible que muchas de ellas se tengan que abrir (trochas de saca) o se tengan que preparar y acondicionar para el paso de la maquinaria (pistas principales o secundarias del monte). Es muy importante tener en cuenta la climatología en la época de corta y el material de base de las pistas preexistentes que debe soportar el paso de los tractores cargados de madera. En ocasiones puede ser recomendable la aportación de material de base para mejorar el estado de estas (figura CPII.7).

3. Análisis de la posibilidad de apilado en cargadero.

Los cargaderos son espacios físicos necesarios para apilar la madera desemboscada por las vías de saca en espera a su posterior transporte a destino. Es muy importante que los cargaderos tengan suficiente extensión para el acceso y las maniobras de los camiones de transporte. En numerosas ocasiones pueden encontrarse incluso fuera de la parcela a aprovechar, por lo que habrá que solicitar los permisos correspondientes a los propietarios de los terrenos dónde finalmente se establezca el cargadero (figura CPII.7).

3.2. Métodos de aprovechamiento

El método de aprovechamiento se refiere al grado de transformación que se realiza del árbol a pie de tocón. Así, el método principal de aprovechamiento de las masas de eucalipto en Galicia y la Cornisa Cantábrica es el de madera corta. En este método el árbol, una vez apeado, se desrama y se descopa y se divide en trozas de 2-2,5 m de longitud ya que estas son las dimensiones que demandan de forma mayoritaria las industrias consumidoras. No obstante, también se utiliza el método de madera larga (trozas mayores de 2,5 m de longitud, pero sin llegar a ser fuste entero) debido a que alguna industria también permite recepcionar trozas de 5 m de longitud.

Figura CPII.7. Apertura de pista para el acceso del autocargador (izquierda) y ubicación de un cargadero a borde de pista (Fotos: Maderas Maradona (izquierda) y E. García Coya (derecha)).

3.3. Sistemas de aprovechamiento

Los sistemas de aprovechamiento maderero se definen por el conjunto de medios, equipos y máquinas empleados para aprovechar un área determinada. Así, considerando que el desembosque en las plantaciones de eucalipto se lleva a cabo en la gran mayoría de los casos con autocargador forestal, los sistemas de aprovechamiento empleados se pueden definir atendiendo al grado de mecanización del apeo y procesado de la madera. De acuerdo con esta premisa, en el aprovechamiento de los montes de eucalipto de Galicia y la Cornisa Cantábrica se utilizan los siguientes sistemas de aprovechamiento:

1. *Sistema manual (Euca_00)*: tanto el apeo, como el procesado de la madera (desramado y tronzado) se hacen de forma manual con motosierra. Este sistema se aplica normalmente con el método de madera corta, ya que los operarios deben manejar manualmente las trozas y si estas son largas su manejo se complica mucho.

2. *Sistema semimecanizado (Euca_01)*: el apeo se realiza de forma manual con motosierra, pero el procesado del árbol se lleva a cabo con procesadora forestal. Se pueden distinguir dos variantes, una donde la cosechadora no entra al monte y sólo circula por pista de aprovechamiento y otra donde la máquina circula por el monte porque las condiciones de pendiente y escabrosidad lo permiten.

3. *Sistema completamente mecanizado con una máquina (Euca_02)*: el apeo del árbol y posterior procesado se realiza con máquina cosechadora. Evidentemente este modelo sólo es válido para las condiciones de bajas pendientes y escasa escabrosidad del terreno.

4. *Sistema completamente mecanizado con dos máquinas (Euca_03)*: el apeo del árbol se realiza con taladora-apiladora y el procesado posterior de este con cosechadora. Este modelo también es válido sólo para las condiciones de bajas pendientes y escasa escabrosidad del terreno.

3.3.1. Sistema manual (Euca_00)

Medios o equipos empleados

Los equipos de apeo están formados por cuadrillas de entre 2 y 4 motoserristas (podría haber más en casos especiales, como el caso de montes muy extensos no mecanizables) (figura CPII.8) y un tractor forestal autocargador para llevar a cabo el desembosque.

Figura CPII.8. Apeo manual de eucaliptos por cuadrillas de motoserristas (Fotos: M. López Vázquez).

Para llevar a cabo el desembosque se utilizan fundamentalmente tractores autocargadores de distintos tamaños y que pueden presentar la caja del semichasis trasero tanto adaptada a la carga longitudinal como a la carga transversal (figura CPII.9). En función de esto se colocarán las planchas laterales o estaqueros en la caja del autocargador. También se pueden emplear dumpers de obra pública o tractores agrícolas, ambos con modificaciones para realizar trabajo de desembosque de madera.

Figura CPII.9. Autocargadores de 8 ruedas motrices de alta capacidad. A la izquierda, desembosque de madera corta en carga transversal en modelo asturiano Dingo. A la derecha, desembosque de madera larga en carga longitudinal en modelo finlandés Ponsee (Fotos: M. Barrio Anta).

Procedimiento operativo

Una vez trazada la red de pistas necesaria, los motoserristas comienzan a realizar el apeo dirigido de los árboles de forma que se faciliten la operación posterior de procesado y las trozas madera queden parcialmente reunidas. Ello se puede conseguir por medio de sistemas de apeo planificado como el método de los bancos o zonas de madera. Por razones de seguridad es importante que los motoserristas estén al menos separados 2,5 veces la altura media del arbolado, para evitar alcances. Así mismo deben respetar la distancia de seguridad con respecto a la máquina de saca, indicada normalmente por el manual de operación de esta. También deben evitar el trabajo en la misma línea de pendiente por razones de seguridad. Posteriormente el autocargador realizará la saca, manteniendo un decalaje en tiempo, para maximizar el rendimiento del trabajo.

Rendimientos

Los equipos a usar en este sistema de aprovechamiento consisten en parejas de motoserristas (o al menos un motoserrista y un peón de apoyo) y un autocargador para el desembosque. Trabajando con un equipo experimentado, consistente en motoserrista y peón de apoyo, el rendimiento puede oscilar entre las 15 y las 30 toneladas de madera al día, dependiendo del volumen unitario, altura de arbolado, etc.

Recomendaciones de uso

Como ya se ha comentado en el punto 1, actualmente las empresas siempre que sea posible, tratan de mecanizar al máximo las operaciones madereras. Por tanto, el sistema manual sólo se aplicará en aquellas áreas o zonas donde las pendientes sean muy altas (por encima del 30-40%) y/o cuando el terreno sea muy escabroso, o cuando se aprovechen lotes de madera de pequeño volumen (por debajo de las 150-200 toneladas totales).

3.3.2. Sistema semimecanizado (Euca_01)

Medios o equipos empleados

Los equipos a usar en este sistema de aprovechamiento constan de uno o dos motoserristas para el apeo, una cosechadora forestal para el procesado y un autocargador para el desembosque.

La cosechadora forestal está formada por un cabezal multifunción que va habitualmente instalado sobre la punta de grúa de una máquina retroexcavadora de cadenas de obra civil adaptada para los trabajos forestales (figura CPII.10). Las principales adaptaciones a las que se somete esta máquina son: i) instalación de protectores en la cabina y los laterales para proteger la máquina y al conductor de golpes y proyecciones procedentes del procesado de la madera, ii)

adecuación de la hidráulica de la máquina para satisfacer la alta demanda de caudal que precisa el cabezal durante el trabajo, iii) instalación de radiador adicional para el enfriado del aceite, iv) aumento de la altura de las tejas de las cadenas para aumentar la adherencia al terreno, y v) instalación de un cabrestante en el brazo de elevación de la grúa.

Figura CPIII.10. Máquina retroexcavadora de cadenas adaptada para el trabajo forestal y dotada de cabezal cosechador en punta de grúa (izquierda). A la derecha, motoserrista dotado de motosierra y equipo de protección individual (Fotos: M. Barrio Anta).

Aunque existen en el mercado maquinas cosechadores propiamente forestales con sistema de rodadura tanto de ruedas como de cadenas, la adaptación de retroexcavadoras de obra civil es la opción más utilizada en los montes de eucalipto de orografías difíciles. Las razones de ello son las siguientes:

- Su mayor estabilidad y capacidad de tracción en terrenos blandos.

- Su menor radio de giro en comparación con las máquinas de ruedas, ya que el giro en estas se consigue por bloqueo de las cadenas de un lado.

- Las máquinas específicas propiamente forestales suelen tener unas dimensiones mayores, precisan anchos de vías superiores a los habituales en Galicia y la Cornisa Cantábrica, y son bastante más caras que las retroexcavadoras dotadas de cabezal de cosechado (hasta 30% más caras).

- Son máquinas que permiten el trabajo con giro continuo por lo que pueden agarrar el árbol por delante, desramarlo de costado y tronzarlo y apilarlo por la parte trasera sin perder estabilidad.

- Su versatilidad, ya que esta máquina previamente a iniciar las labores de procesado de la madera suele trabajar en la apertura de la red de pistas de aprovechamiento, sin más que

sustituir el cabezal de cosechado en punta de grúa por su cazo habitual. Adicionalmente también puede incorporar un cabezal talador-apilador para ejecutar el sistema de aprovechamiento completamente mecanizado Euca_03.

- Permite aproximar árboles fuera del alcance de la grúa gracias al uso de cabrestantes (con 50-70 m de cable de acero de 12-14 mm) que suelen llevar instalado en el brazo de elevación de la grúa.

El desembosque se lleva a cabo por medio de tractores autocargadores de distintos tamaños, como los mostrados en la figura CPII.9, aunque también se utilizan tractores agrícolas adaptados y dumpers de obra modificados como autocargadores de madera (Bravo y Ortuzar 2012). Cuando se desembosca madera descortezada (muy resbaladiza) suele realizarse carga transversal de trozas sobre caja de autocargador modificada con balderas de chapa laterales, para evitar que las trozas de eucalipto se deslicen por el costado (figura CPIII.11).

Figura CPII.11. Autocargador Logset con caja modificada y adaptada a carga transversal de trozas de eucalipto descortezadas (Foto: Maderas Paco Cacharolo).

Dentro de este sistema de aprovechamiento se pueden distinguir dos variantes según si la cosechadora forestal circula únicamente por pistas forestales o si esta puede circular por todo el monte.

Procesado con cabezal procesador sobre retroexcavadora

3.3.2.1 Cosechadora circula únicamente por pistas forestales

Procedimiento operativo

Una vez que se ha trazado la red de pistas necesaria, el motoserrista comienza el apeo dirigido de los eucaliptos, empezando normalmente de abajo hacia arriba en la ladera. El motoserrista

tirará los árboles en aquella dirección que facilite el trabajo posterior de la cosechadora (puede ser de aguas arriba hacia aguas abajo en máxima pendiente, oblicuo e incluso paralelo a las curvas de nivel) (1 en figura CPII.12). En el caso de apearlo en máxima pendiente o en dirección oblicua, existe cierta reunión de los árboles debido al deslizamiento de estos sobre el terreno. Como ya se ha comentado, la separación entre pistas debe ser como máximo el doble de la altura media del arbolado para que el brazo de la cosechadora pueda alcanzar todos los árboles para su posterior procesado.

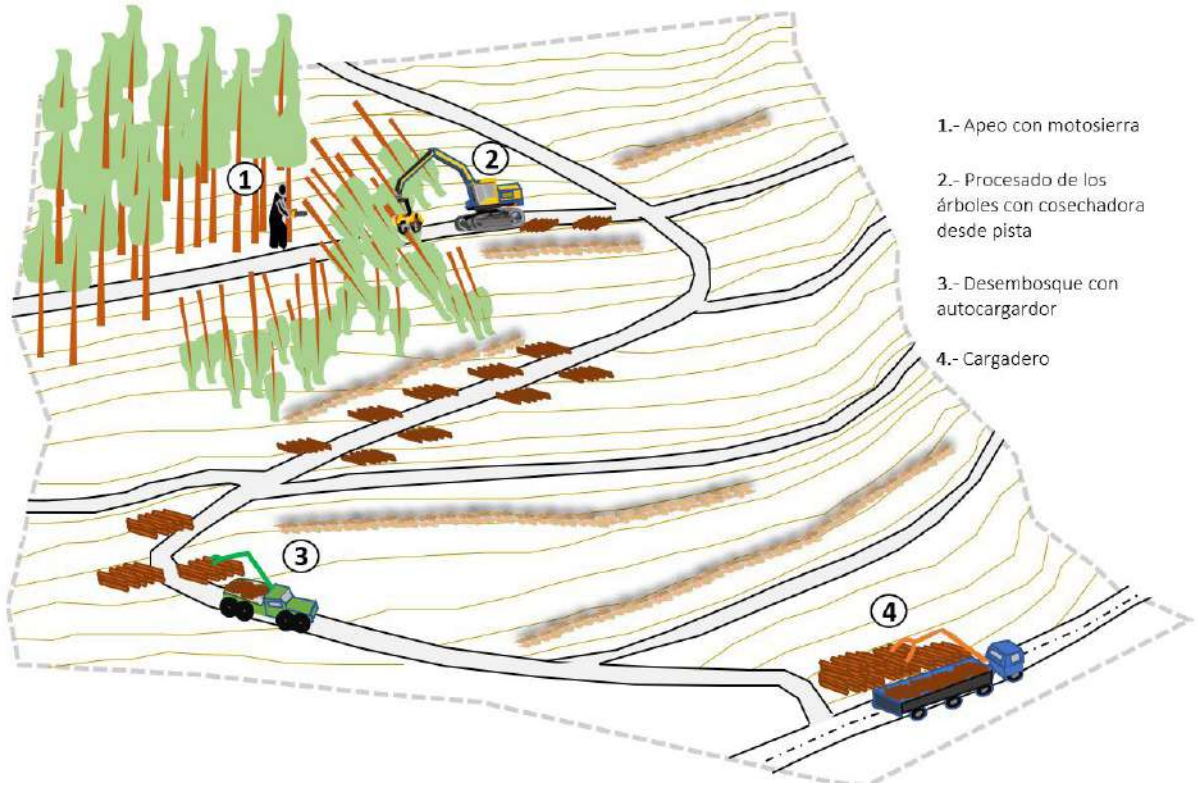


Figura CPII.12. Esquema de la ejecución del sistema de aprovechamiento semimecanizado Euca_01 con máquinas circulando únicamente por pistas forestales (Adaptado de Vignote et al. 2001).

Al cabo de uno o dos días como mínimo debe entrar en escena la cosechadora forestal que va circulando por las pistas abiertas, estaciona y comienza a extender la grúa para agarrar los árboles apeados (2 en figura CPII.12). Estos serán arrastrados hasta el borde de la pista donde comienza a procesarlos dejando las trozas apiladas, siempre que la pendiente lo permita, al borde de la pista y los restos de ramas y/o corteza en el terraplén.

Muchas veces, debido a las fuertes pendientes, las pistas son bastante estrechas y el apilado se realiza detrás de la máquina en la propia pista, impidiendo el retroceso de esta (figura CPII.13). Por ello, es muy importante que la máquina cosechadora sea de giro continuo, lo que permite coger el árbol por delante, desramarlo y/o descortezarlo por el costado y troncarlo/apilarlo por detrás sin perder la estabilidad. En estas complicadas condiciones, la ejecución del desramado y sobre todo el descortezado de los fustes, exigen que el fuste entero de eucalipto sea manipulado en suspensión por el cabezal de la procesadora, que realiza

grandes movimientos de peso sobre el terraplén de la pista que pueden provocar movimientos en falso y el vuelco de la máquina. Para dar una idea más clara, durante el descortezado se mueven hacia delante y hacia atrás a gran velocidad árboles de 20-30 metros de longitud y de 300-1.000 kg de peso, con cambios de sentido muy rápidos y bruscos y todo ello con el costado de la máquina sobre un terreno con fuerte desnivel (Bravo y Ortuzar 2012). En estas situaciones la gran estabilidad de las máquinas retroexcavadoras es fundamental para evitar vuelcos.

Posteriormente al procesado, y manteniendo un cierto decalaje en tiempo, comienza la fase de desembosque con tractor forestal autocargador que va a circular por las mismas pistas abiertas o acondicionadas para la cosechadora forestal (3 en figura CPII.12).

En ocasiones, la configuración del terreno, o la existencia de pequeños barrancos, no permite a la máquina cosechadora llegar con su pluma a todos los árboles apeados por el motoserrista, por lo que un ayudante o el propio motoserrista despliega el cable del cabrestante incorporado en el brazo de la grúa y engancha el o los árboles implicados. A continuación, el maquinista de la cosechadora lo reúne hasta un punto donde ya puede ser alcanzado por el cabezal de cosechado de la máquina.

Figura CPII.13. Esquema de apeo manual con motosierra y procesado desde pista con cosechadora y apilado en la misma pista debido a la elevada pendiente y escasa anchura de la vía (Adaptado de Tolosana et al. 2000, izquierda, foto derecha: J. Gómez Ormaza).

Rendimientos

Los equipos que se suelen usar en este sistema de aprovechamiento constan de uno o dos motoserristas para realizar el apeo, una cosechadora forestal para el procesado y un autocargador para el desembosque. El rendimiento es bastante variable y oscila entre las 50 y las 125 toneladas al día en función de la orografía y las características de la masa (volumen por ha, volumen unitario medio, altura del arbolado, etc.).

Recomendaciones de uso

Se trata de un método que se va a utilizar en terrenos con bastante pendiente (por encima del 30-40%) y/o alta escabrosidad, donde la circulación de la maquinaria por el monte es peligrosa o imposible. Para ello es necesario proceder a abrir pistas forestales con el típico trazado en "zeta" que permite cubrir la zona a cortar de forma más o menos uniforme (figuras CPII.12 y 14). Se trata, por tanto, de un trabajo donde el procesado de madera se realiza desde una pista forestal con menor pendiente y en condiciones de mayor estabilidad. En estas circunstancias siempre es más estable y versátil disponer de una procesadora forestal montada sobre una retroexcavadora de obra civil en comparación con la cosechadora propiamente forestal de cadenas o de ruedas.

Figura CPII.14. Detalles del trazado de las pistas forestales en "zeta" y apeo dirigido de los árboles con motosierra con reunión parcial por deslizamiento. Posteriormente la cosechadora circulará por las pistas e irá procesando en ellas los árboles al alcance de la grúa (Foto: M. Barrio Anta).

3.3.2.2 Cosechadora puede circular por todo el monte

Procedimiento operativo

Cuando la cosechadora se puede mover por el monte se suele utilizar el sistema completamente mecanizado (Euca_02) que se explicará a continuación, pero puede darse el caso de que sea rentable el apeo con medios manuales, debido a la forma del arbolado (por ejemplo chirpiales con muchos brotes por cepa que hacen inoperativo el trabajo de la procesadora a la hora de apear) o bien debido a la configuración del cabezal procesador (que no permita el giro completo para el apeo directo o que debido a la situación de la cadena de corte, deje una altura de tocón inasumible si realiza el apeo directo). En este caso el apeo se realiza manualmente.

Rendimientos

El rendimiento es variable y va a depender mucho de la masa (volumen por ha, volumen unitario, altura del arbolado, etc.) pero suele oscilar entre las 75 y las 130 toneladas al día.

Recomendaciones de uso

Superficies mecanizables por pendiente o escabrosidad, pero con masas de chirpial de difícil mecanización en cuanto al apeo, o incluso con equipos de procesado mecanizados no configurados de forma óptima para el apeo directo.

3.3.3. Sistema completamente mecanizado con una máquina (Euca_02)

En este sistema se mecaniza el apeo y procesado de la madera mediante el uso de una cosechadora forestal.

Medios o equipos empleados

Los equipos a usar en este sistema de aprovechamiento son una cosechadora forestal para el apeo y el procesado, y un autocargador para el desembosque. La cosechadora debe tener configurado su cabezal procesador específicamente para realizar ambas tareas (apeo en posición vertical y procesado en posición horizontal (figura CPII.15)).

CPII.15. Apeo y procesado de eucaliptos empleando un cabezal cosechador montado sobre retroexcavadora de obra civil adaptada (Fotos: E. García Coya).

Procedimiento operativo

La cosechadora se puede desplazar por todo el monte, fuera de pista, de forma que con su grúa y el cabezal es capaz alcanzar todos los pies del lote, desplazándose la máquina base por toda

la superficie, independientemente de si existen o no vías de apoyo y tránsito. La cosechadora hace el apeo y el procesado de cada árbol normalmente en el mismo ciclo de trabajo (figura CPII.15). Sin embargo, aunque no es habitual, el maquinista podría apear primero un grupo de árboles y procesarlos posteriormente de manera conjunta.

Rendimientos

El rendimiento de este equipo es variable y va a depender mucho de la masa (volumen por ha, volumen unitario, altura del arbolado, etc.) pero suele oscilar entre las 100 y las 175 toneladas al día.

Recomendaciones de uso

Superficies mecanizables por pendiente o escabrosidad, pero con masas de brinzal o de chirpiales correctamente seleccionados.

3.3.4. Sistema completamente mecanizado con dos máquinas (Euca_03)

A diferencia del sistema anterior, aquí se mecaniza por un lado el apeo y por otro el procesado de la madera. Se van a usar dos máquinas diferentes o dos cabezales diferentes acoplados sobre la punta de grúa de la misma máquina tractora (habitualmente retroexcavadora de obra pública adaptada).

Medios o equipos empleados

Los equipos a usar en este sistema de aprovechamiento son una taladora-apiladora (de cuchillas/cizalla o de sierra de disco), una cosechadora forestal (o un cabezal procesador) y un autocargador para el desembosque (figura CPII.16).

Figura CPII.16. Ejemplo de las tres máquinas usadas en este sistema: cosechadora forestal (en este caso cabezal procesador instalado en punta de grúa de retroexcavadora adaptada), taladora-apiladora (fondo dcho.) y autocargador (fondo izdo.) (Foto: Forestal Ría de Abres).

Taladoras-apiladoras: son máquinas de ruedas o cadenas con brazos de hasta 7-8 metros de alcance que en su punta incorporan un cabezal dotado de un disco o cuchilla de corte que permite el apeo de árboles de hasta 55 cm de diámetro. Se trata de máquinas de alta potencia (300-320 CV) y gran peso que, junto con sistemas de autonivelado de la cabina, aseguran su estabilidad sobre el terreno. Además, las taladoras-apiladoras incorporan rotación continua de la estructura superior (cabina y grúa) que le permite trabajar en el radio de alcance de la grúa sin necesidad de moverse y disponen además de brazos acumuladores y por tanto pueden talar hasta 2-3 árboles de 15-20 cm en el mismo ciclo de la grúa (Bravo y Ortuzar 2016).

Las taladoras de disco presentan un rendimiento mayor, pero necesitan máquinas de más potencia y más caudal hidráulico por lo que el coste de adquisición es hasta un 30-40% mayor que el de una taladora de cizalla. Además, requieren que el monte sea poco accidentado y que haya mucho volumen de corta para rentabilizar la inversión (figura CPII.17). Las taladoras de cizalla montadas sobre máquinas excavadoras (opción más económica) funcionan mejor que las de disco y son la mejor opción en montes accidentados o con presencia de pedregosidad, aunque presentan menor rendimiento y peor calidad de corte por lo que el rebrote posterior de las cepas no es tan bueno.

Figura CPII.17. Apeo de eucaliptos en el concejo de Colunga (Asturias) empleando una taladora-apiladora Timber Pro de cadenas con cabezal talador Quadco 22sc dotado de sierra de disco (Fotos: E. García Coya).

Las taladoras de cizalla que se usan están adaptadas a las condiciones de la Cornisa Cantábrica y se han desarrollado específicamente para maderas duras como las de eucalipto. Se trata de taladoras que poseen cizallas de corte muy resistentes y cilindros hidráulicos muy potentes. Ejemplos son las taladoras de cizalla de fabricación gallega TMF 600 de TECMAF o la serie TC de IGSA (Industrias Guerra), con estructuras reforzadas y cuchillas robustas intercambiables que, además, al no llevar electrónica en los cabezales, pueden acoplarse en distintas máquinas; o bien, sobre la máquina que lleva la taladora, posteriormente se puede acoplar un cabezal procesador (figura CPII.18). Además, en un camión góndola se puede llevar la máquina más el cabezal procesador, con lo que se ahorra en desplazamientos de maquinaria.

Figura CPII.18. Apeo de eucaliptos con taladora-apiladora de cizalla TC.550 de IGSA montada sobre retroexcavadora adaptada (izquierda). Detalle de la cizalla de corte con cuchillas intercambiables (derecha) (Fotos: Industrias Guerra, izquierda y M. Barrio Anta, derecha).

Procedimiento operativo

La taladora se va moviendo por el monte y accede con el brazo de la máquina a la base del árbol a talar, una vez talado el árbol, si este es pequeño, es sujetado por los brazos acumuladores y el cabezal se dirige al siguiente árbol que es apeado. Si los brazos acumuladores están llenos, el maquinista deposita los árboles de forma que todos vayan quedando tumbados en la misma dirección para facilitar el trabajo posterior de la procesadora (figura CPII.19).

Una vez realizado el apeo, la procesadora (o la misma máquina base con cabezal procesador) comienza el procesado de los árboles (desramado, tronzado y eventualmente descortezado si el cabezal incorpora rodillos con cuchillas descortezadoras). Las trozas van quedado reunidas en cordones para facilitar el posterior desembosque, por lo que la reunión de la madera es simultánea con el procesado (figuras CPII.16 y CPII.19). Los restos del desramado/descortezado se deben acumular en montones separados de las trozas y evitando que estén dispuestos en la línea de avance de la máquina si estos posteriormente van a ser extraídos para uso energético.

Cuando se dispone de suficiente madera procesada entra en monte el autocargador, que llevará a cabo la carga, el desembosque y la descarga de madera en cargadero accesible a camión.

Rendimientos

Un equipo de estas características puede realizar entre 100-300 toneladas diarias, según la tipología de la masa y los árboles, como en los casos anteriores. El límite lo pone la operación de procesado, que será bastante más efectiva al quedar la madera muy ordenada. Pero debemos tener en cuenta que sólo el apeo con taladora puede llegar hasta las 500 toneladas diarias, por

lo que habrá que jugar con el decalaje entre máquinas para maximizar el rendimiento y minimizar costes. Lo mismo puede pasar con el desembosque en este modelo, ya que para altos rendimientos diarios en madera procesada pueden llegar a necesitarse dos autocargadores para realizar la saca de forma óptima. En resumen, el tiempo de presencia de cada tipo de máquina en monte es la clave en este modelo, para reducir los costes operativos.

Figura CPII.19. Fotografía aérea de un aprovechamiento de eucalipto completamente mecanizado (Sistema Euca_03) utilizando una taladora-apiladora de disco, una cosechadora y dos autocargadores (Foto: Forestal Ría de Abres).

Recomendaciones de uso

El uso de sistema completamente mecanizado (apeo de los árboles con taladora y procesado con procesadora) está limitado a montes con bastante volumen de corta (para rentabilizar el alto coste horario de estas máquinas y su transporte a monte) y con buenas condiciones fisiográficas (pendientes menores de 30-40%, incluso hasta 50% si la máquina es autonivelante). En el caso de montes con pedregosidad siempre se deberán usar taladoras de cizalla por el riesgo de choque de las sierras circulares con las piedras. Siempre que sea posible, las empresas están optando cada vez más por la mecanización total del aprovechamiento de los montes de eucalipto, debido fundamentalmente a tres razones que ya fueron apuntadas: i) dificultad para encontrar motoserristas profesionales, ii) minimizar el riesgo de accidentes en monte y iii) mejorar la rentabilidad.

Multitaladora de disco en máquina TimbreproTL725

3.4. Transporte de la madera a fábrica

El transporte de la madera a fabrica se realiza en camión y representa una parte importante del coste total del aprovechamiento. Así, este puede situarse en el entorno del 25% de los costes totales de ejecución y puede llegar hasta un 50% en los casos de que la distancia a fábrica sea muy grande. Las restricciones legales que limitan el peso total de los camiones cargados de madera a 40 t, frente a otros países donde se autorizan hasta 60 t, encarecen el producto y provocan una mayor contaminación al medio ambiente, situando al mercado español de la madera en una situación de desventaja.

Medio o equipos empleados

El transporte de la madera desde el cargadero hasta la fábrica se realiza habitualmente con un camión articulado T2S3 y T3S3 (cabezas tractoras de 2 y 3 ejes y semirremolque de 3 ejes) que puede llevar una carga máxima autorizada (PMA) de 40 t, con una longitud máxima de 16,5 (18,75 m en trenes de carretera) según la normativa actual de tráfico (MITMA 2022). Teniendo en cuenta que el peso del vehículo en vacío (Tara) oscila entre 15-20 t (según carrozado), la capacidad máxima de carga por viaje oscila entre las 20 y las 25 toneladas. Los camiones suelen incorporar una grúa desacoplable en la parte trasera del semirremolque. Esta grúa, de entre 2 y 3 toneladas, se suele dejar en monte para maximizar la carga transportada ya que la descarga en fábrica se realiza con medios propios de las fábricas. La madera se carga de forma longitudinal en la plataforma empleando 2 estibas en madera larga y hasta 4 en madera corta (figura CPIII.20).

Figura CPII.20. Camión T2S3 cargado con dos estibas de madera de 5 m de longitud y grúa recogida en la parte trasera ya que se trataba del último transporte desde el monte (izquierda). Camión cargado con cuatro estibas de madera de 2,5 m de longitud (derecha) (Fotos: E. García Coya, izquierda y M. López Vázquez, derecha).

Algunas empresas, empiezan a utilizar camiones T3S2 y T3S3 (cabezas tractoras de tres ejes y semirremolques de dos o tres ejes) para el transporte combinado y con contenedor o caja móvil cerrada ISO con una longitud máxima de hasta 45 pies (13,72 m) y homologado para el transporte combinado. Estos camiones, según un reciente cambio normativo, pueden llegar

a cargar hasta 44 t en distancias máxima de transporte de hasta 150 km (BOE 2017), lo que supone un abaratamiento de los costes de transporte de hasta más de un 10%. Sin embargo, las distancias medias por operación suelen ser mayores lo que limita su práctica en el sector forestal (Laina et al. 2017).

Procedimiento operativo

El camión se coloca de forma paralela a la zona de cargadero, y maniobra y se posiciona en disposición de salir antes de realizar la carga, ya que las maniobras se realizan con mayor facilidad con el vehículo descargado. Con la grúa y la grapa se van cogiendo haces de madera de la pila que formó el autocargador en el cargadero y se van colocando en la caja del camión de la forma más ordenada posible para optimizar la carga (figura CPII.21). La carga es longitudinal y suele estar formada por cuatro estibas de madera de 2,5 m de longitud o alternativamente por dos estibas de madera de 5 metros de longitud.

Figura CPII.21. Proceso de carga directa de un camión articulado utilizando la grúa propia instalada en la parte trasera del semiremolque (izquierda). Detalle de la grúa desacoplada dejada en el monte en espera de la siguiente operación de carga (derecha) (Fotos: E. García Coya).

Rendimientos

La carga completa de un camión tráiler de capacidad para cargar 20-25 toneladas oscila entre 30 minutos y una hora, dependiendo de la habilidad del operario y la disposición de la madera en la pila del cargadero.

3.5. Operaciones posteriores complementarias

Con posterioridad a los trabajos del aprovechamiento maderero suele ser necesario llevar a cabo algunas operaciones complementarias para dar este por finalizado. Estas suelen suponer costes, aunque no tan significativos como las operaciones de aprovechamiento propiamente dichas. Entre ellas están: el arreglo de pistas, la gestión de los residuos de corta y la gestión de los tocones.

3.5.1. Arreglo de pistas

El arreglo de las vías de saca es necesario siempre que estas hayan quedado deterioradas tras el aprovechamiento. El coste no es significativo (aunque es muy variable) y normalmente se contabiliza en horas de maquinaria de obra civil necesarias, aunque se pueden acometer con alguna de las máquinas base de la operación con el cazo montado, o incluso con la pala frontal del autocargador. En otras ocasiones se requiere la contratación de maquinaria auxiliar y/o el aporte de materiales de base para reparar las vías de tierra por las que se realizó el desembosque.

3.5.2. Gestión de restos aéreos de la corta

La gestión de los restos aéreos del aprovechamiento maderero (ramas de arbolado, corteza, etc.) puede hacerse o no, dependiendo de la normativa aplicable en cada Comunidad Autónoma y/o del acuerdo que se alcance con la propiedad del monte aprovechado. Los restos pueden dejarse en el monte o extraerse para su posterior uso energético. En el primer caso pueden dejarse acordonados, amontonados o triturados por astillado para facilitar su posterior incorporación al suelo. Sin embargo, cuando el propietario pide la eliminación de restos para facilitar la posterior plantación de la finca, si el monte no es muy abrupto, es frecuente que las empresas rematantes extraigan estos del monte. Esto se debe a la gran demanda que existe en la actualidad de biomasa forestal para uso energético. Sirvan de ejemplo los siguientes datos: la central de biomasa de la biofábrica de Ence en Navia (Asturias) consume unas 340.000 toneladas al año de biomasa forestal (la mitad procede de la corteza de los eucaliptos que se convertirán en celulosa y la otra mitad de residuos forestales) y la planta de Greenalia recientemente instalada en Curtis (A Coruña) prevé un consumo de biomasa forestal de 500.000 toneladas al año (Rico 2018).

El método más empleado para el aprovechamiento de los residuos forestales es el de astillado en planta o centro logístico de biomasa. Para ello es necesario llevar los residuos a destino compactados en forma de pacas (fardos cilíndricos prensados de 2-2,5 m de largo y 300-400 kg de peso). El empacado se lleva a cabo con empacadoras forestales instaladas en el semichasis trasero de tractores autocargadores (figura CPII.22).

Debido a la dureza de la madera de eucalipto y a la frecuente presencia de arena o barro en los residuos, se usan compactadoras robustas con sistemas de corte de cuchilla y diseñadas específicamente en España para residuos de este tipo (empacadoras de fabricación asturiana Monra o Dingo) o también empacadoras similares de importación de marcas como John Deere o Valmet.

Aunque en alguna ocasión también se emplea el método de astillado de residuos en monte o cargadero, la orografía compleja de los montes del norte de España, y la mayor simplicidad logística del astillado en planta (para el desembosque y el transporte a fábrica de las pacas se emplean los mismos equipos que para la madera), hace que este sea el método más extendido de aprovechamiento. La reciente compra por parte de Greenalia de 30 empacadoras forestales para el suministro de biomasa a la planta de Curtis dan idea de la prevalencia de este método de aprovechamiento de residuos forestales.

Figura CPII.22. Proceso de empacado de residuos de eucalipto con empacadora Enfo 2000 de la firma asturiana Monra (Fotos: Monra, izquierda y M. Barrio Anta, derecha).

3.5.3. Gestión de tocones

Aunque el destoconado frecuentemente se trata en los proyectos de repoblación forestal dentro del capítulo de "eliminación de la vegetación preexistente", se puede incluir también en los aprovechamientos madereros, aunque no es habitual. El destoconado consiste en eliminar cepas envejecidas o agotadas tras sucesivos recepes (hasta 4-5 en el norte de España) en masas gestionadas por el método de beneficio de monte bajo. El objetivo es disponer el terreno con las condiciones adecuadas para una nueva plantación. También se recurre al destoconados de las cepas cuando se pretenden introducir nuevos clones procedentes de los programas de mejora genética. El destoconado puede llevarse a cabo por descuaje o extracción y por destrucción in situ (sin extracción) (figura CPII.23).

Figura CPII.23. Destoconado por destrucción in situ del tocón de eucalipto con la cizalla Tecform montada sobre retroexcavadora (izquierda). Detalle de las garras o dientes cortantes de la cizalla (derecha) (Fotos: M. Barrio Anta).

Sistema completamente mecanizado en masas de eucalipto

Cabezales Guerra para procesado y descortezado de eucalipto

Sistemas de aprovechamiento en masas de eucalipto

4. Bibliografía

Alegria C, Albuquerque T, Roque N, Gerassis S, Fernandez P, Ribeiro, MM (2020) Species ecological envelopes under climate change scenarios: A case study for the main two wood-production forest species in Portugal. Forest 11 (8): 880.

Ambrosio Y, Picos J, Valero E (2001) Condicionantes para los aprovechamientos forestales en Galicia. Tercer Congreso Forestal Español, Granada 25 al 28 de septiembre de 2001, 7 pp.

BOE (2017) Orden PRA/499/2017, de 1 de junio, por la que se modifica el anexo IX del Reglamento General de Vehículos, aprobado por el Real Decreto 2822/1998, de 23 de diciembre. BOE» núm. 131, de 2 de junio de 2017, páginas 45097 a 45101.

Bravo E, Ortuzar L (2012) Mecanización forestal en Euskadi: tala y desembosque. Revista Foresta Nº 55: 114-125.

Bravo E, Ortuzar L (2016) Las taladoras de disco: experiencias en montes gallegos. Revista Foresta Nº 65: 65-68.

Bermudez JD, Touza MC, Sanz F (2002) Manual de la madera de eucalipto blanco. Fundación o Fomento da Calidade Industrial e Desenvolvemento Tecnolóxico de Galicia, Ourense.

Gil L (2020) El eucalipto es una especie exótica, no invasora. Conferencia, Basoa Fundazioa.

González-Ríos F, Castellanos A, Fernández O, Gómez, C (1998) Manual técnico de selvicultura del eucalipto. Agrobyte, Universidad de Santiago de Compostela.

Laina R, Acuña M, Picos J (2017) Estado del arte en el transporte de madera en rollo y biomasa desde el monte a fábrica, una comparativa España-Australia. 7º Congreso Forestal Español. Plasencia, Extremadura, 26-30 de junio de 2017, 7CFE01-573.

López-Sánchez CA, Castedo-Dorado F, Cámara-Obregón A, Barrio-Anta M (2021) Distribution of *Eucalyptus globulus* Labill. in northern Spain: contemporary cover, suitable habitat and potential expansion under climate change. Forest Ecology and Management, 481, 118723.

MITMA (2022) Inspección y seguridad en el transporte. Ministerio de Transporte, Movilidad y Agenda Urbana. https://www.mitma.gob.es/transporte-terrestre/inspeccion-y-seguridad-en-el-transporte

MTERD (2021) Estadística anual de cortas de madera. Ministerio para la Transición Ecológica y el reto Demográfico. Gobierno de España. https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/estadisticas/forestal_estad_anual_cortas_madera.aspx

Rico J (2018) Galicia quiere jugar la liga de campeones de la biomasa. Energías renovables 176, 52–54.

Ruíz F, López GA, Alejano R (2008) La selvicultura del *Eucalyptus globulus*. En: Serrada R, Montero G, Reque JA (Eds.) Compendio de selvicultura aplicada en España. Pp. 117-154, INIA, Madrid.

Serrada R, Navarro R, Picos J, Gómez V, Ocaña L, Pemán J (2021) Tratamientos sobre la vegetación. En: Pemán J, Navarro RM, Prada MA, Serrada R (Eds.) Bases técnicas y ecológicas del proyecto de repoblación forestal. Tomo I, Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto demográfico, Gobierno de España, Madrid, 970 pp. https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/temas/desertificacion-restauracion/

Silva-Pando FJ, Pino-Pérez R (2016) Introduction of *Eucalyptus* in Europe. Aust. For. 79(4), 283–291.

Tolosana E, González VM, Vignote S (2000) El aprovechamiento maderero. Ediciones Mundi Prensa, 580 pp, Madrid.

Viera M, Ruiz Fernández F, Rodríguez-Soalleiro R (2016) Nutritional prescriptions for eucalyptus plantations: lessons learned from Spain. Forests 7, 84.

Vignote S, Tolosana E, Ambrosio Y, Vivar A, Blanco A, Pajares J, Martínez P, Rojo A, Torre M, Montero G (2001) Manual para la ejecución del aprovechamiento maderero en primeras claras sobre repoblaciones de coníferas. AITIM, Madrid.

Villapol D (1997) A madeira en Galicia e os aproveitamentos forestais. En: Inventario e aproveitamentos forestais, Proxecto Adapt, E.P.S. Universidade de Santiago de Compostela.

Xunta de Galicia (2018) 1ª revisión del Plan Forestal de Galicia. Documento de diagnóstico del monte y del sector forestal gallego. Consellería do Medio Rural, Xunta de Galicia,195 pp.

Caso particular III. Apeo y extracción de los productos madereros en montes aterrazados

Jesús Pemán, Marco Lorenzo, Enrique Arrechea, Javier Plaza, Hermenegildo Silveira, Uxue Roldán

1. Características de los montes aterrazados

La terraza fue un procedimiento de preparación del suelo muy frecuente desde mediados de lo años 60 hasta los años 80 del siglo pasado. Consistía en la apertura de una explanación de anchura variable, de 3 a 4 m, siguiendo las curvas de nivel. La explanación podía ser horizontal o a contrapendiente. Aunque podían realizarse en un amplio rango de pendientes, normalmente se realizaban en laderas con valores entre el 35 y 60%, dado que era la única alternativa de preparación mecanizada del suelo posible en estas condiciones. Estas pendientes generaban alturas elevadas del desmonte y del terraplén, formándose verdaderos escalones en la ladera. La separación entre ejes de las terrazas solía ser variable, oscilando entre 5 y 9 m, según los valores de la pendiente. Estas separaciones implicaban entre 1 100 y 2 000 m de terrazas ha^{-1}. Sobre la explanación se realizaba un subsolado simple, a la altura del punto neutro de la terraza, o doble, plantando en cada surco del subsolado. En el caso de doble subsolado, la plantación era al tresbolillo plantándose con una separación en cada línea de subsolado que oscilaba entre 2 y 3 m, por lo que la densidad media era de unas 2 000 plantas ha^{-1}. En las interterrazas no se plantaba.

Figura CPIII.1. Monte aterrazado, en el que se ha cortado una terraza a hecho de cada cuatro (Fotos: M. Arruej).

2. Condicionantes para la extracción de los productos madereros

A la vista de las características antes comentadas, el monte aterrazado presenta una serie de condicionantes para las operaciones de apeo y desembosque en los clareos o primeras claras que se hagan sobre la masa repoblada:

- La altura y forma de los árboles aprovechables. Condicionan el trabajo de apoyo manual a los medios mecánicos. Esto, junto la existencia del sotobosque, dificulta la extracción de la madera a la calle de trabajo. No será lo mismo realizar un trabajo sobre ejemplares de 5 m poblado de ramas que sobre pies con fustes limpios de 15 m que pueden ser alcanzados por los medios a mayor distancia de su zona de apeo.

- No supone el mismo esfuerzo, el realizar las mismas tiradas de arrastre en zonas limpias que en zonas donde los pies quedan enganchados por muchos obstáculos. Cuanto mayor sea la altura de los ejemplares aprovechables y menos sotobosque exista, más fáciles serán las tareas de aproximación a la calle de trabajo. A la hora de organizar este trabajo se tendrá en cuenta tiradas de cable de hasta 60 m. Mayores distancias supondrán realizar calles de extracción perpendiculares a nuestra calle de trabajo.

- Criterio de corta. A la hora de definir la intensidad de la corta hay que tener presente que ésta se materializará como corta a hecho en las terrazas que sirvan de calles de trabajo y posterior desembosque y con el criterio de corta establecido en el resto de las terrazas. Este aspecto hay que tenerlo en cuenta para evitar un peso de corta elevado en el caso de que las calles de trabajo estén más juntas (figura CPIII.1).

- Dirección del apeo. En el apeo manual, la dirección de la caída en las terrazas contiguas a la calle será hacia la propia calle para facilitar el desembosque del árbol. En el caso del apeo en las terrazas no contiguas se realizará en la dirección que facilite el arrastre. En el caso de apeos mecanizados, que solo se podrán realizar en las terrazas contiguas a la calle, la dirección del apeo no es relevante.

- Operaciones de procesado. Por la dificultad de realizar las operaciones de procesado sobre la terraza donde se realiza el apeo, estas se realizarán sobre la calle de trabajo y desembosque (figura CPIII.2). Estas operaciones pueden hacerse de una forma manual o mecanizada, según cual haya sido la planificación de los trabajos. Sobre la calle de trabajo se desramaría y descoparía para luego eliminar los restos sobre la misma calle. Esta eliminación, que básicamente consistiría en fragmentar los restos más grandes, se completaría con el paso constante de la maquinaría que realice el apeo, procesado y el desembosque.

- Desembosque. El desembosque de los árboles de terrazas no contiguas a la calle de trabajo forzosamente deberá realizarse por arrastre mediante cableado en línea de máxima pendiente. En algunos casos se utilizan la tracción animal para operaciones previas de reunión.

Figura CPIII.2. Calle de trabajo y desembosque donde se ha realizado una corta a hecho y se procesan los árboles de las calles contiguas. Los residuos de estas operaciones quedan sobre la calle muy fragmentados con el paso de las máquinas (Foto: J. Pemán).

- Productos a obtener. Los productos a obtener en los primeros tratamientos selvícolas que se realicen sobre las repoblaciones en terrazas como consecuencia de clareos y/o primeras claras son productos destinados normalmente a trituración o a puntales, si reúnen las condiciones de rectitud y cilindricidad del fuste (CPIII.3).

Figura CPIII.3. Tren de carretera en el que se observan los productos obtenidos en los tratamientos realizados sobre una masa artificial de *Pinus sylvestris* en el monte de utilidad pública 276 de la provincia de Guadalajara (Foto: J. Pemán).

3. Las calles o terrazas de trabajo

En este tipo de montes el diseño de las calles de trabajo y desembosque es un elemento característico y en su planificación hay que valorar: i) la selección de las calles de trabajo y desembosque, ii) la separación de las calles, iii) la unión entre las calles.

- Calles de trabajo y desembosque. Si las alturas de los desmontes y terraplenes son elevadas la principal limitación es el movimiento de los tractores forestales por la línea de máxima pendiente, por lo que las calles de desembosque deberán realizarse por curvas de nivel, utilizando la plataforma de la propia terraza. En la elección de la terraza que hará de calle se tendrá en cuenta la anchura de las terrazas, continuidad y horizontalidad del plano de trabajo. Se debe garantizar el paso de los medios mecánicos de forma segura por las calles de trabajo que vamos a utilizar. El ancho de pisada de los equipos de explotación más comunes ronda entre 2,7 a 3,1 m. Los derribos y depósitos de material suelen inclinar el plano de pendiente para fuera, además de las propias escorrentías de barrancos que suelen cortar los trazados de las terrazas, siendo necesario, muchas veces, saltar terrazas para garantizar la continuidad de los recorridos diseñados para estas explotaciones. Ante estas situaciones, con frecuencia en las zonas de mayor pendiente o de mayor altura de terrazas, es necesario garantizar la continuidad de las terrazas elegidas o al menos la corrección de las pendientes de su trazado. La selección de la terraza adecuada, junto con un buen replanteo para la distribución de las calles de trabajo, resulta más económico que intentar trasladar el esquema fijo de este tipo de actuaciones. Una forma de solapar fases de trabajo y minimizar el número de las entradas de maquinaria en estas calles se puede hacer con una retrocizalla o procesadora con hoja *bulldozer* incorporada. Un ejemplo lo constituyen las antiguas Neuson. Dado que previamente al movimiento de tierra es necesario el apeo de los pies y la retirada de ellos a zonas donde no quede enterrada la madera.

  Uno de los trabajos previos que hay que realizar sobre la calle de trabajo es su acondicionamiento y apeo de los árboles sobre la misma. Estos trabajos suelen incluir su ensanche, sobre todo cuando la separación de las terrazas es mayor para permitir los trabajos de procesado y apilado de la madera que exigen la apertura de huecos en la masa limítrofe a la calle de trabajo para hacer sitio a la madera arrastrada de toda la zona entre calles (figura CPIII. 4).

Figura CPIII.4. Calle de trabajo después del ensanche y apeo y lista para el arrastre de la madera entre calles (Foto: H. Silveira).

- Separación de las calles. Es un aspecto relevante e importante que debe definirse. Evidentemente vendrá condicionado por la intensidad de la corta y la organización de los trabajos. Esta separación, que evidentemente está condicionada por la separación de las terrazas, también lo está por la organización de los trabajos.

  Normalmente la separación de las calles oscila entre 4 y 7 terrazas según cual sean los medios utilizados en el apeo y procesado, si son exclusivamente manuales, exclusivamente mecanizados o la combinación de ambos. Esta separación también influye, como se ha comentado anteriormente, en la distribución más o menos homogénea del criterio de corta. Cuanto mayor es la separación, la intensidad final de la corta será más parecida al criterio inicial establecido.

  En este sentido, hay que tener en cuenta que, si los trabajos son mecanizados, deberá haber una calle por cada 4 terrazas y si se combinan las operaciones de apeo manuales y mecanizadas en ocasiones se han llegado a realizar una cada 7 (figura CPIII.5).

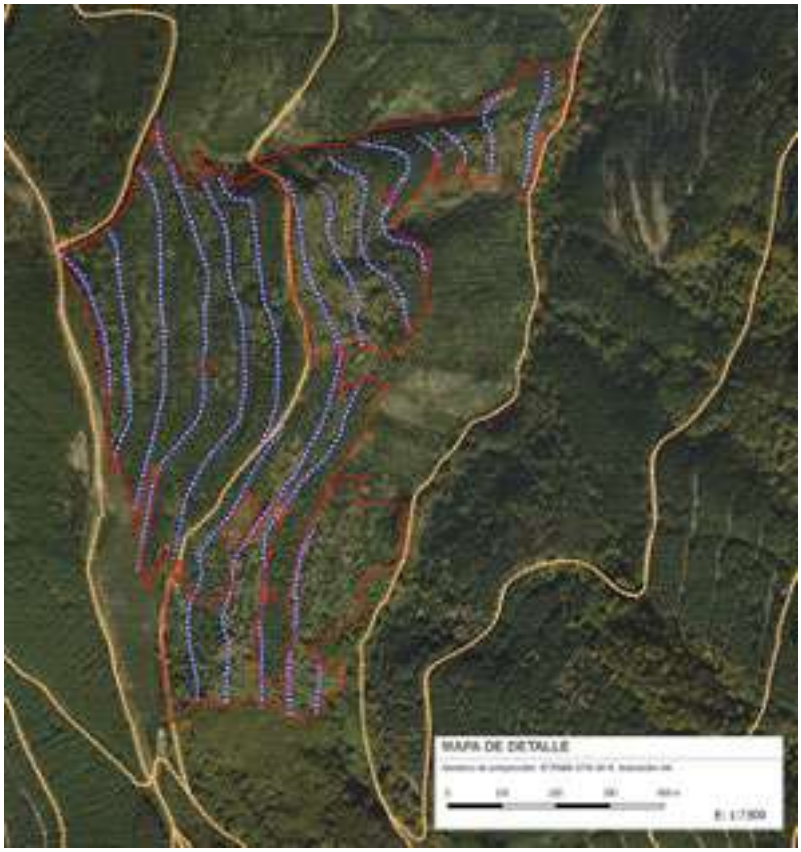


Figura CPIII.5. Esquema de la separación de las calles de desembosque en el monte de utilidad pública 78 denominado Corrales de Zamaquería en La Rioja.

- Unión de las calles de desembosque. Para la unión de las calles de desembosque se elegirán zonas de costillas o barrancos suaves de las laderas donde las terrazas son más bajas para hacer las trochas de desembosques que corten las calles de trabajo. Con esto se evitarán trayectos largos que encarezcan el desembosque de la madera a las pistas (figura CPIII.7).

CPIII.6. Detalle de un monte aterrazado en el que se ha realizado una corta a hecho de 1 de cada 4 terrazas (Foto: M. Arruej).

Figura CPIII.7. Esquema de la unión de las calles de desembosque en el monte de utilidad pública 276 de la provincia de Guadalajara (Fuente: GoogleEarth).

En los montes donde la altura de los desmontes y terraplenes no es excesiva, es frecuente observar las calles realizadas según la línea de máxima pendiente, aprovechando la versatilidad de los tractores forestales que realizan el apeo y desembosque para trasladarse por estas laderas (figura CPIII.8). En estos casos, la anchura de la calle es la que precisa el tractor para maniobrar (4 m) y la separación de las calles oscila según si se combina con algún sistema de reunión, como la tracción animal. Así, puede oscilar entre 20 m (doble de la longitud de la pluma de los tractores) y 28 m (Plaza 2021). En estos casos el tractor trabaja cuando desciende por la ladera.

CPIII.8. Monte de Utilidad Pública 101, denominado Valdemontero (Codos, Zaragoza) repoblado por terrazas, en donde las calles se establecen por la línea de máxima pendiente por la que circulan los tractores forestales para la realización de las operaciones de apeo y desembosque (Fotos: E. Arrechea).

4. Planificación de las operaciones

Básicamente, la planificación de estas operaciones ha respondido a tres sistemas de aprovechamiento: i) Apeo y procesado con cabezal procesador y desembosque con autocargador, ii) Apeo y procesado manual con desembosque mediante cableado con tractor agrícola o *skidder*, iii) Modelo mixto que combina los anteriores.

a. Apeo mecanizado con cabezal procesador y desembosque con autocargador.

   Si el método de aprovechamiento es de madera corta, condicionado por el tipo de productos que se pueden obtener debido a las primeras claras sobre este tipo de masas, el apeo y procesado se realiza de forma mecanizada sobre la terraza de trabajo con una cosechadora. Normalmente, aunque depende de la separación de las terrazas, desde la terraza cortada a hecho, la procesadora actuará sobre las terrazas contiguas, generalmente sobre dos ladera arriba y una terraza ladera abajo. El desembosque se realiza en la mayoría de las ocasiones con autocargador.

b. Apeo y procesado manual con motosierra y desembosque desde calle con tractor agrícola y cabrestante o *skidder* (CPIII.9).

Los trabajos de apeo y procesado del fuste se realizan de forma manual con motosierra. El trabajo de procesado se realiza sobre la calle de trabajo por otro motoserrista distinto al que realiza el apeo. En estos casos a veces se utiliza la tracción a sangre para realizar la reunión de los pies en la calle. Desde la calle de trabajo, mediante desembosque a cabo perdido, se realiza el desembosque mediante la utilización de un *skidder* o de un tractor agrícola.

En los casos en que la calle de trabajo precise de trabajos de acondicionamiento será preciso la intervención de un *bulldozer* o una retroexcavadora.

Figura CPIII.9. Tractor agrícola con cabrestante utilizado para el desembosque desde la calle de trabajo en un monte aterrazado (Foto: J.Pemán).

c. Modelo mixto que combina los dos anteriores.

En este esquema el apeo se realiza con procesadora desde la calle de trabajo y las contiguas y se combina con el apeo manual en las calles más alejadas. El desembosque de estos pies en este caso se realiza mediante cableado con la ayuda de un *skidder* o de un tractor agrícola. El procesado de estos pies sobre la calle de trabajo se realiza con la procesadora y el posterior desembosque a cargadero con autocargador.

Los trabajos de ensanche y apeo sobre la calle de trabajo pueden tener unos rendimientos de 800 m calle jornal^{-1} cuando la separación es de 7 calles, y algo mayor, 1 000 m calle jornal^{-1} cuando la separación es de 4 calles. Esta pérdida de rendimiento se produce por la necesidad, como se ha indicado anteriormente, de preparar huecos o zonas en la masa limítrofe donde apilar la madera.

En el caso de los trabajos de apeo y desembosque de la madera a la calle de trabajo para su procesado mecanizado se estiman necesarios al menos 2 jornales ha^{-1} del equipo compues-

to por dos motoserristas y un *skidder* en el caso de separaciones de 7 terrazas. En este caso el 50 % de la madera obtenida en este proceso necesita apoyo del equipo manual.

Figura CPIII.10. Cosechadora Ponsse sobre la calle de trabajo procesando y apilando la madera sobre la calle contigua ladera arriba (Foto: J. Pemán) (foto superior) y procesadoras Neuson y Ponsse trabajando en el apeo y procesado de los árboles (Foto: M Arruej).

Figura CPIII. 11. Skidder sobre terrazas cableando como parte del apoyo de un equipo manual cuando la separación entre las terrazas es elevada (Foto: J. Pemán).

Figura CPIII. 12. Calle de trabajo después de la elaboración y clasificación, lista para el desembosque (Foto: H. Silveira) (superior) y vista aérea de las diferentes calles para desembosque de la madera (Foto: M. Arruej).

En el caso de una separación de 4 terrazas, se precisará de 2 jornales ha^{-1} para el apeo dirigido a la zona de manejo de los medios mecánicos que elaboran la madera. A medida que exista mayor dificultad para acceder o sacar la madera de la zona intermedia entre la calle de trabajo, mayor serán los jornales de apoyo necesarios (CPIII.12). En este supuesto se tendrá en cuenta que al menos el 25% de la madera obtenida en esta fase es necesario el apoyo manual.

Caso particular IV. Extracción de los productos madereros en los montes quemados

Jesús Pemán García

1. Introducción

Tradicionalmente, una de las primeras actuaciones sobre las superficies afectadas por incendios forestales es la referida a la masa forestal afectada. Dependiendo del valor comercial que tuviera la masa y la titularidad del terreno afectado, las actuaciones que se han desarrollado sobre ellas han sido muy variadas, y han oscilado desde no actuar, dejando el árbol en pie, hasta la extracción del árbol completo (figura CPIV.1). Entre medias de estos extremos hay otras alternativas como triturar el árbol en pie, apearlo y procesarlo, pero sin desemboscarlo, utilizar todo el árbol y sus ramas para la construcción de empalizadas o albarradas, apearlo y procesarlo desemboscando los fustes y acordando los residuos de la corta por curvas de nivel para la retención de los arrastres del suelo que se pudieran producir, etc.

La justificación de estas actuaciones, según la actuación desarrollada, ha sido muy diversa. Así, el desembosque de los fustes se ha justificado por su valor comercial, su uso vecinal, el riesgo fitosanitario o para facilitar las operaciones de restauración posteriores. La trituración de residuos por la reducción del combustible muerto o su efecto mulch o la construcción de empalizadas para retener el arrastre de sólidos por la escorrentía superficial. El impacto que producen estas actuaciones ha sido ampliamente estudiado en cuanto a su efecto sobre la erosión o las comunidades de fauna y, en menor medida, sobre la futura regeneración o el efecto sobre la severidad de futuros fuegos (McIver y Starr 2001).

En la bibliografía anglosajona se utiliza la expresión de *salvage logging*, con el significado de *the removal of dead trees or trees damaged or dying because of injurious agents… to recover economic value that would otherwise be lost* [la retirada de árboles muertos o árboles dañados o moribundos por agentes nocivos… para recuperar el valor económico que de otra manera se perdería]. Aunque una traducción literal de esta voz podría ser la de cortas de recuperación o de rescate, se usa la expresión de cortas de aprovechamiento para hacer referencia a las mismas. Hay que ser conscientes que este término solo abarcaría a las actuaciones que se realizan en las masas que tienen un valor comercial.

El impacto de estas actuaciones dependerá tanto de las condiciones de la estación (pendiente, textura del suelo, régimen de precipitaciones, estructura de la masa), como de la severidad del

fuego, de la técnica de desembosque (animal, tractor de arrastre, tractor autocargador, aéreo), el tratamiento de los residuos de corta (trituración, conservación *in situ*, formación de cordones por curvas de nivel, etc.) y de la planificación del desembosque y transporte a fábrica (vías de saca, pistas forestales). Evaluar el impacto que el apeo y, sobre todo, el desembosque de la madera produce en los terrenos incendiados, en ocasiones es difícil aislar del impacto generado por el propio fuego. No obstante, antes de elegir la alternativa más conveniente es necesario analizar el impacto que las técnicas elegidas tendrán sobre: 1) el suelo y la escorrentía, 2) la vegetación, 3) el hábitat de la fauna silvestre, 4) el riesgo fitosanitario, 5) la severidad de futuros incendios y 6) el coste de las operaciones de restauración posteriores.

Figura CPIV.1. Distintas alternativas de actuación sobre la masa forestal afectada por un incendio forestal. Apeo y extracción en Petilla de Aragón (Navarra) después del incendio de la Sierra de Uncastillo (Zaragoza) en 1994 (superior izquierda), apeo y extracción de fustes y acordonado de los restos de corta en el incendio de la Granja de Escarp (Lleida) de 2003 (superior derecha), construcción de empalizadas en el incendio de Valtorres (Zaragoza) de 2008 (inferior izquierda) y no actuación en el incendio de Valtorres (inferior derecha) (Fotos: J. Pemán).

2. Condicionantes

2.1. Suelo y escorrentía

El apeo y desembosque puede influir en las propiedades fisicoquímicas y biológicas del suelo y en los procesos de degradación, aunque está muy influido por las características de la estación

(pendiente, textura del suelo) y la técnica de desembosque (tabla CPIV.1). En ocasiones, las diferencias se han debido sobre todo al fuego y no al efecto de las operaciones de extracción de los productos. La escorrentía superficial aumenta en las zonas aprovechadas lo que produce también un aumento del caudal punta.

Tabla CPIV.1. Efectos del apeo y desembosque sobre las propiedades edáficas, la escorrentía y la erosión (ns: efecto no significativo, no hay diferencias) ver referencias en McIver y Starr (2001).

Tratamientos	Variables	Resultado
Sin apeo, desembosque cable (>35%) o tractor (<25%)	Erosión	mayor pendiente, ns tratamiento
Control, desembosque, fertilización y siembra	Erosión	mayor después del fuego y desembosque hasta 8-10 veces antes del fuego (7 años después)
	Escorrentía, Erosión, Nutrientes	Escorrentía aumentó después del fuego y desembosque, la erosión aumentó hasta 10 veces más aunque el efecto del desembosque no es significativo. Pérdida de nutrientes significativa en zonas de ribera.
Desembosque árboles > 50 cm diámetro: tractor cable, tractor arrastre, aéreo, helicóptero, tractor sobre nieve	Erosión	Cable>tractor>tractor nieve >helicóptero
Sin apeo, apeo, sin fuego ni apeo	Caudal punta	Apeo y fuego (en cualquier orden) > fuego y sin fuego ni apeo.
Sin apeo, apeo, sin fuego ni apeo	Erosión	Apeo = sin apeo
	Escorrentía	ns suelo glacis y volcánico
	Materia orgánica	Apeo ligero > sin apeo
Sin apeo, apeo (pérdida área basimétrica 50-100%)	Caudal	> después del apeo y directamente proporcional al área basal extraída
	Pérdida suelo	> apeo en fuertes pendientes
Sin apeo, apeo	Biología y química suelo	Apeo < biomasa microbiana y humedad suelo
Control, desembosque (animal, skidder)	Humedad suelo	ns después del primer año
	Erosión	*Skidder* < mulas
	Materia orgánica	ns después del primer año, inicialmente menor en las zonas de *skidder*

En algunos casos, los residuos de la corta, triturados o sin triturar, han contribuido a disminuir la escorrentía superficial y retener el suelo. En un ensayo realizado en una masa de *Pinus pinaster* sobre litologías silíceas afectada por un incendio en Galicia, no se encontraron diferencias entre los diferentes tratamientos de saca realizados en la dinámica del C y N, ni en la actividad de los microorganismos del suelo (Fontúrbel Lliteras et al. 2008).

2.2. Vegetación

El efecto del apeo y desembosque sobre la respuesta de la vegetación es muy variada (tabla CPIV.2), aunque, con carácter general, es mayor en terrenos donde la actuación no ha supuesto

una alteración del suelo elevada. Normalmente, estas operaciones pueden proporcionar grandes áreas abiertas con el suelo removido que pueden ser aprovechadas por especies colonizadoras.

Tabla CPIV.2. Efectos del apeo y desembosque sobre la vegetación (ns: efecto no significativo, no hay diferencias; Fcc: fracción de cabida cubierta; G: área basimétrica) ver referencias en McIver y Starr (2001).

Tratamientos	Variables	Resultados
Control, sin cortar (32 Fcc, G = 39,4 m^2 ha^{-1}), Corta parcial (22% Fcc, G = 22,3 m^2 ha^{-1}), Corta a hecho (2% Fcc, G = 0,8 m^2 ha^{-1})	Abundancia de matorral	>en las zonas cortadas a hecho que en control <en zonas parcialmente cortadas que en control
	Abundancia regenerado arbóreo	zonas cortadas a hecho < zonas cortadas parcialmente < control
	Cobertura del suelo	Igual que en el caso de la cubierta de matorral
Control, sin cortar, aprovechada (Fcc reducida de 13,5 a 5,3%) tractor aprovechamiento sobre nieve; helicóptero en pendientes)	Biomasa vegetal	Aprovechamiento reduce herbáceas, matorrales y arbustos los primeros 2 años
	Biodiversidad	Corta decrece la riqueza de especies, aumenta especies exóticas y herbáceas
	Pino y matorral crecimiento/densidad	< en áreas cortadas
	Humedad suelo	Pequeñas diferencias
Sin cortar, arrastre cable, quemado, plantado	Cobertura matorral	>en zonas no aprovechadas tanto al 1 año con en el año 11
	Cubierta herbáceas	1 año: > en zonas no aprovechadas 11 años: > en zonas cortadas
	Helechos y herbáceas	ns
	Cubierta frondosas	ns al 1 año, mayor en los sitios cortados a los 11 años
	Cubierta coníferas	1 año ns Año 11 pequeñas diferencias
Sin cortar, arrastre cable, quemado, plantado	Cubierta gramíneas	ns al primer y año 11 después del aprovechamiento
	Cubierta matorral (*Ceanotus integerrimus*)	Más a los 11 años que al primer año
NI: sin cortar PCL: apeo, desramado, sin trituración ni desembosque SL: corta y desembosque y trituración de residuos	Supervivencia después de 3 años	> PCL (47,3% vs 38,7% en SL)
	Densidad regenerado después de 2 años	5,5 veces más en PCL que en SL, SL: se produce una pérdida del regenerado como consecuencia de la trituración de los residuos
Control, desembosque (animal, *skidder*)	Cubierta	A los años no hay diferencias significativas entre tratamientos Crecimiento *Pinus halepensis* mayor en zonas de *skidder*

Dejar los restos de corta, ramas y copa, distribuidos por la superficie pueden contribuir a mejorar las condiciones del lecho de germinación (Castro et al. 2011; Leverkus et al. 2012), al reducir la insolación, temperatura y pérdida de humedad del suelo, favoreciendo una mejora en las tasas de germinación (figura CPIV.2).

Figura CPIV.2. El abandono de los restos de la corta sobre el suelo favorece el lecho de germinación evitando el arrastre, de la semilla y creando unas condiciones favorables en cuanto a la humedad del suelo, ambiente lumínico y degradación, al evitar la formación de una costra en superficie (izquierda), al igual que contribuyen en áreas no cortadas el lecho de acículas y los microrelieves más cóncavos (derecha) (Fotos: J. Pemán).

Un aspecto de gran importancia por su efecto sobre el regenerado es el momento de realizar las operaciones. Si estas se dilatan en el tiempo y el regenerado ya se ha establecido, hay que valorar los daños que las operaciones para la extracción de los productos pueden ocasionar. Este aspecto es especialmente importante en las especies con banco de semillas aéreo, donde es esperable una regeneración después del fuego. Pierde relevancia en las germinadoras obligadas sin banco de semillas aéreo. Este aspecto, el mayor o menor banco aéreo, tiene gran importancia, dado que puede influir en segundos reclutamientos una vez que se han realizado las operaciones. Según la técnica de desembosque, el efecto que las mismas pueden producir en la compactación del suelo y posterior pérdida de productividad es variable.

2.3. *Fauna silvestre*

Las operaciones para la extracción de los productos después del fuego normalmente conllevan la extracción de un alto porcentaje de la madera muerta más gruesa, pudiendo alterar el hábitat, desde un punto de vista estructural y funcional, de la fauna silvestre. En general, estos aprovechamientos mejoran el hábitat para determinadas especies y lo deterioran para otras, provocando un cambio en la composición de especies, aunque no en la diversidad (McIver y Starr 2001; Fisher y Wilkinson 2005).

Estos cambios pueden ser más o menos acusados en función de la singularidad de los biotopos afectados y su representación en las zonas próximas no afectadas por el fuego. Estos cambios en la composición se mantienen en el tiempo a medida que va evolucionando la recuperación de la cubierta vegetal en composición, estructura y espesura. La mayor o menor presencia de madera muerta, tanto en el suelo como en pie es un aspecto relevante para determinadas especies como los roedores, insectívoros o la avifauna (Fisher y Wilkinson 2005).

Figura CPIV.3. Árboles percha dispersos sobre la superficie afectada para contribuir a cubrir las necesidades de alimentación o nidificación de la avifauna (Foto: J. Pemán).

2.4. Severidad de los incendios futuros

Aunque no hay estudios que hayan analizado el efecto de los aprovechamientos sobre la distribución por tamaños del combustible y, por tanto, su influencia en el riesgo de futuros incendios, por analogía con otros estudios sobre terrenos no afectados por el fuego, se puede esperar un incremento del riesgo a corto plazo por la presencia de una mayor cantidad de combustible fino, pero una reducción a medio plazo por la eliminación del combustible más grueso.

2.5. Coste de los trabajos de restauración

Hay pocos estudios sobre el impacto económico que el aprovechamiento de la madera quemada (apeo y desembosque) puede tener en la reducción de los costes de la posterior reforestación. La pérdida de rendimiento o la imposibilidad de realizar algún tratamiento de preparación del suelo o plantación por el mantenimiento de los árboles quemados en pie, podían ser la causa del aumento de los costes de reforestación. En el estudio de Leverkus et al. (2012), los costes estimados del apeo, desembosque y posterior reforestación (SL) resultaron un 50% y 35% superiores a los tratamientos que no actuaron sobre los árboles quemados (NI) y al que realizó el apeo sin desembosque (PCL), respectivamente.

2.6. Riesgos fitosanitarios

La selección del huésped por los insectos xilófagos es principalmente visual (tamaño, forma, color) y olfativa (componentes volátiles). La colonización después de un incendio se suele producir en dos etapas. En la primera etapa, los árboles dañados o debilitados por el fuego que aún se mantienen vivos emiten altas concentraciones de terpenos volátiles y sustancias producidas por procesos de oxidación (cairomonas) que ponen de manifiesto un reducido vigor, lo que

provoca el primer ataque de las comunidades pioneras de insectos (Lieutier 2004). Una vez establecidas, estas emiten unas feromonas de agregación que suponen una nueva colonización por insectos xilófagos secundarios (figura CPIV.4).

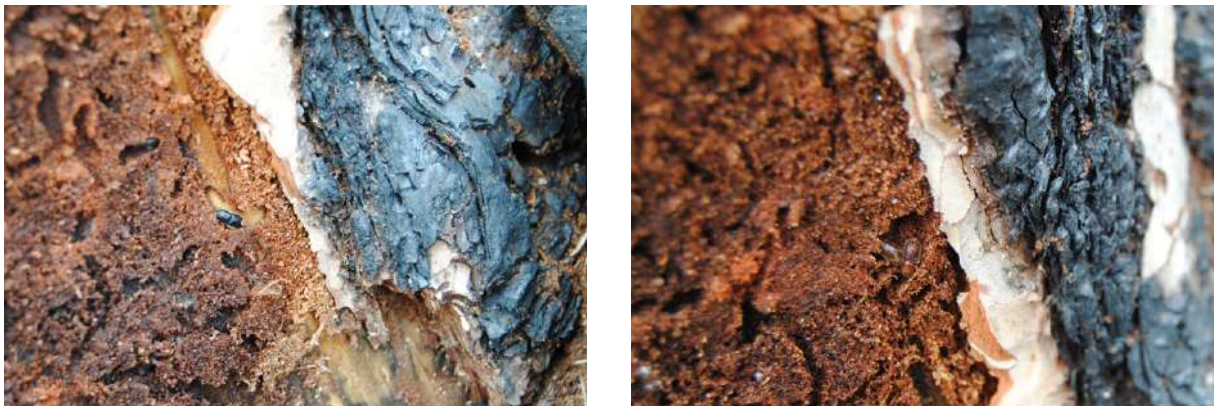


Figura CPIV.4. Orthotomicus spp. (izquierda) e Ips sexdentatus (derecha) en Pinus sylvestris afectado por un incendio forestal un año después (Fotos: J. Pemán).

La magnitud de los procesos de colonización de estos insectos después del fuego se ha relacionado con numerosos factores (Santolamazza-Carbone et al. 2011): 1) Nivel de la población de este tipo de insectos antes del fuego, 2) El nivel de estrés de la masa arbórea antes del fuego, 3) Severidad de los daños del fuego, 4) Estación de ocurrencia del fuego, 4) El momento del aprovechamiento maderero, 5) Las condiciones ambientales después del fuego, 6) Topografía del lugar. En relación con la severidad del fuego se han detectado algunos parámetros que pueden influir en los ataques de estos insectos xilófagos y en sus consecuencias con respecto a la mortalidad del arbolado (tabla CPIV.3).

Tabla CPIV3. Daños producidos por insectos en masas afectadas por incendios

Especie arbórea	Insectos	Resultados	Referencia
Pinus pinaster	1 año después del incendio: *Ips sexdentatus* (23% presencia) *Tomicus* spp. (29%) *Buprestis novenmaculata*, *Anobium punctatum*, *Pissodes castaneus*	Relación directa: altura de tronco afectada, severidad suelo Relación inversa: espesor de corteza, diámetro tronco, deshidratación cambium	(Santolamazza-Carbone et al. 2011)
Pinus pinaster	*Ips sexdentatus*	Mortalidad 1 año después del fuego todos los árboles con > 25% copa afectada	(Fernández Fernández 2006)
Pinus sylvestris	*Tomicus piniperda*	Ataques detectados en árboles con un porcentaje de copa no afectada < 30%	(Ehnstrom et al. 1995)
Pseudotsuga menziesii	*Dendroctonus pseudotsugae*	Relación directa: copa afectada Relación inversa: diámetro tronco, daños cambium	(Hood y Bentz 2007)

Las consecuencias de estos procesos de colonización no se reducen, evidentemente, a las masas afectadas por el fuego, pudiendo afectar, en mayor o menor medida según el grado de estrés que estas padezcan, a las masas no afectadas próximas al mismo. Es por ello, que algunas actuaciones muy conservadoras en relación a la extracción de los pies afectados por el fuego puede tener muy graves consecuencias años después en las masas próximas no afectadas (Otero y Serrada 2017) (figura CPIV.5).

Figura CPIV.5. Afección de *Ips sexdentatus* a una masa no afectada de *Pinus pinaster* por el incendio del Rodenal (Guadalajara) un año después. Al fondo puede verse la masa forestal afectada por el fuego (Foto: R. Serrada).

Como resumen general, Vega et al. (2013) recogen los principales impactos de estas actuaciones y sus recomendaciones (tabla CPIV.4).

Tabla CPIV.4. Principales impactos de la extracción de los productos madereros sobre superficies quemadas (Vega et al. 2013).

Impactos	Conclusiones	Recomendaciones
Erosión	En la mayoría de los casos no se ha demostrado que se produzca un incremento sustancial de la pérdida de suelo por erosión después de la corta y saca del arbolado quemado, a menos que se trate de suelos con un sustrato muy sensible (arenas, areniscas, margas, etc.), o afectados muy severamente por el fuego.	- Retrasar la corta en áreas con severidad del fuego en el suelo alta. - Evitar la corta y saca de la madera con el suelo muy húmedo para limitar su compactación. - Extraer el arbolado cortado de manera suspendida evitando los arrastres (no usar *skidders*), los vehículos pesados y el uso de cualquier vehículo de cadenas. - Limitar la apertura de nuevas vías de saca. - Triturar y esparcir los restos es, en la mayoría de los casos, la opción preferible para la protección del suelo. -Triturar *in situ* el arbolado, si la masa no tiene aprovechamiento comercial.
Peligro de incendios	No cortar el arbolado quemado implica mayor disponibilidad de combustible pesado frente a un nuevo incendio, potenciando la severidad de este último.	Cortar y triturar los restos para disminuir el peligro de incendio.

Impactos	Conclusiones	Recomendaciones
Regeneración natural de las especies arbóreas	La corta a hecho reduce la densidad del regenerado, aunque sin comprometer la regeneración natural. La serotinia y la severidad del incendio la favorecen.	- Triturar los restos de corta, antes de la germinación de nuevas plántulas, para favorecer la regeneración natural en especies serótinas, al liberar semilla de las piñas. - No retrasar demasiado la corta a hecho para evitar daños al regenerado. Sin embargo, en masas serótinas, una reducción de densidad es positiva, al evitar inversiones posteriores en aclareos
Plagas	Los árboles con la copa parcialmente chamuscada y diámetros mayores son los más susceptibles al ataque de escolítidos	Conviene iniciar la corta por los árboles que tienen parte de la copa verde y más grueso diámetro, debido a su mayor capacidad de atracción de los escolítidos.

3. Actuaciones

Las alternativas de actuación sobre la masa forestal afectada, según se ha comentado anteriormente, son diferentes, presentando en primer momento unas ventajas e inconvenientes que pueden variar según las condiciones de estación y cómo se ejecuten los trabajos (tabla CPIV.5).

Tabla CPIV.5. Ventajas e inconvenientes de algunas de las alternativas más típicas de actuación sobre las masas forestales afectadas por los incendios.

Tipo de actuación	Ventajas	Inconvenientes
No actuación	En madera sin valor comercial, el ahorro del coste de las operaciones	Riesgos fitosanitarios, mala transitabilidad en el monte, riesgo de caídas de arbolado, riesgo de erosión, concentración de combustible muerto
Corta y extracción del árbol completo	El ingreso económico consecuencia de la venta	Riesgo de erosión, daño al regenerado, pérdida de nutrientes
Corta y extracción del fuste, restos sobre la superficie	En madera con valor comercial, ingreso económico consecuencia de la venta	Daño al regenerado, riesgo de erosión variable según la ejecución de las operaciones
Corta y acordonado del fuste y copa	Disminución de la remoción del suelo. Elección de las empalizadas en los puntos naturales donde se concentra el flujo de escorrentía	Coste de las operaciones
Triturado del árbol entero en pie	Efecto *mulch* sobre el suelo, reducción riesgo de erosión	Coste de las operaciones, dependiendo del espesor posible efecto negativo para la regeneración

La elección de estas u otras alternativas y sus posibles consecuencias sobre el medio exigen responder a una serie de preguntas: ¿qué cortar?, ¿cómo cortar?, ¿cuándo cortar?, ¿cómo se hace el desembosque? o ¿cómo gestionamos los residuos?

- Qué, cómo y cuándo cortar. Sobre la primera cuestión, cabe indicar que serán los árboles afectados por el fuego, sobre todos que hayan muerto o se estime que por sus características tienen un porcentaje elevado de probabilidad de morir los años posteriores al incendio.

En este sentido, hay que tener muy presentes que el riesgo de problemas fitosanitarios se tendrá principalmente con los árboles debilitados (figura CPIV.6). Por tanto, a la hora de definir el criterio de corta habrá de tenerse muy en cuenta este aspecto. En ocasiones, se han aplicado criterios excesivamente conservadores en un principio que han obligado a intervenciones posteriores de mayor intensidad para frenar la expansión de una determinada plaga.

Figura CPIV.6. Orla de *Pinus halepensis* en la parte baja de una ladera que con el paso del tiempo los pies menos afectados van muriendo (incendio de Rocallaura (Lleida) en 2016) (izquierda) y masa de *Pinus sylvestris* afectada por el incendio de Castanesa (Huesca) en 2013, donde poco a poco van muriendo los pies afectados por el fuego (derecha) (Foto: J.Pemán).

Sobre la segunda cuestión, hay que tener en cuenta el grado de vulnerabilidad del medio a la mecanización de la operación y las condiciones de trabajo. Las operaciones de apeo manual los meses inmediatamente posteriores al incendio son muy extremas, ante la elevada carga de cenizas que tiene el suelo y la mala de calidad del aire que puede existir en determinados momentos que puede obligar a los operarios al uso de mascarillas. Por otro lado, la circulación de determinados chasis para la realización de forma mecanizada esta operación puede ser contraproducente en ciertas situaciones. El chasis de retroaraña puede ser una alternativa a valorar en las estaciones más vulnerables (figura CPIV.7).

Un aspecto muy relevante es el cuándo realizar estas operaciones (figura CPIV.8). En especies con banco de semillas aéreo el momento ideal es después de que se haya completado la diseminación y antes de la nascencia de las nuevas plántulas para evitar los posibles daños al regenerado según como se diseñen las operaciones. La idoneidad de este momento contrasta con los diferentes problemas que surgen para la ejecución de las mismas, que podemos resumir en: 1) Localización de los propietarios de los terrenos, especialmente complejo cuando son de titularidad privada, 2) Fragmentación de la propiedad, que dificulta poder disponer de terrenos con la superficie mínima necesaria para realizar las actuaciones, 3) Lentitud de los procesos administrativos de licitación de la venta de los productos en el caso de que el titular sea una entidad pública.

Figura CPIV.7. Apeo manual con motosierra (izquierda superior) y con cosechadora (derecha superior) en el incendio del Solsonès (Lleida) en 1998 y apeo mecanizado con cabezal cortador de cizalla sobre chasis de retroaraña en el incendio de Luna (Zaragoza) en 2015 (derecha) (Fotos: M. Garasa y J. Pemán).

Figura CPIV.8. Corta anterior al regenerado que no se ha visto afectado por la misma en el incendio de Tivissa (Tarragona) de 2014 (izquierda) y regenerado de *Pinus halepensis* donde los pies afectados por el incendio de Valtorres (Zaragoza) todavía no han sido extraídos (derecha) (Fotos: J. Pemán).

- Cómo extraer los productos. Sin lugar a duda es la etapa más sensible del proceso por el daño que el tipo de desembosque puede ocasionar sobre el medio. Es evidente que dependerá de las condiciones del terreno, sobre todo en lo relativo al riesgo de erosión, y el daño a la regeneración, si es que en el momento que se realizan las operaciones ya hay un

regenerado importante. Las operaciones de desembosque mediante arrastre por las líneas de máxima pendiente en terrenos de fuertes pendientes deberían evitarse siendo preferible, siempre que se pueda, el desembosque de la madera de forma suspendida. En el diseño de las pistas de desembosque y calles de arrastre habrá que tener en cuenta, también, las condiciones del terreno y el riesgo de provocar procesos de degradación. En este sentido, para disminuir las longitudes de arrastre o la densidad de calles de desembosque en ocasiones se ha recurrido al desembosque con tracción animal para realizar la reunión de los productos.

Figura CPIV.9. Desembosque arrastrado de la madera con skidder (derecha), de forma suspendida con autocargador (centro) y utilización la tracción animal para operaciones de reunión (derecha) en el incendio del Solsonès (Lleida) de 1998 (Fotos: M. Garasa).

- La gestión de los residuos de la corta y el procesado de los fustes vendrá condicionada por el método de aprovechamiento a realizar (árbol completo, fuste entero o madera corta) según el destino de los productos que se pretendan obtener. Con carácter general, la decisión sobre la actuación a desarrollar sobre los residuos de corta está condicionada por varios factores, entre los que se pueden destacar: 1) Coste económico, 2) Balance de nutrientes del suelo, 3) Riesgo de erosión, 4) Influencia sobre el regenerado posterior, 5) Movilidad en el monte, 6) Concentración de carga de combustible muerto o el 7) Riesgo fitosanitario.

  Teniendo en cuenta que los residuos fraccionados y esparcidos por el suelo tienen un papel relevante en aumentar la rugosidad de su superficie y, por tanto, de retener el arrastre de elementos finos y de las semillas, se deberá tender a dejarlos sobre la superficie de corta, sobre todo en aquellas condiciones de estación más limitantes. Si los residuos se quedan en el área de corta, una decisión posterior a tomar sería si estos deben quedar esparcidos por toda el área o conviene amontonarlos en cordones por curvas de nivel. Si la distribución de estos residuos es homogénea sería más conveniente su distribución por toda el área de corta para frenar el riesgo de erosión hídrica laminar.

En el caso de erosión hídrica por regueros, en donde se ha concentrado el flujo de escorrentía, la acumulación de los residuos podría realizarse formando empalizadas o albarradas para favorecer los procesos de sedimentación en estos puntos. En este sentido, hay que tener muy presente la funcionalidad de estas estructuras dado que si se instalan mal serían contraproducentes al haber contribuido a la eliminación del residuo de la superficie dejándola, por tanto, más vulnerable (figura CPIV.11).

Figura CPIV.10. Residuos de corta amontonados en forma de cordones (izquierda) o dispersos por el área de corta (derecha) (Fotos: M. Garasa y J. Pemán).

Figura CPIV.11. Empalizada colmatada en un reguero formado en una ladera de fuerte pendiente en el incendio de Luna (Zaragoza) (izquierda) y empalizadas no funcionales que dejan la superficie de la ladera más vulnerable a la erosión hídrica (derecha) (Fotos: J. Pemán).

En este sentido, el método de aprovechamiento de árbol completo debería evitarse en las zonas más vulnerables a los procesos de degradación o donde las condiciones de regeneración de la vegetación puedan ser más limitantes (figura CPIV.12).

Figura CPIV.12. Pila de árboles completos en cargadero con destino a la producción de astilla en el incendio de Luna (Zaragoza) de 2015 (izquierda), y estado de una ladera quemada, con fuertes pendientes, texturas finas y exposición de solana, donde la ausencia del residuo de corta puede ser contraproducente para reducir la escorrentía superficial y favorecer el regenerado posterior de la vegetación (derecha) (Fotos: J. Pemán).

4. Bibliografía

Blake J (1982) Influence of Fire and Logging on Nonbreeding Bird Communities of Ponderosa Pine Forests. J Wildl Manage 46:404-415.

Castro J, Allen CD, Molina-Morales M, et al. (2011) Salvage Logging Versus the Use of Burnt Wood as a Nurse Object to Promote Post-Fire Tree Seedling Establishment. Restor Ecol 19:537-544.

Ehnstrom B, Langstrom B, Hellqvist C (1995) Insects in burned forests-forest protection and faunal conservation (preliminary Results). Entomol Fenn 6:109-117.

Fernández Fernández MM (2006) Colonization of fire-damaged trees by Ips sexdentatus (Boerner) as related to the percentage of burnt crown. Entomol Fenn 17:381-386. doi: 10.33338/ef.84361

Fisher JT, Wilkinson L (2005) The response of mammals to forest fire and timber harvest in the North American boreal forest. Mamm Rev 35:51-81. doi: 10.1111/j.1365-2907.2005.00053.x

Fontúrbel Lliteras MT, Vega Hidalgo JA, Fernández Filgueira C, et al. (2008) Influencia del fuego, corta a hecho y tratamiento de residuos postincendio en unamasa de Pinus pinaster en Galicia, sobre parámetros edáficos seleccionados. Cuad la SECF 25:185-191.

Hood S, Bentz B (2007) Predicting postfire Douglas-fir beetle attacks and tree mortality in the northern Rocky Mountains. Can J For Res 37:1058-1069. doi: 10.1139/X06-313

Leverkus AB, Puerta-Piñero C, Guzmán-Álvarez JR, et al. (2012) Post-fire salvage logging increases restoration costs in a Mediterranean mountain ecosystem. New For 43:601-613. doi: 10.1007/s11056-012-9327-7

Lieutier F (2004) Host resistance to bark beetles. En: Lieutier F, Day K, Battisti A, et al. (eds) Bark wood boring insects living trees Eur. a Synth. Springer, Academic Publishers, Dordercht, pp 135–180.

McIver JD, Starr L (2001) A literature review on the environmental effects of postfire logging. West J Appl For 16:159-168.

Otero J, Serrada R (2017) Evolución de la restauración de la masa forestal en el incendio del Rodenal de Guadalajara diez años después mediante fotos comparativas. 7 Congreso Forestal Español. SECF, Plasencia, p 634.

Santolamazza-Carbone S, Pestaña M, Vega JA (2011) Post-fire attractiveness of maritime pines (Pinus pinaster Ait.) to xylophagous insects. J Pest Sci (2004) 84:343-353. doi: 10.1007/s10340-011-0359-0

Spanos I, Raftoyannis Y, Goudelis G, et al. (2005) Effects of postfire logging on soil and vegetation recovery ina a Pinus halepensis Mill. forest of Greece. Plant Soil 278:171-179. doi: 10.1007/978-1-4020-5593-5

Stuart JD, Grifantini MC, Fox III L (1993) Early successional pathways following wildfire and subsequent silvicultural treatment in Douglas-Fir/Hardwood Forests, NW California. For Sci 39:561-572. doi: 10.1093/forestscience/39.3.561

Vega J, Fontúrbel M, Fernández C, et al. (2013) Acciones urgentes contra la erosión en áreas forestales quemadas. Guía para su planificación en Galicia. Santiago de Compostela.

Casos particulares de otros productos forestales

Caso particular V. Tecnología de la extracción del corcho

José Berdón Berdón, Raúl Lanzo Palacios,
Ramón Santiago Beltrán y Ana María Fernández Santos

1. Introducción. El corcho como materia prima industrial. Calidad de corcho

El corcho es un producto natural único, con propiedades físicas, químicas, biológicas y sensoriales excepcionales. La combinación de todas ellas lo hace un material irremplazable para tapar las botellas de los mejores vinos, pero hay también otros sectores que utilizan el corcho: el sector de la construcción (suelos, aislantes, decoración), el sector del automóvil (juntas de motores, decoración), los sectores del calzado, la moda, objetos cotidianos e incluso el sector aeroespacial.

Los tapones de corcho son (en general) las manufacturas que más aumentan el valor de un lote de corcho. La capacidad de tapamiento es por lo tanto el elemento base para establecer la calidad de corcho, incluyendo el comportamiento sensorial en relación con el vino.

Una clasificación amplia del corcho nos conduce a unas cuarenta clases de corcho preparado (hervido y clasificado), pero esta clasificación complicaría mucho la gestión del corcho, por lo que suele simplificarse bastante: la industria española suele agrupar los diferentes tipos de corcho preparado en 9 clases, que son también las que utiliza el ICMC (Instituto del Corcho, la Madera y el Carbón Vegetal) en sus métodos de estimación de la calidad de corcho en campo (en árbol y en pila). Hay otra clasificación, aún más resumida, que establece 5 clases: taponable o bueno, grueso, flaco, delgado y refugo (figura V.1).

El cuadro de calidades es un producto cartesiano donde en ordenadas está representado el calibre y en abscisas el aspecto. La unidad de medida del calibre más utilizada por la industria corchera es la línea, que equivale a 2,25 mm.

El aspecto está determinado por un conjunto de propiedades (color, densidad, elasticidad, porosidad, presencia o ausencia de alteraciones, etc.) que determinan la aptitud del corcho para obtener de él tapones. Cuanto mayor sea la calidad de los tapones que se puedan obtener de una pieza de corcho, mejor será su clase visual o aspecto. La clase número 1 es la mejor; a partir de ahí el aspecto va decreciendo sucesivamente hasta la clase 7 y el refugo, a partir del cual no se pueden obtener tapones o discos naturales y su destino es la trituración.

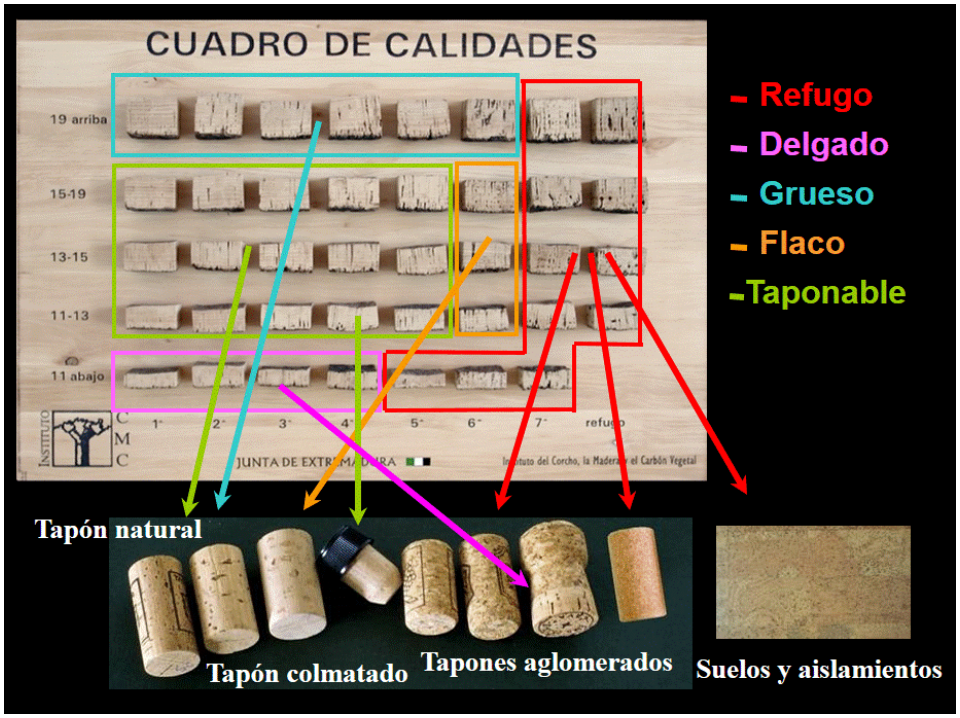


Figura V.1. Clasificación simplificada del corcho con indicación esquemática de los destinos fundamentales de cada clase (Fuente: elaboración propia).

Es muy importante conocer bien la calidad de una partida comercial para proceder a una correcta compraventa, puesto que su valor comercial varía mucho de unas calidades a otras.

En una primera aproximación a la calidad de un lote de corcho, hay que saber que mayor será su calidad, cuanto mayor sea el porcentaje de corcho de las clases más apreciadas (bueno y delgado); y la calidad será menor cuando tenga un porcentaje importante de la clase menos apreciada (refugo).

Hay diversos métodos para establecer la calidad de una partida de corcho. Se expone uno de los más reputados y con mayor experiencia, que es el Plan de Calas del ICMC, que se realiza en Extremadura desde 1985.

El objetivo del Plan de Calas es establecer la calidad de corcho de una partida comercial, mediante un muestreo forestal durante el cual se toman 75 muestras de corcho, y un escogido posterior de estas muestras.

Para establecer con precisión la calidad de un lote de corcho, el ICMC inventó en 1993 un índice denominado “Q” que hace referencia expresamente a la calidad. Este índice está calculado atribuyendo a cada una de las 9 clases tradicionales de la industria un valor en función del precio que tuvo esa clase en el mercado de corcho de San Vicente de Alcántara en aquel año.

El precio, en pesetas, de un kilo de corcho de una clase determinada (en San Vicente, el año 1993), dividido entre 200, determina el valor de esta clase.

Figura V.2. Clasificación ampliada del corcho del Instituto CMC-CICYTEX (Fuente: elaboración propia).

Los valores extremos son 19,5 para la clase 2 (media marca, la clase más apreciada); y 1,5 para la clase 9 (refugo, la clase menos apreciada).

Los valores reales que adoptan los lotes de corcho muestreados durante más de 30 años tienen como valores extremos 4 y 12, situándose la media en torno a 8, buena calidad de corcho, y teniendo los lotes de muy buena calidad valores en torno a 10, que es una cifra comúnmente atribuida a una buena calificación en España.

La fórmula del índice Q se obtiene multiplicando el porcentaje, expresado en tanto por uno, de muestras de cada clase por su valor:

$$Q = 11 \times \%Q1 + 19{,}5 \times \%Q2 + 7 \times \%Q3 + 19 \times \%Q4 + 6{,}5 \times \%Q5 + 12{,}75 \times \%Q6 + 5 \times \%Q7 + 12 \times \%Q8 + 1{,}5 \times \%Q9$$

El índice Q permite un análisis estadístico de la calidad de corcho. Por ejemplo, se puede calcular la media de la calidad de corcho de una campaña concreta en Extremadura, o de una comarca a lo largo del tiempo, o la evolución de la calidad de corcho en Extremadura a lo largo del tiempo.

Otra posibilidad que ofrece el índice Q es la planificación de muestreos de calidad de corcho. Los muestreos permiten estimar una variable dada, midiendo únicamente un pequeño número de individuos de la población total. Por ejemplo, en una finca que tenga 3 000 alcornoques, podemos tomar muestras de corcho de 75 de ellos, y no todo el corcho de cada uno de estos árboles, sino una pequeña pieza de unos 12 x 12 cm. Para realizar un muestreo se aplica la teoría estadística de muestreos, concretamente la teoría de poblaciones infinitas. Hay que tener en cuenta que por término medio un alcornoque puede dar unas 200 piezas de corcho de las descritas en la frase anterior, y para una finca con 3 000 alcornoques, el conjunto de la población de muestras de corcho es de 600 000, un número tan grande que, en la práctica, al aplicar las fórmulas de los muestreos,

se considera infinito. En general, para calcular el número de muestras necesario para obtener una estimación fiable de la población, se aplican las fórmulas del muestreo aleatorio simple:

$$n = \frac{t^2 \times S^2}{e^2}$$

Siendo, n: el número de muestras a extraer en el muestreo,

t: test t de Student, un número estadístico tabulado en función de la variabilidad de la población y del número de muestras que se van a extraer (normalmente hay que realizar una iteración), S: es la desviación típica, que mide la variabilidad de la población, e: es el error máximo admisible.

Aplicando esta fórmula y teniendo en cuenta la variabilidad de la calidad de corcho en los lotes de corcho en campo, una probabilidad fiducial del 90%, estaríamos seguros de reducir el margen de error en 9 de cada 10 muestreos, y los posibles errores admisibles, habría que tomar los números de muestras que se indican en la tabla V.1.

Tabla V.1. Número de muestras de corcho que habría que tomar en un muestreo de calidad de corcho, en función del error admitido y la variabilidad de la calidad de corcho dentro de la población (Fuente: E. Cardillo).

Muestreo aleatorio simple. Probabilidad fiducial 90%	Error < 10%	Error < 12%	Error < 15%
Índice Q bajo, S=20	70	45	31
Índice Q medio, S=25	109	70	48
Índice Q alto, S=30	157	100	70
Índice Q muy alto, S=35	214	137	95

Se puede observar que cuando se toman 75 muestras de corcho, en la mayor parte de los casos vamos a tener un error inferior al 15%, con una probabilidad fiducial del 90%.

Normalmente se realiza un muestreo por parcelas. En este tipo de muestreo se replantean sobre el terreno 5 parcelas de radio variable, que incluyen los 15 árboles más próximos al centro de cada una de ellas; en total se muestrean 75 árboles. En cada árbol se toma una muestra de corcho de unos 12 x 12 cm mediante un hacha corchera. Además, se toman datos adicionales del árbol muestreado, fundamentalmente:

- Coordenadas geográficas: mediante dispositivo GPS.
- Datos dasométricos: circunferencia a la altura del pecho, y altura de descorche como mínimo, ya que ambos parámetros nos permitirán estimar el peso de corcho producido por cada árbol.
- Datos fitosanitarios: afección por plagas y enfermedades.
- Datos selvícolas: calidad de la podas y descorches.

En el caso de realizarse muestreo por parcelas, una vez muestreados los 15 árboles de la parcela, se pueden tomar datos adicionales de la masa:

- Densidad (pies ha^{-1}).
- Área basimétrica (m^2 ha^{-1}).
- Altura dominante.
- Valoración de la regeneración.
- Tipo de vegetación.

Una vez muestreados los 75 árboles, se pueden tomar datos del conjunto de la explotación:

- Carga ganadera.
- Valoración de la selvicultura practicada.
- Datos de la vegetación.
- Datos de la masa (densidades, altura dominante, etc.).

Las muestras se trasladan al laboratorio de calidad de corcho de ICMC y, allí, sufren un proceso similar al que se realiza en la industria preparadora:

- Se secan en estufa durante 24 horas.
- Se cuecen en agua hirviendo durante 1 hora.
- Se dejan enjugar durante 2 días.
- Se recortan y se clasifican.

Los datos de calidad de corcho obtenidos de la clasificación se vuelcan a un ordenador, y mediante una hoja de cálculo específica, se realiza un informe sobre la calidad de corcho, donde se ofrecen las principales cuestiones con respecto a la calidad de corcho: porcentajes de corcho de las diferentes clases, índice de calidad Q, calibres, alteraciones del corcho y comparación de la calidad de la partida con las calidades medias de la zona y de la región.

Además, se indican las fortalezas y debilidades de la partida de corcho de cara a su compraventa, y una serie de recomendaciones específicas y generales para mejorar la calidad del corcho de ese alcornocal a medio y largo plazo.

Este informe de calidad de corcho se completa con los datos selvícolas tomados en campo en forma de informe selvícola, donde se resumen las cifras claves de la gestión del alcornocal y se realizan una serie de recomendaciones en aras de la gestión sostenible del mismo (figura V.3).

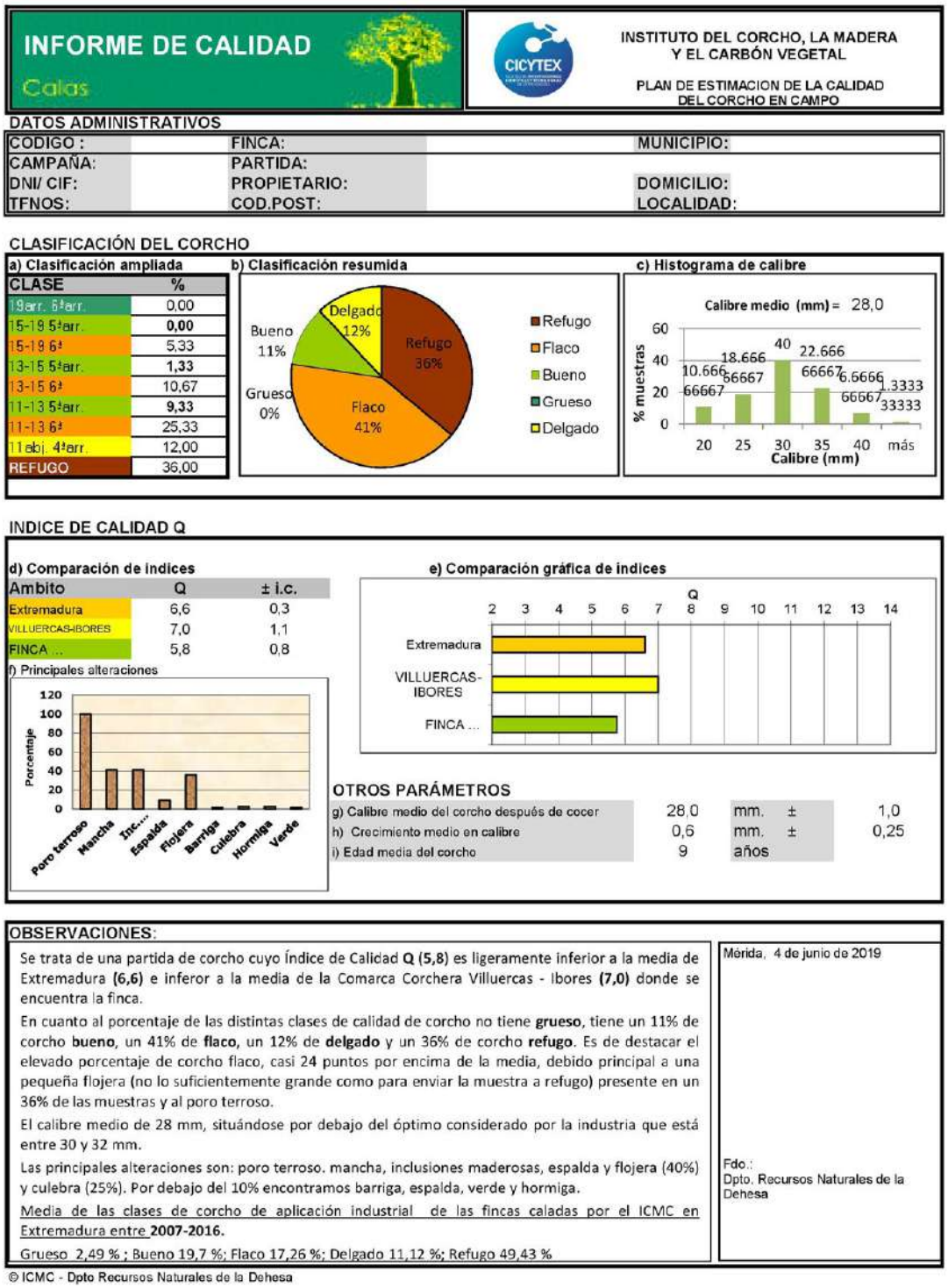


Figura V.3. Ejemplo de informe de calidad de corcho del Instituto CMC – CICYTEX (Fuente: elaboración propia).

2. Descorche tradicional

2.1. Aspectos generales del descorche

El descorche consiste en despojar del corcho al alcornoque. Es una operación aparentemente sencilla, pero que encierra una complejidad técnica (figura V.4).

Figura V.4. Descorche tradicional (Foto: R. Santiago).

Los profesionales que realizan el descorche son los sacadores. Es un oficio muy especializado, que requiere un aprendizaje largo y complicado: solo pueden ejercer su profesión durante a lo sumo 2,5 meses al año y para alcanzar una formación adecuada se necesitan 4-5 años. Se requiere mucha pericia en el manejo del hacha corchera y sobre todo, un conocimiento profundo del alcornoque y del corcho, así como resistencia física y adaptación al calor, etc.

El descorche se realiza desde finales de primavera hasta bien avanzado el verano, excepcionalmente se realiza en otoño. Esto se debe a que es la época de máxima actividad vegetativa del alcornoque, la savia elaborada corre abundantemente por la capa madre del árbol y es entonces cuando el corcho se desprende de la misma sin dañarla. La capa madre está compuesta por 4 partes a su vez, de fuera a dentro: felógeno, felodermis, líber y cambium (figura V.5). Está constituida enteramente por células vivas –mientras que el corcho y la madera lo están por células muertas- por lo que hay que proceder con sumo cuidado durante el descorche para no dañar esta parte viva del árbol.

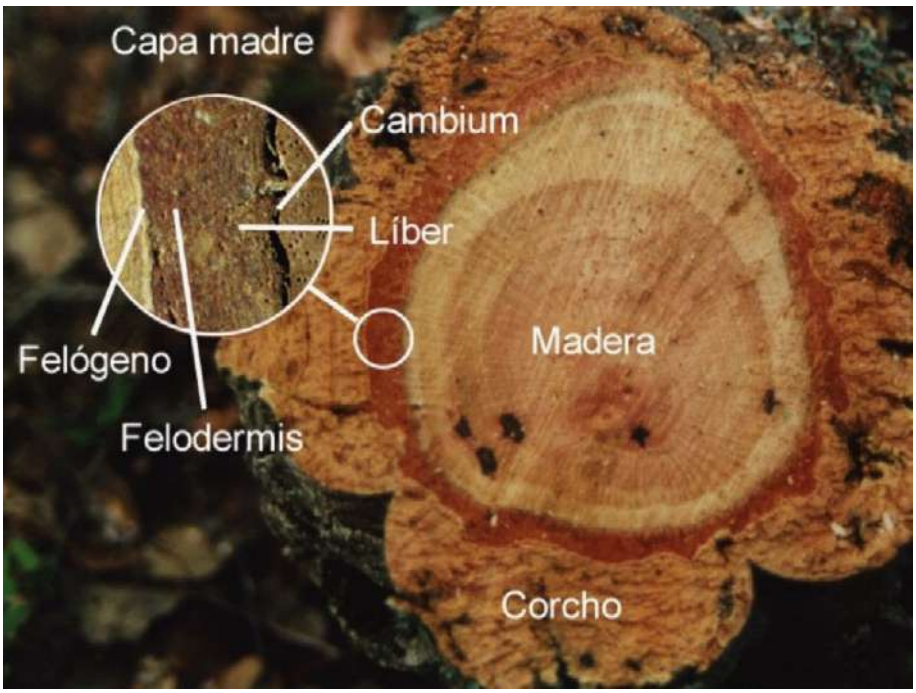


Figura V.5. Disposición del corcho en el árbol (Fuente: elaboración propia).

Sin embargo, a lo largo del verano pueden sobrevenir condiciones desfavorables que impiden el descorche: días de viento fuerte desecante, días de lluvia, olas de calor, noches excesivamente frías, etc. En muchas de estas ocasiones los alcornoques no "se dan", es decir, el corcho no se extrae con facilidad y no se puede sacar sin dañar la capa madre. En esos casos se debe parar el descorche, bien sea del árbol, del rodal o del alcornocal que no se da, y esperar a que las condiciones cambien. En algunas ocasiones, especialmente durante años muy secos y cálidos, hay que renunciar al descorche y esperar al año siguiente. En otras ocasiones, aunque el corcho "se da" no es conveniente sacarlo: por ejemplo con lluvia, aunque el corcho "se dé" puede ser peligroso para los sacadores por el riesgo de caídas y para el alcornoque por el riesgo de transmisión de enfermedades.

En el descorche no se extrae todo el corcho del árbol, solo una parte del tronco y eventualmente una parte de las ramas principales. Para facilitar la extracción se realizan cortes longitudinales y transversales en el alcornoque, que delimitan las planchas o panas de corcho.

Saca tras saca se va decidiendo en cada árbol qué parte del corcho se va a extraer. Cuando se descorcha un árbol por primera vez hay que tener en cuenta varias cuestiones. En primer lugar, debe tener el tamaño adecuado, lo cual se aprecia midiendo el perímetro o circunferencia del árbol a la altura del pecho (CAP). La CAP debe ser como mínimo de 70 cm, aunque se recomienda que sea incluso algo mayor. En segundo lugar, el corcho debe darse muy bien; el primer corcho del alcornoque, el bornizo, tiene la cara interior muy irregular y adaptada a la capa madre. Sólo si las condiciones son buenas (primavera anterior con precipitaciones abundantes y verano cálido y seco) y el bornizo se da bien, entonces en ese caso, se debe proceder al descorche. En tercer lugar, debemos decidir hasta qué altura descorchamos la primera vez: nunca debemos superar

un coeficiente de descorche (CD) de 2 en el desbornizado (primer descorche). Este coeficiente se obtiene dividiendo la altura de descorche (HD), medida sobre el tronco del árbol, entre la circunferencia a la altura del pecho (CAP). Lo ideal es que este CD tenga valores próximos a 1 en el desbornizado.

Cuando se descorcha el árbol por segunda vez (y también en el resto de los descorches), para determinar la altura de descorche se estima el calibre del corcho: si tiene unos 30 mm y es adecuado para fabricar tapones naturales se respeta la altura de descorche anterior. Si es superior a 40 mm, se debe subir un poco la altura de descorche. Si es inferior a 25 mm se debe rebajar la altura de descorche. Si es inferior a 20 mm no se debe descorchar ese año, hay que esperar a que tenga un calibre mínimo de 20 mm. En cualquier caso, en el segundo descorche no se debe aplicar un CD superior a 2,5 y en el tercero y sucesivos descorches el CD debe ser inferior a 3.

En los alcornocales es muy frecuente realizar el descorche de todos los árboles de una finca el mismo año, lo que se denomina “pela redonda”. Si la finca es grande, se puede dividir en varias hojas o tramos de descorche para organizarlo mejor, repartir la renta en varios años a lo largo del ciclo y poder esquivar años meteorológicamente o económicamente malos. Esta forma de organizar la saca se denomina “pela parcial”.

Hay una práctica que está en desuso que consiste en descorchar una parte del árbol un año y otra a los 4-5 años. Cada una de estas partes se llama “mesa” y a la organización saca o “pela fraccionada”.

Otra práctica poco frecuente es la “repela”, que consiste en terminar de descorchar los árboles de una finca al año siguiente cuando en el año de descorche, normalmente por malas condiciones meteorológicas, no se pueden sacar todos los árboles y además en algunos de ellos no se saca todo el corcho sino solo las planchas que se dan bien.

El turno de descorche es el número de años que media entre dos descorches sucesivos. Hay consenso en el mundo del corcho y en la legislación de los países suberícolas en cuanto al turno mínimo de descorche: 9 años. Por debajo de este límite se considera que el corcho no tiene las condiciones tecnológicas adecuadas para fabricar tapones naturales de corcho, y además la “crisis del descorche” puede incidir negativamente a corto y medio plazo en los alcornoques. En España, el turno de 9 años es el más frecuente en Andalucía y Extremadura; en Cataluña el turno mínimo establecido por la legislación es de 12 años. En Castilla-La Mancha es de 10 años y en otras regiones no está regulado.

El turno de descorche, además de estar regulado legalmente, se determina por cuestiones de calidad de corcho: calibre, densidad y elasticidad del corcho, que deben ser óptimas para poder fabricar tapones naturales. Además, se tiene en cuenta la crisis del descorche: al despojar al alcornoque de una parte del corcho, el árbol pierde bastante agua en plena actividad vegetativa y esto provoca un estrés hídrico importante. De hecho, el felógeno muere durante el descorche pero se genera un nuevo felógeno en el líber activo al cabo de unas 3 semanas.

Los índices dasométricos más importantes para el descorche son:

- Calibre del corcho (CB). Es el espesor del corcho medido perpendicularmente al tronco del árbol. El valor ideal se sitúa alrededor de 32 mm, para poder obtener tapones naturales de diámetro estándar de 24 mm. En la industria, el calibre se mide en líneas, una línea equivale a 2,256 mm. Cuando el calibre es algo bajo en un alcornocal tenemos la posibilidad de aumentarlo de dos formas: la primera es aumentando el turno de descorche. Se estima que, pasando de un turno de 9 años a uno de 10 años, el calibre aumenta un 5%. La segunda forma es rebajar la altura de descorche, medida que tendrá efecto en el siguiente descorche.

- Circunferencia a la altura del pecho (CAP). Es el perímetro del tronco medido a una distancia de 1,30 m del suelo. Es un índice que tiene muy buena correlación con la producción de corcho del árbol y con la edad del árbol a nivel de rodal. La CAP media de un rodal regular da buena correlación con la edad del rodal.

- Altura de descorche (HD). Es la longitud descorchada en el árbol a lo largo del tronco y de las ramas. Se puede estimar mediante la suma de la altura o longitud descorchada hasta la cruz (HC) y la longitud descorchada en una de las ramas (LR). Tiene buena correlación con la producción de corcho y en un alcornocal sirve para estimar la dificultad del descorche.

- Coeficiente de descorche (CD). Es un índice que se obtiene dividiendo la altura de descorche entre la circunferencia a la altura del pecho. Nos indica la presión de descorche que estamos ejerciendo en un árbol, un rodal o un alcornocal. Tanto la legislación como el Código Internacional de Prácticas Suberícolas marcan CD máximos de 2; 2,5 y 3 para el primer, segundo, y tercer y sucesivos descorches respectivamente.

2.2. Herramientas del descorche

Las herramientas más características del descorche son el hacha corchera, la palanca y la escalera de descorche.

- **Hacha corchera.** Es un hacha con cabeza de acero y mango de madera que presenta algunas modificaciones con respecto a un hacha de madera (figura V.6 izquierda). El radio de curvatura del filo es más pequeño para que cuando golpee sobre el corcho solo entre en contacto con él una pequeña parte del filo. El mango o cabo es curvado para evitar que la mano del sacador golpee la raspa del corcho. En España se utilizan varios modelos: andaluza, extremeña, catalana y portuguesa; cada una de ellas tiene algunas variaciones sobre el modelo general. Es la herramienta fundamental del descorche tradicional y se utiliza para cortar el corcho y para facilitar la extracción de este haciendo palanca, tirando y golpeando en una secuencia de operaciones que veremos más adelante.

- **Palanca.** También llamada burja o jurga, es una pértiga de madera resistente de unos 2 metros de larga y unos 5 cm de gruesa, con uno de sus extremos acabado en bisel. Sirve para ayudar a extraer las planchas de las partes altas del árbol y las zapatas (figura V.6 derecha).

Figura V.6. Hacha corchera extremeña (Foto: R. Santiago) (izquierda), sacador extrayendo las zapatas con la palanca corchera (Foto: G. Plaza de SIGNO COMUNICACIÓN) (derecha).

- **Escalera corchera.** Es una escalera de mano, de unos 2-2,5 m de longitud, de madera o metálica, a veces adaptada al descorche mediante algunos detalles: más ancha abajo para darle más estabilidad, eslingas que permiten ajustarla al tronco, ganchos que la aseguran al tronco, plataforma que permite trabajar apartado del árbol, etc. Sirve para alcanzar el corcho de las partes altas del árbol o para subir a la cruz.

2.3. *Fases del descorche*

Lo primero que hace el sacador cuando llega a un árbol es observar con atención varios detalles: si el corcho está en turno (al menos 9 años), el calibre del corcho, por dónde va a realizar los cortes "arrayos", si hay que mantener, subir o bajar la altura de descorche y si hay piedras o vegetación que puedan estorbar su trabajo. Si estamos a principio o final de temporada o el año es malo, lo siguiente que hace es comprobar que el corcho "se da", es decir, se puede desprender del árbol con relativa facilidad, sin dañar la capa madre. Si el corcho "se da" procede a despejar de obstáculos la zona de trabajo (piedras, vegetación y eventualmente alguna ramita del propio alcornoque). Las fases que comprende el descorche son las siguientes:

- **Fase de abrir**. El sacador realiza líneas de corte verticales que van a determinar la anchura de las planchas de corcho que extraiga después (figura V.7). En el desbornizado esta fase se

apoya en las grietas verticales naturales del árbol. En sucesivos descorches el sacador suele realizar estos cortes en los mismos lugares que en sacas anteriores.

Figura V.7. Sacador comenzando la fase de abrir (Foto: R. Santiago).

- **Fase de trazar.** El sacador realiza un corte horizontal aproximadamente a la altura del pecho y a lo largo de todo el perímetro del tronco. Este corte facilita las fases posteriores y determina la longitud de las planchas de la parte baja del árbol. Es una fase delicada pues un corte profundo puede seccionar numerosos vasos liberianos y provocar una herida de difícil cicatrización en el árbol. En el desbornizado y en la saca segundera estos cortes no se suelen realizar por no ser necesarios. Lo que siempre se realiza es el corte que delimita la parte superior descorchada en el árbol, que suele llamarse cuello.

- **Fase de ahuecar.** Consiste en golpear suavemente los bordes de las líneas de abertura realizadas en la fase de abrir para facilitar el desprendimiento del corcho de la capa madre. No siempre es necesario hacerla, solo cuando el corcho no se da bien. En algunas comunidades autónomas es una operación prohibida (Andalucía y Castilla-La Mancha), por delicada: hay riesgo de provocar heridas en la capa madre (santos o espejos) si no se hace cuidadosamente.

- **Fase de dislocar.** El sacador introduce el filo del hacha y/o el bisel del mango en los cortes previos para facilitar el despegue del corcho de la capa madre y el disloque de las planchas entre sí. En las partes altas del árbol se utiliza la palanca para realizar esta fase.

- **Fase de separar.** El sacador introduce el mango del hacha entre la plancha y la capa madre para completar la separación entre ambas. También puede realizar esta operación tirando de la plancha con los gavilanes del hacha o con sus propias manos. En las partes altas del árbol en esta fase se utiliza también la palanca.

- **Remate de cuellos.** Una vez extraído el corcho del árbol, el sacador perfila el límite superior del área de descorche para que el corte sea lo más recto posible e impida que hormigas u otros insectos busquen las irregularidades para establecerse en años sucesivos en la parte de corcho plancha.

- **Remate de zapatas.** En esta fase el sacador elimina los restos de zapatas que no han sido extraídos con las planchas bajas del árbol. Para ello puede usar el cabo del hacha o preferiblemente la palanca.

- **Rajado y amontonado de planchas a pie de árbol.** Estas operaciones las suele realizar un rajador. Primero con ayuda de una navaja de rajar, corta las planchas excesivamente grandes para facilitar su transporte y luego las amontona al pie del árbol; generalmente las planchas en contacto con el suelo, con la espalda hacia el mismo y el resto con la espalda hacia arriba. Se deben amontonar a la sombra para evitar que una desecación excesivamente rápida pueda provocar grietas indeseadas en el corcho.

- **Reunión.** En esta fase se transportan los montones de planchas hasta una zona de apilado en el propio alcornocal o al punto de carga del camión que llevará el corcho hasta la fábrica. En general se puede realizar mediante tractores y remolques, pero en zonas con relieve complicado parte de la fase la realizan los sacadores cargando a hombros el corcho o mediante bestias al mando de los arrieros.

- **Apilado.** Esta operación es facultativa. Consiste en formar una pila donde se depositan ordenadamente las planchas de corcho. Es un trabajo realizado por los apiladores, que durante el proceso hacen una primera clasificación del corcho en 2 o 3 categorías: plancha, trozos y bornizo (estas 2 últimas pueden ir juntas). La partida de plancha es la más valorada porque es de donde se obtendrán tapones naturales de corcho, la menos valorada es la de bornizo porque con él no se pueden fabricar tapones.

  Se recomienda que la pila no tenga más de 6 metros de anchura y más de 2 metros de altura y además que oriente perpendicularmente a los vientos dominantes para facilitar la aireación de las planchas. En los tratos tradicionales se solía dejar 8 días en el alcornocal y a los 8 días se pesaba mediante una cabria y una romana y no se descontaba porcentaje alguno de humedad. La unidad de peso de corcho usada tradicionalmente en España es el quintal castellano que equivale a 46 kilogramos. No confundir con el quintal métrico que equivale a 100 kilogramos.

- **Transporte.** Las planchas de corcho se cargan en un camión de forma perfectamente ordenada, bien al cabo de los 8 días de finalizada la pila o bien al final de cada jornada. Es una operación que suele realizarse por las tardes por parte de los propios sacadores que se apuntan voluntariamente a esta tarea que es pagada aparte.

  Una vez cargado el camión se pesa en una báscula próxima al alcornocal y se aplica un descuento por humedad en función de los días que hayan transcurrido desde el descorche.

2.4. Organización del descorche tradicional

En el invierno previo al descorche suelen ser necesarios algunos trabajos complementarios:

- Desbroces. Al menos se debe eliminar la vegetación que puede dificultar el descorche en el entorno inmediato del alcornoque, los ruedos. También es recomendable realizar áreas cortafuegos perimetrales en la zona de descorche para minimizar riesgos de incendios y fajas auxiliares apoyadas en caminos.

- Vías de saca. Se deben facilitar o acondicionar los accesos a las diferentes zonas de descorche. Al menos se deben abrir veredas que permitan a los sacadores desplazarse de un árbol a otro.

Estos trabajos suelen requerir un permiso de la administración y en algunos casos evaluación de impacto ambiental.

En la primavera previa al descorche el propietario del alcornocal debería hacer una estimación de la calidad de su partida de corcho, esto le permitirá valorar:

- Si el turno de descorche es adecuado o debería dejar el corcho en el árbol un año más.

- Si el coeficiente de descorche que está aplicando es correcto o debe modificarlo. Es una cuestión que se debe aplicar árbol a árbol, pero es importante conocer el promedio del alcornocal para dar una indicación general a la cuadrilla de descorche.

- Si hay alguna enfermedad o plaga que implique aplicar alguna medida especial durante el descorche.

- El índice Q de su partida le permitirá aproximarse al valor de mercado y podrá comercializar su corcho en mejores condiciones.

La comercialización del corcho debe formalizarse mediante un contrato de compraventa que contenga los siguientes aspectos clave:

- Delimitación clara de la zona del alcornocal que se descorcha, con indicación de polígonos y parcelas catastrales.
- Quién asume los trabajos de descorche.
- Zona dedicada a cargadero de corcho.
- Detalles del descuento por humedad y báscula donde se pesará el corcho.
- Precios de las partidas de plancha, trozos y en su caso de bornizo.
- Forma y plazos de ejecución de los pagos; y duración del contrato.

Hay cuestiones administrativas que deben realizarse previamente al descorche: notificación o solicitud de autorización de descorche a la administración de la comunidad autónoma donde se encuentre el alcornocal.

El descorche tradicional suele llevarse a cabo por cuadrillas de sacadores (y otras profesiones como rajadores, arrieros, aguadores y rancheros, entre otros) dirigidas por un manijero, que suele ser un sacador con bastante experiencia que organiza día a día el descorche de cada alcornocal. Estas cuadrillas son contratadas o bien por el propietario del alcornocal o por el comprador del corcho. Cuando se acerque la época de descorche, es conveniente que el manijero de la cuadrilla que va a sacar el corcho visite el alcornocal para evaluar la zonificación del mismo a la hora de realizar la saca: las zonas de solana y con suelos poco profundos se deben sacar antes; las zonas de umbría y con suelos profundos se pueden sacar después. En función del número de sacadores de la cuadrilla se puede hacer una evaluación de cuántos días puede durar el descorche: cada 1 000 kg de corcho necesitan 5 jornales de descorche, aunque esto es bastante variable en función del relieve de la finca, red viaria, y del tamaño y densidad de los alcornoques. Cada día el manijero decidirá por donde comenzar, qué recorrido hacer para a lo largo de la jornada volver al punto de acceso donde dejaron los vehículos a primera hora de la mañana.

Si un día una zona determinada no se da se puede intentar en otra zona, si no, hay que renunciar a descorchar al menos ese día. Los días de lluvia o de viento intenso y seco (levante, solano, tramontana, etc.) no se debe descorchar.

Es conveniente hacer un diario del descorche indicando para cada día los trabajadores que han participado en la saca, cantidades de corcho sacadas, zonas descorchadas, meteorología, facilidad con la que el corcho se daba y cualquier incidencia reseñable. Este diario servirá para organizar futuros descorches.

Descorche tradicional

Descorche tradicional en Girona

3. Descorche con nuevas tecnologías

3.1. Antecedentes

Desde hace unos 25 años han aparecido en el mercado diferentes máquinas para el descorche. Todas estas máquinas realizan un corte en el corcho, determinando de forma automática la profundidad de corte para no dañar la capa madre, operaciones de abrir y trazar.

En el año 1997 la empresa IPLA, con su responsable técnico Bruno Pianu al frente, presentó la primera máquina de descorche automático en Extremadura. Se trataba de una sierra de vaivén que, aprovechando la conductividad eléctrica, realizaba el corte del corcho en árbol sin dañar la capa madre. Este dispositivo constaba de un sensor que se clavaba hasta la capa madre y permitía establecer la conductividad eléctrica con el elemento cortante. La capa madre conduce bien la electricidad, mientras que el corcho es un material aislante; de este modo un pequeño procesador permitía regular la profundidad de corte, mediante un patín limitándola siempre hasta las proximidades de la capa madre. La IPLA fue evolucionando, reduciendo el tamaño del ordenador y utilizando una sierra de vaivén robusta. Héctor Martínez Morell, empresario sevillano de la saga de los Morell, familia con una dedicación profunda al sector corchero, realizó algunas mejoras a la IPLA, y su máquina de descorche se estuvo utilizando un tiempo en Andalucía y Extremadura.

En los primeros años del siglo XXI la empresa Stihl, basándose también en la conductividad eléctrica, mediante un sensor capacitivo, adaptó una de sus motosierras para el descorche, la MC200. Es una máquina robusta, con buenos rendimientos y resultados, pero que solo se puede utilizar hasta unos 2 m de altura, porque necesariamente se tiene que manejar con ambas manos, lo cual imposibilita su utilización desde una escalera. Requiere de un cable que fije el sensor a la capa madre, unido a la sierra.

En 2019, la empresa extremeña COVELESS sacó al mercado una máquina de descorche basada en sensores capacitivos sin necesidad de cables e implementada en una motosierra eléctrica de mano, de la casa Pellenc. Esto supone un cambio radical que permite eliminar el sensor de referencia, elemento engorroso que dificultaba el uso de las máquinas anteriores, sobre todo en alcornocales con mucho matorral.

Todas estas máquinas cortan el corcho con precisión por lo que sirven para realizar las operaciones de abrir y trazar. Para el resto de operaciones, el Instituto CMC del CICYTEX ha desarrollado herramientas para realizar las tareas de ahuecar, dislocar y separar. Estas herramientas complementan el trabajo de las máquinas de descorche y han sido básicamente palancas y tenazas específicas.

3.2. Máquinas y herramientas para el descorche con nuevas tecnologías

En este momento, las máquinas y herramientas de última generación para el descorche con nuevas tecnologías son las siguientes:

Máquina COVELESS 3C18.

- Es una motosierra eléctrica a la que se ha dotado de un regulador de profundidad de corte asistido por un sensor capacitivo (figura V.8). La fuente de energía es una batería de litio con autonomía para una jornada de trabajo. Es ligera, robusta, bastante silenciosa y corta el corcho con mucha precisión, respetando la capa madre. Si las condiciones del medio o del árbol lo requieren, tiene la posibilidad de ajustar la sensibilidad para que el corte sea perfecto, sin acercarse excesivamente a la capa madre. Al ser necesarias las 2 manos para su manejo, puede limitarse la altura de trabajo.

Figura V.8. Máquina COVELESS 3C18 durante la fase de abrir (Foto: G. Plaza de SIGNO COMUNICACIÓN).

Tenaza corchera eléctrica de CICYTEX.

- Es una herramienta implementada sobre unas tijeras de podar eléctricas de la casa Pellenc, en la que se han sustituido las hojas de corte por unas lengüetas (figura V.9). Las lengüetas se introducen cerradas en los cortes hechos en el corcho previamente por la máquina de descorche, o en las fendas naturales del corcho. Cuando se acciona el gatillo las lengüetas se separan y ahuecan el corcho. Realizan la operación de ahuecar, y en ocasiones también dislocar e incluso separar: cuando el corcho se da muy bien llegan a desprenderse algunas planchas totalmente del árbol. Son un complemento ideal para la máquina de descorche, aumentando enormemente la ergonomía con respecto a las tenazas corcheras manuales,

redundando en una mejora de la seguridad y salud laboral del sacador. Además, la productividad aumenta notablemente con respecto al uso de tenazas manuales. Permiten realizar las distintas operaciones con una sola mano.

Figura V.9. Tenazas corcheras eléctricas de CICYTEX (Foto: G. Plaza de SIGNO COMUNICACIÓN).

Palanca tecnológica de CICYTEX.

- Es una palanca de unos 75 cm de longitud, que consta de:

  - Astil de fibra de carbono en forma de tubo de 430 mm de longitud, 30 mm de diámetro y 1,5 mm de espesor de pared.

  - Asa de polímero con un alma gruesa en fibra de vidrio en forma de D. Lo atraviesa un eje de acero con dos terminales a cada lado, uno de nylon de forma redondeada y otro de acero en forma de gancho.

  - Extremo en forma de cuña de Ø 50 mm realizado en poliamida con carga de fibra de vidrio.

Esta herramienta entra en acción una vez que se ha cortado el corcho en árbol con una máquina específica y se ha trabajado con una tenaza corchera en los cortes.

Tiene 4 funciones:

1. Introducir el extremo acabado en bisel entre dos planchas o entre la plancha y la capa madre para separar ambas. Durante esta función el astil está sometido a un esfuerzo de compresión.

2. Hacer palanca con el extremo o cabeza como punto de apoyo para separar la plancha de la capa madre, sobre todo en las zonas donde el corcho está agarrado. Durante esta función el astil está sometido a un esfuerzo de flexión.

3. Golpear con el mango el lateral de la plancha para facilitar su desprendimiento. Durante esta función el astil está sometido a un esfuerzo de cizallamiento.

4. Tirar de la plancha con el extremo del mango acabado en gancho para separarla de la plancha contigua y de la capa madre. Durante esta función el astil está sometido a un esfuerzo de tracción.

Mediante estas 4 funciones ejecuta las operaciones de dislocar (1 y 4), separar (1, 2 y 4) y ahuecar (3).

Figura V.10. Palanca tecnológica de CICYTEX durante la operación de dislocar (Foto: G. Plaza de SIGNO COMUNICACIÓN).

Herramientas innovadoras para la mecanización del descorche. Proyecto Go Suber. 2020.

Descorche mecanizado. 2009.

3.3. Fases del descorche con nuevas tecnologías

Igual que en el descorche tradicional, en el descorche con nuevas tecnologías el sacador debe fijarse bien en cada alcornoque antes de empezar a descorchar, despejar obstáculos y decidir por dónde van a ir los cortes en el corcho.

Fases de abrir y trazar.

- Consisten en cortar el corcho con la máquina de descorche (actualmente la COVELESS 3C18). La máquina se apoya suavemente sobre la superficie del corcho y una vez que el espadín penetra en él se empieza a deslizar la máquina por las líneas de abertura y trazado que se estimen necesarias. Los cortes verticales (abrir) se realizan de arriba hacia abajo para aprovechar la fuerza de la gravedad.

Fase de ahuecar.

- Se realiza con la tenaza corchera eléctrica de CICYTEX. Se introduce con las lengüetas cerradas en las líneas de abertura (nunca en las de trazado "horizontales" porque se rompería la tenaza) y al accionarse el gatillo las lengüetas se separan y ahuecan las planchas de corcho. Debe trabajarse de arriba hacia abajo para aprovechar la fuerza de la gravedad. Se introduce a intervalos de 20-35 cm de distancia en función de cómo se dé el corcho.

- Antes de empezar esta fase el sacador debe comprobar que el corcho "se da"; lo puede hacer con las tenazas corcheras, probando en algún corte hecho previamente o en alguna colena.

Fase de dislocar.

- Se realiza con la palanca tecnológica de CICYTEX. Se debe empezar por la plancha que se note más suelta o fácil de sacar. Se pueden realizar varias operaciones en función de lo que decida el sacador:

    - Introducir el bisel de la palanca entre dos planchas.

    - Introducir el bisel entre una plancha y la capa madre.

    - Tirar del extremo de una plancha con el gancho metálico de la palanca.

Una vez que se consigue dislocar la plancha, se pasa a la siguiente fase, separar.

Fase de separar.

- Se realiza también con la palanca tecnológica de CICYTEX. Se empieza por la primera plancha que esté dislocada. Se pueden realizar varias acciones:

    - Introducir el bisel entre la plancha y la capa madre.

- Hacer palanca con el extremo o cabeza como punto de apoyo para separar la plancha de la capa madre.

- Tirar del extremo de la plancha con el gancho metálico.

- Agarrar la plancha con una mano y hurgar o apalancar con la palanca tecnológica en la otra mano.

Es una operación que se va alternando en cada plancha con la fase de dislocar hasta completar la extracción de todas las planchas del árbol.

Remate de cuellos.

- En el descorche con nuevas tecnologías, el corte de la máquina de descorche suele dejar los cuellos perfectos. Si esto no fuese así, bien mediante la máquina o bien con el hacha pueden rematarse y dejarse rectos.

Remate de zapatas.

- En el descorche con nuevas tecnologías se puede realizar un corte en el corcho a ras del suelo, que por un lado facilitará el descorche actual y por otro permitirá aumentar la producción de plancha en futuros descorches.

El resto de fases del descorche con nuevas tecnologías es igual que en el descorche tradicional: rajado y amontonado a pie de árbol, reunión, apilado y transporte.

3.4. Organización del descorche con nuevas tecnologías

En la organización del descorche con nuevas tecnologías hay que tener en cuenta todas las cuestiones que se han mencionado en la organización del descorche tradicional: desbroce y mantenimiento de vías de saca el invierno previo, estimación de la calidad del corcho, trámites administrativos, contrato de compraventa, etc.

Pero tiene algunas peculiaridades que conviene señalar:

- Las fases de abrir y trazar se pueden realizar en la primavera previa al descorche (incluso a finales de invierno o en el otoño anterior), sin necesidad de que el corcho “se dé”. Estos trabajos deben realizarse en tiempo seco para evitar problemas fitosanitarios y de funcionamiento de la máquina COVELESS 3C18. Estas fases junto con la preparación del árbol suponen alrededor del 40% del tiempo de descorche.

- Las fases de ahuecar, dislocar y separar deben realizarse necesariamente cuando el corcho "se da", desde finales de primavera hasta bien avanzado el verano, incluso en otoño en algunas zonas. Estas fases que constituyen el descorche propiamente dicho pueden concentrarse en los periodos más favorables en cada alcornocal y de esta forma optimizar los recursos humanos, minimizar daños a los árboles y aumentar la productividad del descorche.

4. Recomendaciones de salud laboral en los descorches

El descorche es una actividad que requiere personal altamente cualificado y aunque no hay mejor formación que los años de experiencia, todos los trabajadores deben recibir formación preventiva específica sobre su puesto de trabajo, con el fin de evitar o minimizar los riesgos a los que se expone, reducir el número de accidentes y minimizar sus consecuencias haciendo un uso adecuado de equipos de protección individual y con la aplicación de medidas de seguridad colectiva.

Antes de comenzar el descorche.

- La práctica del descorche implica el uso de herramientas y máquinas de corte como el hacha y motosierras. Por ello se recomiendan una serie de precauciones generales:

    - No trabajar en ningún caso solo en el monte.

    - Contar con la herramienta adecuada y en buen estado.

    - Llevar un equipo de trabajo fuerte y ligero, adecuado para este tipo de actividad.

    - No permitir trabajar solos sobre un árbol a obreros no cualificados.

    - Contar con un botiquín de urgencias y vehículo dispuesto para la evacuación de un posible herido.

    - Garantizar el suministro de agua a los trabajadores, dado la dureza del trabajo y el calor existente en la época de descorche.

Preparación de la herramienta.

- El hacha deberá estar perfectamente afilada para un buen uso, el mango se encontrará perfectamente unido a la cabeza, sin holguras. Durante el transporte en la mano, debe sujetarse por el cuello y con el filo dirigido hacia adelante. Debe mantenerse una distancia de seguridad entre los sacadores cuando transportan un hacha.

- Las burjas, escaleras, piedras de afilar, etc., deberán conservarse en buen estado de uso. Deben quedar a cargo de cada collera que las transportará al tajo y, al final de la jornada, las entregará al encargado.

Preparación del árbol.

- Al llegar al árbol a descorchar, en primer lugar, se debe limpiar la zona de trabajo de posibles estorbos, brotes de cepa de pequeño tamaño, piedras u otros objetos y a continuación se limpiará la superficie del árbol de brotes y se eliminarán las ramas bajas que entorpezcan el trabajo. Por último, se repartirá el trabajo arriba del árbol y desde el suelo.

Durante el descorche.

- Habrá que comprobar, cada vez que sea preciso, el correcto afilado del hacha, la adecuada unión del mango y la cabeza y no golpear ninguna superficie diferente del corcho.

- Cuando no se utilice la herramienta, se depositará con suavidad en lugar visible y estable.

- Cuando se utilice el bisel para despegar el corcho, el mango del hacha se sujetará por el cuello y con el filo hacia abajo. En algunos tipos de hacha es preciso rebajar ligeramente los gavilanes para evitar cortes en los brazos al asirla por el cuello. Entre árbol y árbol se transportará el hacha por el cuello y con el filo hacia delante.

- Se procurará no dejar abandonadas las herramientas. Cada trabajador o collera debe responsabilizarse de las suyas, evitando cambios de mano de las hachas.

- En general, el descorche debe realizarse por colleras y en ningún caso un sacador inexperto trabajará solo. Los miembros de la collera realizarán el trabajo claramente separados en el árbol y siempre se deberá avisar de cualquier operación que entrañe riesgo.

- Si ambos sacadores están en el suelo, cada uno trabajará hacia la espalda del compañero, nunca enfrentados. Si se trabaja arriba y abajo, lo harán en zonas diferentes del árbol, avisando el de arriba de los desprendimientos de corcho. Además, el trabajador de arriba ascenderá al árbol sin el hacha, esta le será entregada por el compañero, siempre sujetándola por el cuello y con el filo hacia fuera, realizándose la operación inversa al descender.

- Tanto al ascender como al descender, se asegurará correctamente la escalera al árbol y se sujetará por el compañero si es preciso.

- En todos los casos, se mantendrá una distancia prudencial con otros trabajadores cuando se maneje el hacha.

Posteriores al descorche.

- Una vez descorchado el árbol, las planchas resultantes serán rajadas, transportadas y apiladas, recomendándose las siguientes medidas de seguridad:

  - Vigilar el correcto afilado de la navaja de rajar.

  - En el rajado de piezas grandes, utilizar la navaja de fuera hacia adentro y manteniendo la trayectoria entre las piernas.

  - En piezas pequeñas puede rajarse sobre la rodilla, pero siempre con la línea de rajado de izquierda a derecha y fuera de la pierna.

  - Rajar siempre las planchas de corcho por el lado de la barriga.

  - Al recoger corcho apilado de días anteriores, tomar precauciones con la presencia de escorpiones, arañas u otros animales que se refugian bajo las planchas.

5. Legislación española sobre descorche

En España la regulación de la selvicultura del alcornoque, sobre todo el descorche, está recogida por la normativa autonómica (tabla V.2).

Tabla V.2. Normativas autonómicas que regulan la selvicultura y descorche del alcornoque.

Comunidad Autónoma	Norma
Andalucía	Orden de 26 de septiembre de 1988, por la que se dan instrucciones para la ejecución de determinados trabajos en montes, en régimen privado, poblados con encinas y alcornoques.
Castilla – La Mancha	Orden de 9/3/2011 por la que se aprueban pliegos especiales de condiciones técnico-facultativas, para la regulación de la ejecución de los aprovechamientos forestales (maderables y leñoso, incluida la biomasa forestal, y corcho).
Cataluña	Ordre d'11 de maig de 1988, sobre regulació de l'obenció del suro i del pelegrí i de la millora de suredes.
Extremadura	Ley de la Dehesa de 1986 y decreto 134/2019 por el que se regula la realización de determinadas actuaciones forestales en el ámbito de la Comunidad Autónoma de Extremadura y los Registros de Cooperativas, Empresas e Industrias Forestales y de Montes Protectores de Extremadura.

Del estudio comparado de estas normativas se pueden extraer algunos elementos comunes de de la gestión de los descorches (tabla V.3).

Tabla V.3. Estudio comparado de las normativas autonómicas.

		Andalucía	Castilla - La Mancha	Cataluña	Extremadura
	CAP (cm)		> 65		> 70
Desbornizamiento	CD		< 2		
Saca segundera	CD		< 2,5		
Perímetro mínimo en rama (cm)			65		60
Período de saca		1.6 a 1.9		15.5. a 30.10	15.5 a 15.8
Turno de saca (años)		9	10	12 a 16	9 a 15
Mesas			Prohibidas		distanciadas > 3 años
Ruedos			Facultativos		
Precauciones fitosanitarias		si		si	
Extraer el corcho que no se dé			Prohibido		
Realizar heridas capa madre			Prohibido		
Descorchar días de viento o lluvia			Prohibido		Prohibido
Dejar las zapatas			Prohibido		
Golpear revés hacha			Prohibido		
Descorchar raíces			Prohibido		
Descorchar árboles podados < 3 años			Prohibido		Prohibido
Descorchar árboles afectados por circunstancias externas que hayan producido su extremo debilitamiento			Prohibido		
Notificación descorche previa Administración		Todos descorches	Alcornocales plan gestión		Todos descorches
Solicitud autorización		Algunos descorches	Alcornocales sin plan gestión		Algunos descorches
Reconocimiento final por la administración			si		

Caso particular VI. El aprovechamiento resinero

Aída Rodríguez García

1. El aprovechamiento resinero, breve historia

El hombre y la naturaleza han interaccionado a lo largo de la historia dando lugar a un aprovechamiento de productos, nuevos usos y el propio desarrollo. La resina, sustancia almacenada y secretada por distintas coníferas, es uno de los productos de la naturaleza que ha sido extraído y transformado probablemente desde el comienzo de esas interacciones.

La producción de resina es un rasgo común a todos los pinos, y gran parte de las coníferas. El naturalista y enciclopedista Plinio (23- 79), en su *Naturalis Historia* (XVI), da una relación de los árboles productores de la pez, dice: "*Picem in Europa sex genera cognaturum arborum*" (la pez en Europa la hacen seis géneros emparentados). La pez, resina cocida, ha sido un producto básico en la historia y desarrollo de los pueblos, entre cuyos usos destaca el calafateo de barcos, su uso en tareas cotidianas como la iluminación con teas, el sellado y embadurnado de pieles, pellejos y ánforas, el *peguntado* o marcado del ganado o con actividades bélicas (teas, flechas impregnadas, pez hirviendo, etc.) (figura VI.1) (Langenheim 2003).

Figura VI.1. Calafateo de barcos. Utagawa Kuniyoshi. (1797-1861). Japón y extracto de Les Chartrons et Bacalan. Lacour, P. (1804) Burdeos. Francia

Estos usos dieron lugar a que, en el siglo XIX, Gran Bretaña, con un gran imperio pero sin masas de pinar para abastecerse, crearon e impulsaron la industria resinera en América que dará lugar a lo que desde comienzos del siglo XVII se denominó como "naval stores" o "suministros navales" refiriéndose a los productos resinosos en general (Coppen and Hone 1995).

La resina y sus derivados adquieren tanta importancia que "El Comité de Material de Guerra de los Estados Unidos de América" durante la Segunda Guerra Mundial escribe "ningún barco podría hacerse a la mar, ningún avión podría volar ni disparar ningún fusil si, por cualquier circunstancia, se interrumpiese la producción de resina" (Nájera y Rifé 1951). Durante más de un siglo los Estados Unidos serán los mayores productores de productos resinosos y llevarán a cabo programas de investigación relacionados con extracción y transformación de la miera (Coppen and Hone 1995).

Bajando la mirada a escala nacional, a finales del s. XIX la extracción de resina deja de ser una actividad artesanal en nuestro país y entrará en una fase industrial (Uriarte 1998). Durante más de cien años desde este momento, el aprovechamiento resinero se establece en nuestro país como un elemento clave en muchas localidades, tanto para el desarrollo de su economía como para la generación de una cultura asociada, así como, por último y como ha sido señalado desde recientes publicaciones, permitir la conservación de distintos valores ambientales (Soliño et al. 2018).

Desde inicios de siglo XX el crecimiento en la producción es continuo y en esa época tendrá lugar la creación de la Unión Resinera Española que tanta influencia tuvo en el desarrollo del aprovechamiento. La revolución industrial que tiene lugar durante esas décadas posicionará a la resina en un lugar estratégico dentro del sector forestal con la industria y el comercio internacional como motores de este aprovechamiento (Uriarte 1998).

Aunque EEUU se mantenía a la cabeza en la producción de resina, en las primeras décadas del siglo XX España llegó a ser el tercer país productor y exportador de productos resinosos (Uriarte 1998). Hacia 1927, las explotaciones y fabricantes se habían multiplicado en el territorio, pero comienza a ser notable el efecto de lo que sería la depresión de los años 30 con un descenso significativo de los precios. Esto dio lugar a un periodo de gran inestabilidad con distintos intentos de estabilizar el sector que crearán en 1935 "La Central de Resinas Españolas" y en 1939 la rama de resinas, colofonias y derivados de la "Comisión Reguladora de la Industria Química" (Uriarte 1998).

Entre 1939 y 1943 se impusieron multitud de medidas de carácter provisional mientras se esperaba la elaboración de una ordenación completa del sector mediante la "Ley de Ordenación de la Industria Resinera" que se aprobó en marzo de 1945. Esta ley estuvo vigente hasta el año 1952, sin llegar a desarrollarse de manera completa, año en el que se derogó volviendo al régimen tradicional de subasta y la libre circulación y venta de productos resinosos.

A partir de los años 60 la economía española sufrirá un fuerte crecimiento y como consecuencia el sector encuentra un periodo de estabilidad y un importante incremento en la producción con su máximo histórico en 1961 que supera las 55 000 t y unos 4 800 resineros implicados en el aprovechamiento (figura VI.2) (Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino 2008; Hernández 2009). Este tipo de aprovechamiento llegó a realizarse en más de una veintena de provincias y en más de 400 pueblos hasta mediados del siglo XX. Puede considerarse que la actividad resinera constituyó la principal fuente de desarrollo de los pueblos con pinares de *Pinus pinaster* y llevó a la práctica total ordenación de sus montes de Utilidad Pública. Esta sería la última etapa expansiva del sector, después de este momento comienza una fase de regresión del aprovechamiento (Sánchez-González et al. 2020).

La producción alcanza las 17 000 t en 1977, la mitad que, en 1976, coincidiendo con una crisis internacional en los precios de las resinas naturales (Nanos et al. 2000). En esta época se establecieron medidas de apoyo que, sin embargo, no lograron estabilizar la situación encontrando otra caída a principios de la década de los 80. A pesar de varios intentos más de reestructuración (Plan de Reestructuración del Sector Resinero de Castilla y León 1987-1991), se observa una línea decreciente en la producción con mínimos en 1991 (algo más de 1 000 t año^{-1}) (Llorente 1998) que supuso prácticamente el cese de las extracciones (figura VI.2).

Entre las causas de este retroceso se encuentran:

- Gran dificultad de competencia del producto español frente a las exportaciones masivas de China, Indonesia y Brasil, en un mercado con fuertes oscilaciones.

- Deficientes infraestructuras, fábricas anticuadas y atomizadas, contratación poco flexible de los resineros y elevadas cargas fiscales para propietarios.

- Dificultades en la introducción de los sistemas de resinación más eficaces y la exclusión de los productos resinosos en las negociaciones de la CEE.

- La pérdida de mercado de los productos resinosos en favor de los derivados del petróleo.

- El desarrollo económico en España que supuso un fuerte desplazamiento de la población de las zonas rurales a las urbanas.

Figura VI.2. Evolución de la extracción de resina en España (1912-2017). (Fuente: Sánchez-González et al. 2020).

Pocos años después este mismo proceso se produce en Portugal (al igual que años antes había ocurrido en Francia) y desde entonces y hasta el año 2010, el mercado mundial se mantiene monopolizado por China.

El abandono casi total que se observa en 1991 se corresponde con unos precios muy bajos de aguarrás y colofonia en el mercado internacional, 0,46 € kg^{-1} y 0,42 € kg^{-1}, respectivamente (Alemany 1998), precios que no era posible asumir con los costes de extracción nacionales (Pinillos et al. 2009). Posteriormente al año 1991 se aprecian pequeñas recuperaciones, pero la tendencia general es decreciente hasta las 1 443 t en 2008 (MARM 2013). Este último descenso se justifica por la jubilación de los antiguos resineros y la falta de incorporación de trabajadores al sector, dadas sus características de rudeza y poca valoración social, entre otras causas (CESEFOR 2008).

A finales del siglo XXI, el aprovechamiento resinero alcanza una situación cercana a la desaparición con producciones para todo el país de 1 400 t que se dan da manera casi exclusiva en la provincia de Segovia, que había sido históricamente la más productiva y con mayor tradición (Pinillos et al. 2009; Servicio Territorial de Medio Ambiente de Segovia 2011). Esta provincia fue la única que mantuvo la continuidad de la actividad y se estimaron en unos 350 el número de resineros, transportistas y personal técnico y de laboratorio, que, a tiempo completo o con dedicación parcial, obtenían rentas de esta actividad en 2009 (Álvarez 2009).En otras provincias, la resinación pasó a tener un carácter marcadamente residual, como es el caso de Valladolid, Soria y Ávila (Plan Forestal de Castilla y León, 2000; MARM, 2013) o de desaparición como en los pinares de Tabuyo (León).

A partir del 2010 la coyuntura socioeconómica marca un cambio claro en la tendencia de las cifras que hemos visto hasta este punto. Las razones de este cambio se suelen dividir en la distinta literatura consultada como:

1. Factores de efecto inmediato con claras consecuencias a nivel nacional, como son:

- Un ascenso de los precios de mercado internacional motivada principalmente por el incremento del precio de las importaciones de China como consecuencia de su propio consumo de miera (Cunningham 2021).

- La crisis laboral en nuestro país que dio lugar a una reestructuración en las posibilidades de empleo, destacando dentro del medio rural.

2. Factores con implicaciones a más largo plazo, como son unas políticas europeas con su correspondiente reflejo en las nacionales, que ponen en valor distintos aspectos del aprovechamiento resinero:

- El desarrollo rural basado en el aprovechamiento de recursos endógenos (Iniciativas Comunitarias FEDER y LEADER).

- La conservación de socioecosistemas multifuncionales de carácter sostenible y sus consecuencias (programas de conservación de la naturaleza, Programa fuego, programas de conservación de recursos genéticos, etc.).

Esta situación dio lugar a una revitalización del sector que se vio reflejada tanto en los datos de producción como en las nuevas incorporaciones y, por último, en la aparición de nuevos proyectos con financiación europea y nacional para el impulso de la innovación y desarrollo de la actividad resinera.

2. La resina

La producción y secreción de resinas es un mecanismo presente en muchas coníferas cuyo principal objetivo es crear una barrera fisicoquímica de defensa frente a ataques bióticos y abióticos. Este proceso de síntesis y almacenamiento de este compuesto tiene lugar en unas estructuras denominadas canales resiníferos presentes en distintos géneros (Kolosova and Bohlmann 2012).

En concreto, el género *Pinus* presenta una densa y extensa red de canales resiníferos en sentido axial y radial interconectados presente en todos los órganos, tanto en los tejidos primarios como secundarios (figura VI.3) (Fahn and Benayoun 1976).

Dentro del género *Pinus*, además de los canales resiníferos de tejidos primarios, se desarrollan también canales en el tejido secundario sin necesidad de estímulos externos (canales constitutivos) siendo éste un carácter distintivo frente a otras coníferas (Fahn 1988). Esta característica, y la citada densidad de canales de este género, ha hecho del mismo el principal dentro de las coníferas que ha sido aprovechado por el hombre para la extracción de esta sustancia. El desarrollo de los canales y los procesos de síntesis y secreción de resina han sido ampliamente estudiados en el género *Pinus*, y, concretamente, entre los pinos ibéricos, por Fahn y Benayoun (1976).

Desde el punto de vista del compuesto en sí, la resina es un compuesto defensivo (Lewinsohn et al. 1991) que se compone de una mezcla de monoterpenos -C10-, sesquiterpenos -C15- (ambos volátiles), y diterpenos o ácidos resínicos - C20- (como fracción no volátil) (Celedon and Bohlmann 2019) que darán lugar a las dos primeras fracciones en las que se transforma la miera; aguarrás (parte volátil) y colofonia (no volátil).

Un breve resumen del proceso de síntesis de estos compuestos nos muestra que los fotosintatos formados por las acículas son transportados vía floema hasta las células que rodean el canal. Esta fuente de carbono se transformará en el interior de estas células en las citadas moléculas terpénicas. Una vez sintetizadas se lleva a cabo su transporte fuera de la célula secretora al lumen del canal donde queda almacenada la resina mientras no haya una rotura de las estructuras que la haga salir al exterior.

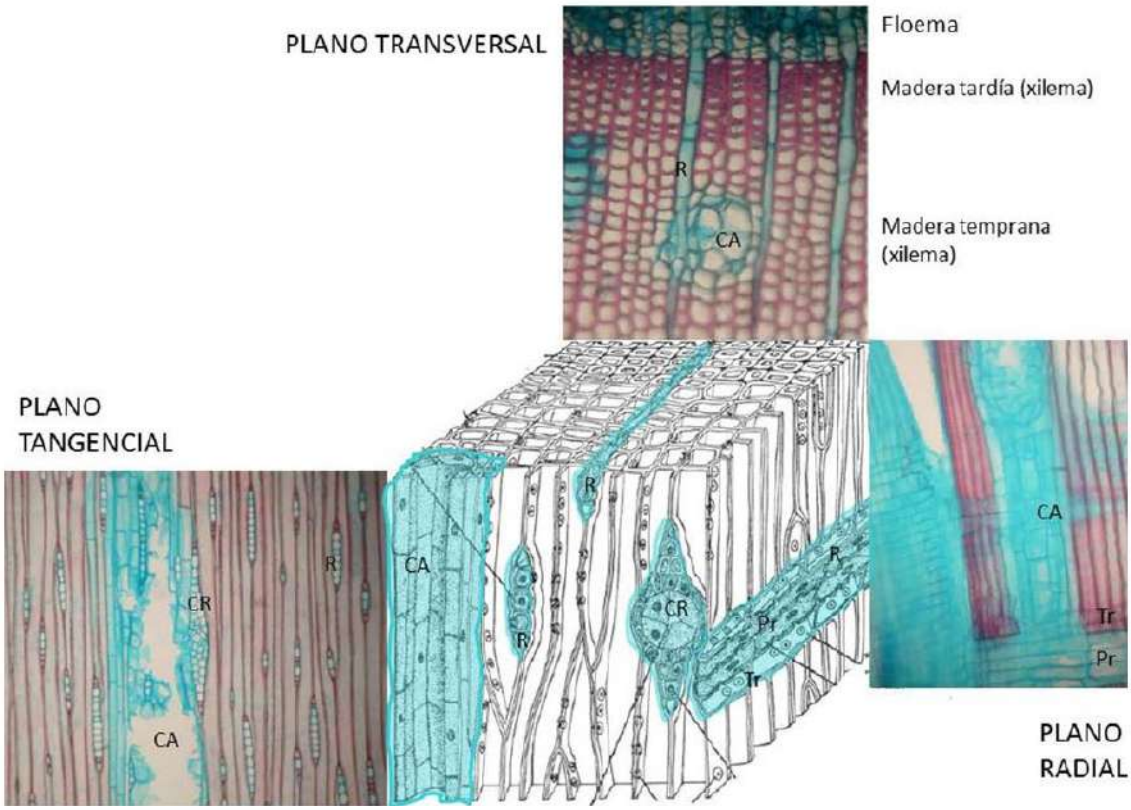


Figura VI 3. Características anatómicas del leño de *Pinus pinaster* en sus tres planos de corte; transversal, tangencial y radial. En azul se encuentran destacadas las estructuras anatómicas relacionadas con la síntesis y almacenamiento de resina; canales axiales y radiales. CA, canal axial; CR, canal radial; R, radio leñoso; Tr, traqueida radial; Pr, parénquima radial. (Fuente: Rodríguez-García 2016)

A lo largo de la larga vida de una conífera, ésta se va a encontrar expuesta a numerosos estreses, bióticos o abióticos, de distintas características e intensidades, y su capacidad de respuesta va a determinar su éxito evolutivo. El sistema de defensa que constituye esta red de canales llenos de resina genera una combinación de barreras físicas y químicas que se distribuyen en diferentes órganos del árbol y se expresan en momentos determinados (Kolosova and Bohlmann 2012). Dentro de los diferentes estímulos que llevan al desarrollo de canales y la síntesis de resina, el efecto de las heridas (Luchi et al. 2005; Ruel et al. 1998) adquiere especial importancia al ser el método usado para la obtención de resina en la actividad resinera.

Como consecuencia del sistema de canales interconectados que constituye el sistema constitutivo de defensa de *P. pinaster*, la planta contiene una cantidad determinada de resina almacenada en los mismos. Una vez llenos de resina los canales axiales y radiales las células epiteliales cesan su función secretora hasta que no se produzca por algún fenómeno externo el proceso de vaciado. Una vez realizada la herida, la resina constitutiva empieza a fluir inmediatamente por los canales puestos al descubierto (figura VI.4) que conectan la red de canales axiales y radiales que la almacenaba (Nagy et al. 2006). Este flujo de resina cesa entre los 4-8 días como consecuencia de una disminución de presión y en segundo lugar por la cristalización de la resina que tapona la herida (Rissanen et al. 2016).

Posteriormente, comienzan una serie de procesos inducidos por la herida que incluyen la síntesis de nueva resina en torno a los 3-4 días tras la lesión y la formación de canales traumáticos en torno a los 15 días en los tejidos próximos (Eyles et al. 2010; Hudgins et al. 2004).

Por último, procesos vinculados con la denominada resistencia inducida (Moreira et al. 2014, 2015) ponen en marcha la formación de nuevos canales en la zona próxima pero también en zonas más alejadas de la herida que dotan al árbol de un mejor sistema de defensa frente a futuros ataques. Esta formación de canales puede darse desde los primeros 15 días tras la herida hasta el año siguiente a la realización de la misma (Eyles et al. 2010; Franceschi and Krekling 2005; Krekling et al. 2004).

Figura VI.4. Flujo de resina como consecuencia de la ruptura de canales resiníferos por herida de resinación (Fuente: Fundación Cesefor).

Por último, la resinación está fuertemente vinculada con la climatología (Pardos et al. 1976). De manera general, la campaña resinera se inicia a primeros de marzo y se termina entre octubre y noviembre. Además del saber popular, nos encontramos con abundante bibliografía científica que ha establecido que el flujo de resina se encuentra afectado por las condiciones ambientales, entre ellas las climáticas. Podemos hablar de dos vías de interacción entre el clima y el flujo de resina; por un lado, de manera directa a través de la temperatura que afecta disminuyendo la densidad de la resina y en consecuencia incrementando el flujo (Pardos et al. 1976, Rodríguez-García el al. 2015, Rissanen et al. 2016), y de manera indirecta afectando a las estructuras anatómicas que se encuentran implicadas en los procesos de síntesis y secreción de resina (Blanche 1992, Ruel et al. 1998). Los máximos del flujo de resina en coníferas han sido relacionados con los meses de finales de primavera y los de verano o con periodos de un moderado déficit (Lombardero et al. 2000, Rodríguez-García et al. 2015).

El comprender los efectos intra e interanuales de las condiciones climáticas y disponibilidad hídrica en los pinares resinados es esencial para las mejoras en la planificación del aprovechamiento. Además, esto adquiere especial relevancia en el actual escenario de cambio climático según el cual la región mediterránea se verá cada vez más afectada por condiciones climáticas más extremas con descensos en las precipitaciones, sequias más extensas, temperaturas estivales más altas y concentraciones de lluvias intensas en cortos periodos (Giorgi and Lionello 2008).

3. Las técnicas de extracción de la resina

Las primeras referencias de las técnicas de extracción de resina las encontramos en torno a 3000 a.C. con el uso de la brea por los minoicos (Meiggs 1982) y ya entorno al año 300 a C. se describe el proceso de resinación y la fabricación del alquitrán vegetal, la brea o los distintos tipos de pez por Teofrasto en su libro Historia de las plantas. La pez se obtenía mediante la destilación de la madera de los pinos, en un proceso similar a la carbonización; una combustión lenta de la madera enteada en unos hornos primitivos conocidos como pegueras en los que se introducían las partes más resinosas de la planta previamente arrancadas (figura VI.5). Otro método primitivo consistía en realizar grandes incisiones en las bases de los árboles que favorecidos por las altas temperaturas provocaban el flujo de la resina durante gran parte del año que era recogida en hoyos abiertos en el suelo donde se sometía posteriormente a cocción. Este tipo de prácticas son conocidas como resinación a muerte ya que el árbol era aprovechado obteniendo la mayor cantidad de miera en el menor tiempo posible lo que llevaba con frecuencia a la muerte de la planta.

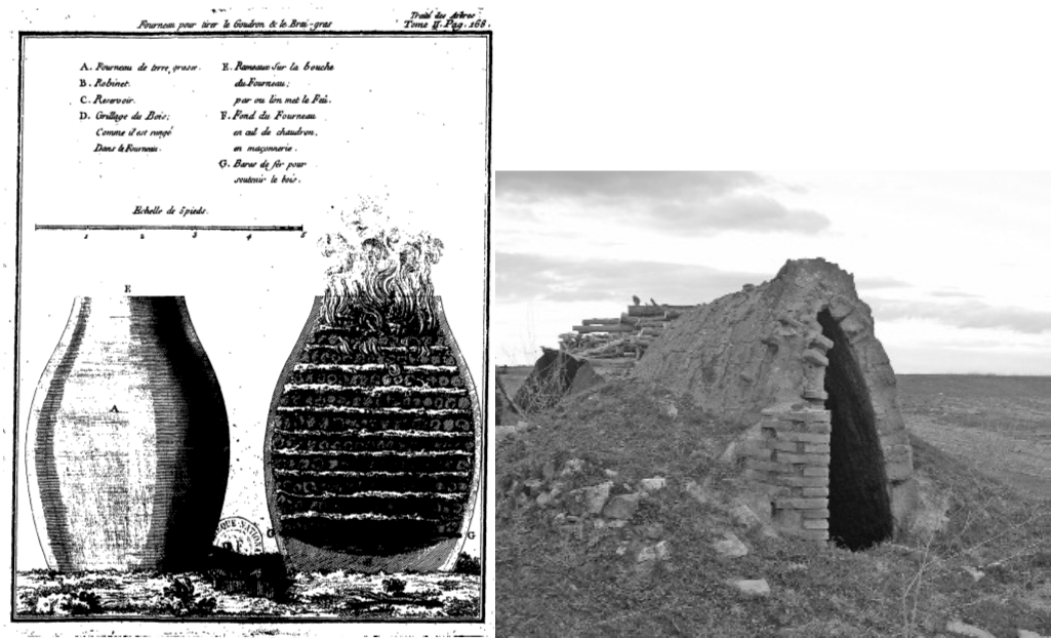


Figura VI.5. Horno para preparar el alquitrán y la brea según el Tratado de Plantas de Duhamel du Monceau (a) y horno de peguera junto a la fábrica de resinas, en Lastras de Cuéllar, Segovia (b) (Fuente: Duhamel du Monceau 1755 y Martínez 2010).

La siguiente referencia a la evolución de las técnicas se encuentra a mediados del siglo XVIII cuando Duhamel du Monceau completa el capítulo dedicado a los pinos de su Tratado de árboles y arbustos que se cultivan en Francia (1755) con 13 observaciones que sintetizan lo que puede considerarse la primera teoría de la resinación.

En la segunda mitad del siglo XIX se data la que será la principal modificación en las técnicas de extracción con la aparición del método *Hugues* o *a vida* que en1862 se introduce en España por los hermanos Falcón (fundadores junto con Ruiz y Llorente de la Resinera Segoviana). Esto

tuvo una gran importancia sobre la gestión de los pinares ya que con esta técnica los árboles resinados permanecían en pie muchos más años mientras eran aprovechados. Además, asociado a este método se incorporó un nuevo sistema de recogida, el pote, que mejoraba tanto la calidad como la cantidad de la miera que se recogía (Nájera 1942).

3.1. *El método Hugues*

El método Hugues consiste en renovar periódicamente la exudación (cada 7 días como media) a través de cortes en la propia madera, retirando una fina capa sobre la anterior de manera reiterada. En este método, las incisiones se realizaban desprendiendo láminas de madera de forma longitudinal, incisiones cóncavas de unos 12 cm de anchura y no más de 1,5 cm de profundidad, con una herramienta denominada hacha gubia, rubia o azuela. Al realizar el corte de la madera se consigue que la resina que se encontraba almacenada en los canales resiníferos fluya y al repetir la herida cada 6 ó 7 días se evita que deje de fluir por la cristalización rompiendo de nuevo los canales. De esta manera, se trabaja el tronco en 4 ó 5 caras u orientaciones que se trabajaban hasta 6 años cada una, llegando a una altura de más de 3 m. En cada una de las heridas o picas, el resinero seccionaba parte de la corteza, el cambium y una porción de madera o albura. En esta técnica ya era necesario retirar la corteza para desarrollar los trabajos y la recogida se hacía en los denominados potes, que eran de barro. El uso de la herramienta, la frecuencia necesaria para refrescar y la altura a la que se trabaja hace de este método duro físicamente y exigente en cuanto a la técnica. Desde la entrada del método Hugues, la técnica de extracción se mantuvo igual durante cerca de un siglo, hasta que a mediados del siglo XX se introdujo el sistema de pica de corteza con estimulación química.

3.2. *El sistema de pica de corteza con estimulación*

Con este cambio en la técnica se logró reducir el esfuerzo y la pericia que exigía el sistema de Hugues pero al mismo tiempo se conseguía también menor impacto en la madera e incrementar el tiempo entre picas, lo que daba lugar a una mayor rentabilidad.

Estas innovaciones fueron implantadas gracias a la existencia de un grupo de investigación específico de esta materia en el IFIE (Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias; trabajos

de la sección de resinas), posteriormente el INIA (Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias) tomó el relevo. A partir de los años 50 aparecen abundantes publicaciones en las que se proponen mejoras para el sistema de pica de corteza, los estimulantes, y el ancho y frecuencia de las picas.

La principal diferencia con el método Hugues es la realización de la herida de resinación. El método de pica de corteza consiste en despegar estrechas franjas (entre 1,5 y 3 cm de alto y 12 cm de ancho) de corteza y floema hasta alcanzar el cambium, pero sin penetrar en el xilema. Esta

herida se denomina pica y se realiza con una herramienta especifica llamada escoda. La superficie sobre la que se trabaja en este caso es convexa y sigue la circunferencia del primer anillo del xilema, a diferencia del sistema de Hugues que penetraba con forma cóncava "*adentrándose en la albura con una flecha de 15 mm, medida desde la cuerda que une los bordes del liber*" (Nájera 1961) (figura VI.6). Además, una vez realizada la herida se aplica un estimulante químico que reduce la cristalización y estimula la producción de manera que se consigue alargar el periodo entre picas, lo que supuso una importante mejora en la rentabilidad en el aprovechamiento.

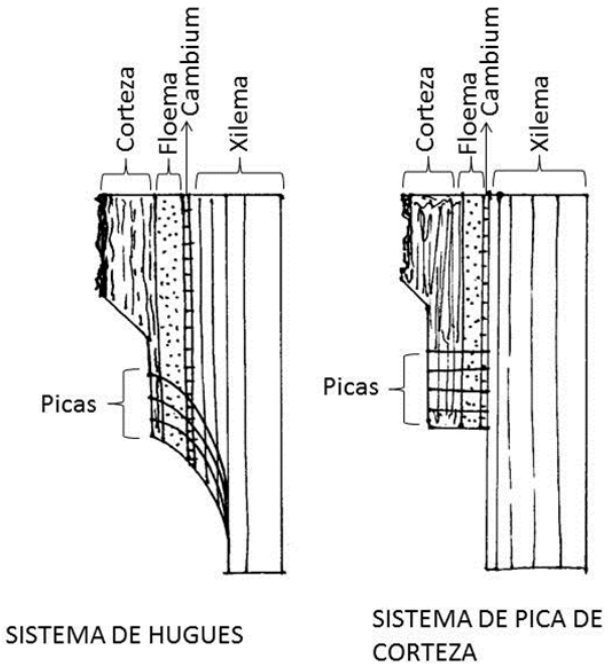


Figura VI.6. Esquema de la realización de picas en el sistema de Hugues y el de Pica de corteza y sus distintas influencias en la anatomía del fuste (Adaptado de Nájera 1961).

La campaña de resinación dura desde febrero o marzo hasta octubre o noviembre, coincidiendo con la actividad vegetativa del árbol. A lo largo de la misma, el resinero resinará un número de pinos, que se conocen como mata, que suelen oscilar entre 4 000 y 6 000 (con numerosas excepciones). De una forma más detallada, se describen las etapas de esta técnica, por ser la que se usa mayoritariamente en nuestros pinares hoy en día:

1. Operaciones de preparación del pino, que se realizan hasta el mes de abril (con algunas variaciones según las regiones de extracción) (figura VI.7). Comprenden:

- Descortezado o desroñe. Como en la técnica de Hugues, primero se descorteza toda la zona a trabajar durante la campaña La superficie descortezada (20 x 80 cm aproximadamente), debe quedar lisa y sin llegar a la madera, a este proceso de descortezar se le conoce como desroñe y es una actividad muy física y consume gran cantidad de horas de trabajo de un resinero. Esta superficie descortezada, en la que se realizarán las picas de la campaña,

se denomina entalladura y la orientación del árbol donde se trabajará ese año y los cuatro siguientes lleva por nombre cara.

- Clavadura. Después, en la zona más próxima al suelo, se realiza una hendidura con una herramienta denominada medialuna o uve, en la que se introduce una pieza metálica que se denomina grapa. Esta pieza tiene como objetivo conducir la resina hasta el pote (de barro o en los últimos años de plástico), donde se almacena. Este recipiente se sujeta en una punta que se clava a la altura de su base. Una vez realizado el desroñe y la clavadura se realizan unas incisiones paralelas a lo largo de la superficie desroñada que limitan la zona donde se realizaran las picas que presentan un ancho de 12 cm (condiciones indicadas en el pliego técnico).

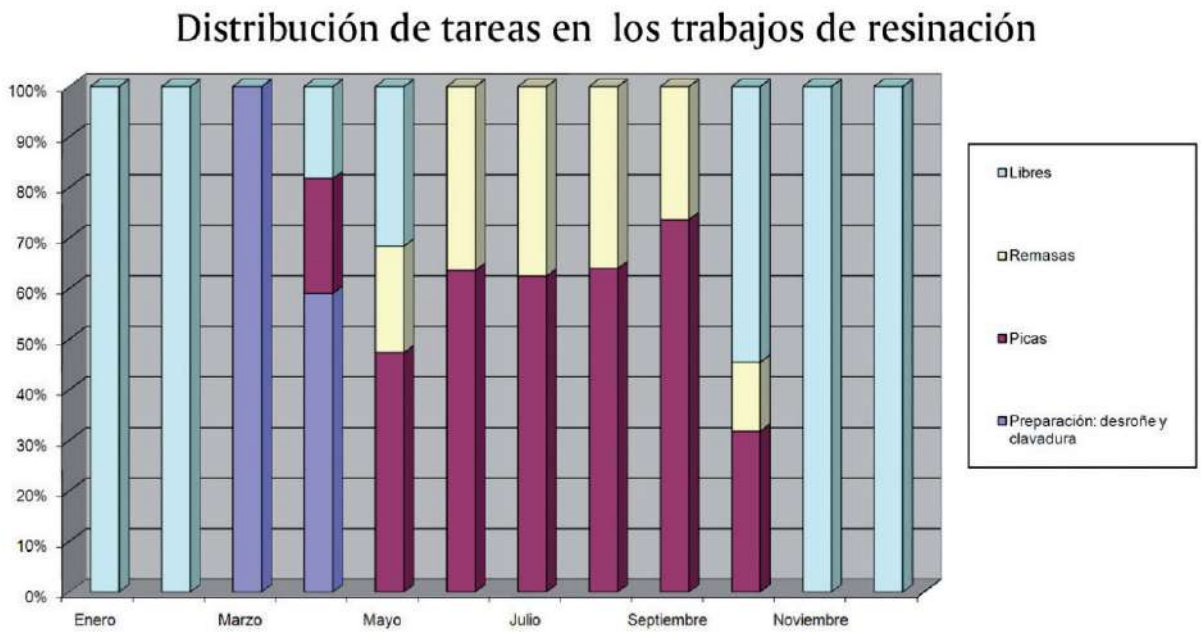


Figura VI.7. Distribución de las tareas de resinación a lo largo del año.

2. Pica. Se realizarán cada 14 ó 21 días, según el tipo de resinación que realice el resinero. La primera de las heridas o picas se realizará en la zona más baja de la cara descortezada (en el método tradicional ascendente). Una vez realizada la herida se aplicará un cordón de pasta estimulante con base ácida en la zona superior del rectángulo abierto (las distintas posibilidades de uso de pastas estimulantes se desarrollarán más adelante en este apartado). Esta primera herida se llevará a cabo en todos los árboles que esté resinando el resinero en esa campaña (mata). Una vez realizada en todos ellos se volverá a realizar la segunda incisión o pica encima de la anterior. Esta operación se realiza varias veces hasta terminar la campaña (en torno a octubre) con una periodicidad de entre 14 y 21 días, según el resinero. Al conjunto de picas que se dan en un árbol el mismo año se las denomina entalladura.

Este proceso se repetirá a lo largo de cinco años o entalladuras tras lo cual se habrá resinado una cara completa del árbol. Una vez finalizada la primera cara se repetirá la operación en la

segunda durante otros cinco y así durante 25 años que es el tiempo durante el cual un pino puede ser resinado (figura VI.8).

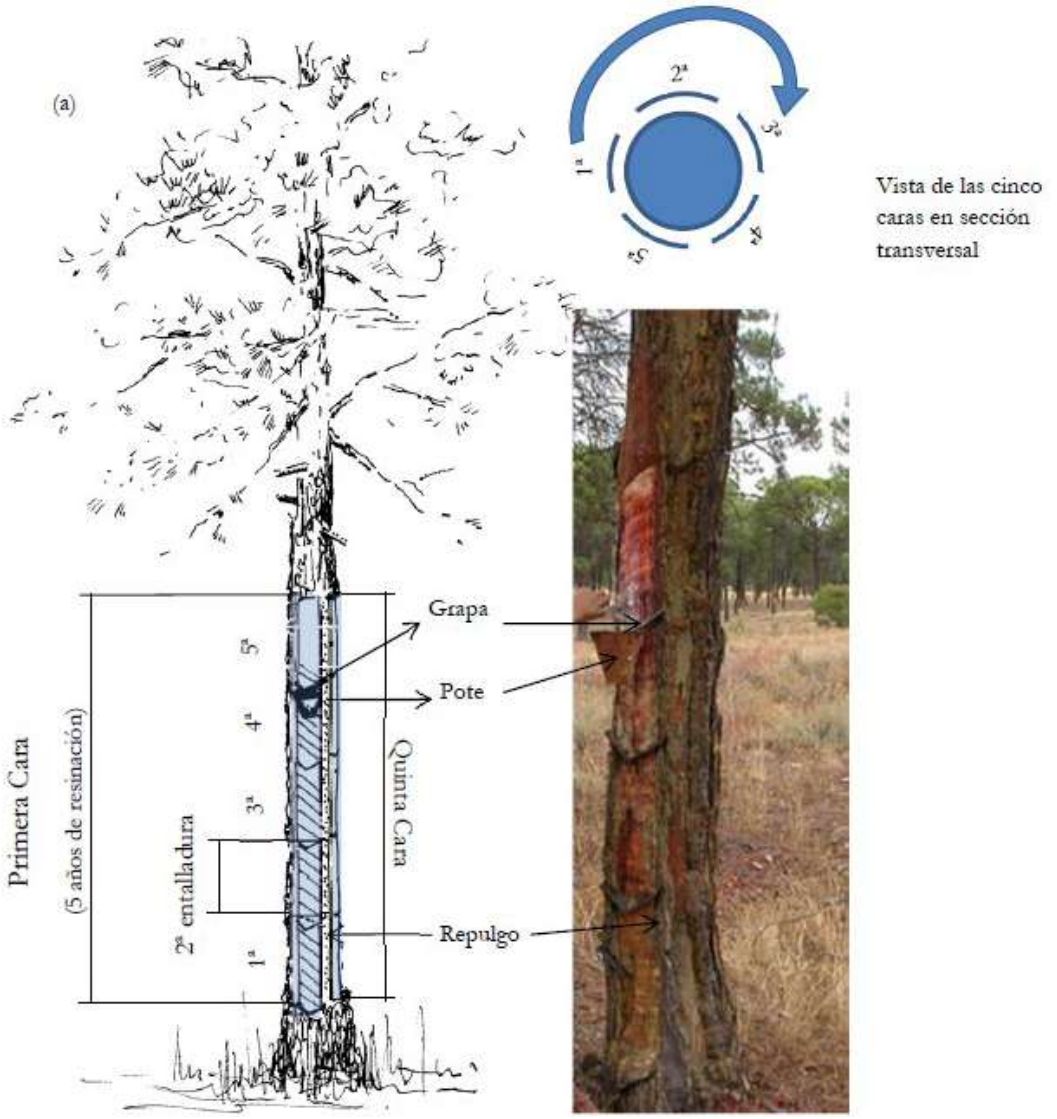


Figura VI.8. Esquema del proceso de resinación para un turno completo (25 años) mediante la técnica tradicional ascendente (a) y fotografía de la realización de la cuarta entalladura de la quinta cara (b). (Fuente: Rodríguez-García 2016).

Hay que destacar el espacio que queda entre las caras o repulgo (figura VI.8). Este espacio queda sin descortezar ni retirar ningún tejido y es el que permite la cicatrización de las heridas de resinación. Debe siempre respetarse para no comprometer la vitalidad de la planta.

Las fórmulas estimulantes utilizadas precisan de una descripción más detallada, ya que son uno de los campos de innovación de este aprovechamiento. La necesidad de resina en países con extensos bosques de pinos, pero de menor rendimiento, como era el caso del *Pinus sylvestris* en Alemania y Rusia, llevó a que se planteara, a principios de los años 30, el estudio de los medios y procedimientos más adecuados para la extracción de resina. Este

estudio condujo al descubrimiento de que el empleo de soluciones con ácidos fuertes, algunas bases y sales aplicadas a una pica recién hecha, tenían como resultado un gran aumento en la cantidad de miera segregada (Nájera y Rifé 1951). Estos trabajos fueron conocidos por el «Bureau of Agricultural and Industrial Chemistry» del Ministerio de Agricultura de los EE. UU. que en 1936 comenzó sus primeros ensayos con estimulantes.

De este modo, a mediados de los años sesenta, se introdujo en España la citada Pica de corteza con estimulante. Los primeros estimulantes que se utilizaron tenían como base ácido sulfúrico, que se aplicaba de forma líquida cada 6-7 días. Para solventar parte de los problemas de seguridad para el resinero que conllevaba trabajar con ácido sulfúrico líquido, surgieron las primeras pastas sólidas (Solís y Zamorano 1974). Se consigue además así alargar el periodo entre picas hasta los 14 días. Esta pasta es la que todavía se utiliza mayoritariamente en España y comúnmente se conoce como pasta tradicional. Sin embargo, el uso de ácido sulfúrico en el monte es controvertido debido a tres razones principalmente: i) la ya citada de seguridad para el resinero, porque se trata de un ácido fuertemente corrosivo capaz de quemar la piel y causar problemas pulmonares si se inhala, ii) afectando al árbol y la madera, iii) generando un residuo no deseado para la industria química de transformación. Es por ello que en la última década se viene trabajando en el desarrollo de nuevas pastas estimulantes alternativas.

Las pastas estimulantes contienen mayoritariamente un compuesto ácido que funciona estimulando el flujo y reduciendo la cristalización y un material portador para proporcionar adhesión sobre la herida. Las formulaciones más nuevas, y cuya utilización se ha extendido ampliamente por la Península Ibérica en los últimos años, incluyen Ethrel (también conocido como CEPA, ácido 2-cloroetilfosfónico), un precursor de etileno que estimula la producción y el flujo de resina (Michavila et al. 2020). Aparte del Ethrel, en los últimos años se han probado otros principios activos de diversa índole, tales como fitohormonas (auxinas), ácido salicílico o su sal ácido benzoico y jasmonatos, o adyuvantes como hierro, potasio o cobre (da Silva Rodrigues et al. 2011; Füller et al. 2016; Hudgins et al. 2004, 2005; Junkes et al. 2019; Rodrigues and Fett-Neto 2009, 2018).

3. Remasa. Durante toda la campaña, a medida que los potes se van llenando de resina, es necesario recogerla en una operación conocida como remasa. Tradicionalmente, el contenido de cada pote se vacía en una lata de mayor tamaño que va sobre el carretillo, y una vez llena la lata se vacía en las cubas o bidones, que posteriormente serán transportados a la fábrica. Esta labor puede llegar a suponer hasta el 40% del total del tiempo empleado por el resinero en cada campaña de manera que cualquier mejora en este campo supone importantes mejoras de rendimiento. Además, esta tarea es especialmente dura físicamente, sobre todo al final de la campaña cuando la temperatura es menor y la resina se encuentra casi sólida en los potes.

En 2011, en Segovia se comenzó a investigar el desarrollo de un exprimidor motorizado en la carretilla de remasa tradicional a la cual se le practicaron una serie de modificaciones.

Tras testear este prototipo, y aplicar las mejoras necesarias para mejorar su maniobrabilidad y rendimiento, se patentó en 2012 el modelo de carretilla de remasa HR4 junto con la Escuela Politécnica Superior de la Universidad de Burgos. Un año más tarde, después de unas adaptaciones se desarrolló la HR5. La mejora estimada en la producción de esta actividad se valora en torno a un 37%, siendo mayor en la última remasa, cuando la resina está más fría y, por consiguiente, más dura.

En el año 2018 se presentó una nueva innovación desde I+D FEJOJUSA que incorpora en una base de tractor los exprimidores conectados con motores conectados a un generador de gasolina. Este prototipo, está diseñado para la realización de la tarea de la remasa en cuadrillas.

En 2019 el proyecto Sustforest Plus presenta una nueva propuesta que mejora la eficiencia en la recogida del número de bidones en más de un 70%. Los rendimientos en kilogramos por minuto mejoran con el uso de la carretilla entre un 40% y un 80%.

4. Los agentes de la cadena de valor de la resina

La resina es un recurso natural cuya cadena de valor soporta elementos clave de la bioeconomía, los empleos verdes y la creación productos renovables con una baja huella de carbono. Esto supone que juega un importante papel en la implementación del Pacto Verde Europeo, ayudando a desbloquear el potencial de las soluciones basadas en la naturaleza, volviendo a conectar a la sociedad con los bosques y la silvicultura y ayudando a abordar algunos de nuestros retos mundiales y avanzar hacia una economía inclusiva, de neutralidad climática y positiva para la naturaleza y los paisajes resilientes gestionados activamente (Martínez De Arano et al. 2021.).

La cadena de valor de la resina (figura VI.9) abarca desde el monte hasta el consumidor final formando parte de cadenas alimentarias, el sector farmacéutico, cosmético, químico y del turismo y ocio. La escasa capacidad de negociación de los resineros, la existencia de sustitutos derivados de petróleo y resina importados equivalentes, junto con una industria formada por pequeñas y medianas empresas con un nivel de innovación limitado generan una gran competencia en los mercados y poca rentabilidad para los resineros en los primeros eslabones de la cadena y, por consiguiente, un elevado riesgo de abandono de la actividad, especialmente patente en países con ingresos más altos como España. Desde recientes publicaciones se señala la importancia de darle la vuelta a esta situación para reconocer los factores externos sociales y ecológicos positivos de una actividad como la resinera y reducir la competencia de los productos homólogos no renovables. Algunas de las condiciones necesarias son la regularización y profesionalización del trabajo, un régimen impositivo bien adaptado, además de modelos empresariales con capacidad para generar y compartir ingresos en todos los eslabones de las diferentes cadenas de valor.

Hay dos orígenes para la materia prima resina: la industria petrolera, que produce resina de hidrocarburos, y el bosque de pinos, donde se produce la resina natural. La resina natural presenta, asimismo, dos orígenes diferentes, uno a través de la industria de la celulosa, de los árboles talados y, finalmente, de los árboles en pie. La cadena de valor, descrita en la figura VI.9, responde a esta última materia prima. El ecosistema de la cadena de valor de la resina natural en la región mediterránea se caracteriza por un primer segmento netamente forestal (0). La extracción de la miera es llevada a cabo por los resineros (1), que son trabajadores forestales especializados bajo la supervisión del gestor forestal. La materia prima recogida por estos trabajadores es procesada inicialmente por la industria primaria (2) mediante la destilación en colofonia (3), esencia de trementina o aguarrás (4) y agua. A continuación, estos productos se insertan en cadenas más sofisticadas mediante la transformación química de los componentes esenciales de la resina (5) (6). Su versatilidad tecnológica lleva los compuestos derivados de la resina natural al consumidor final (7) como parte de productos de alto valor añadido como cosméticos, adhesivos, tintas y recubrimientos o productos farmacéuticos entre otros. El ecosistema se completa con organismos administrativos, organizaciones subsectoriales e instituciones académicas y de investigación que intervienen en cada uno de los eslabones de la cadena de valor.

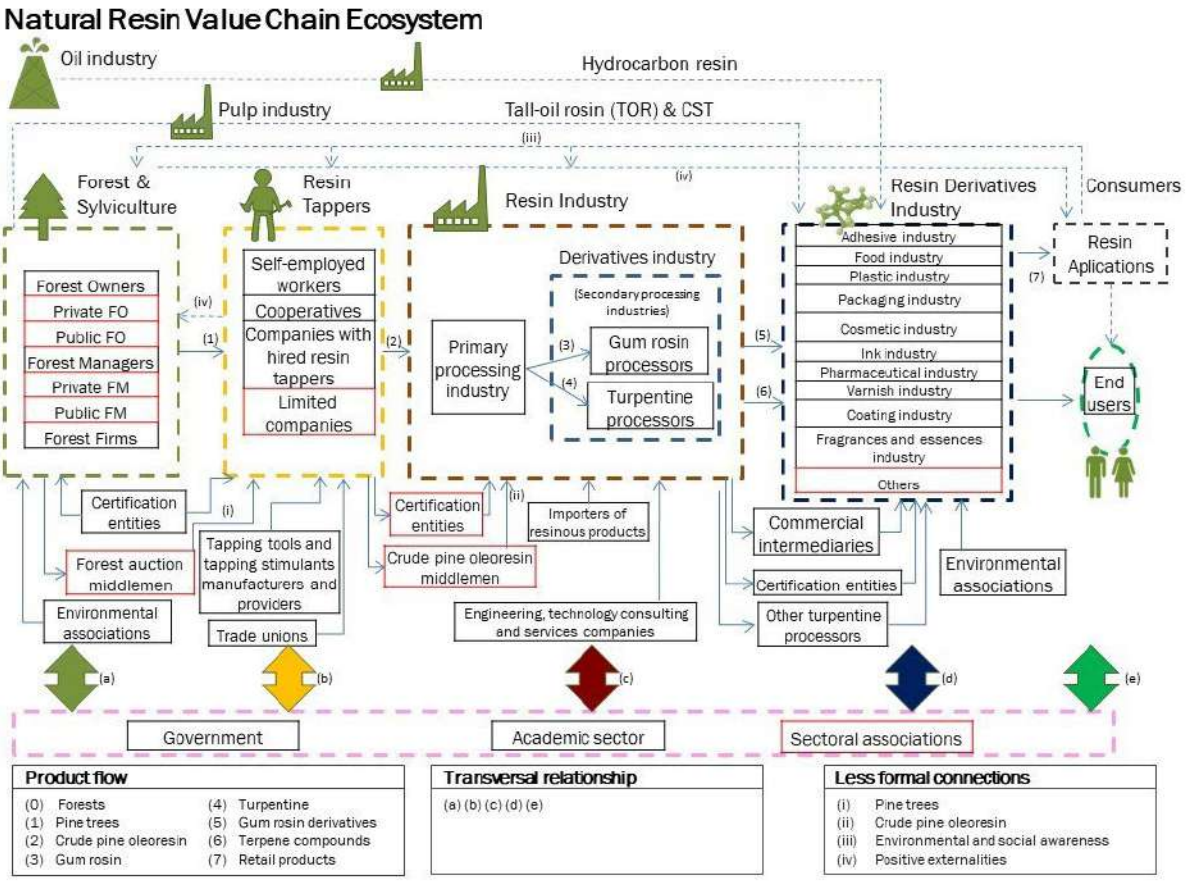


Figura VI.9. Esquema de la cadena de valor de la resina. Más información en el proyecto INCREDIBLE.

5. La ordenación y selvicultura del monte resinado

5.1. La especie

Como se señalaba en el apartado sobre la resina, la producción y secreción de resinas tiene lugar en gran número de coníferas y por ello se han resinado en España distintas especies del género *Pinus*. En la estadística de producción de resina de los años 40 y 50 se hace referencia a las especies resinadas y encontramos el *P. nigra* en las provincias de Cuenca, Guadalajara (en la revista Montes de 1919 se pueden encontrar producciones de una experiencia en esta especie) y *P. halepensis* en provincias como Albacete, Granada y Zaragoza. En 1929, el 90 % de la producción nacional procedía del *P. pinaster*, porcentaje que se incrementa al 94 % en 1959 y pasa a ser la única especie resinada en la década de los años 80 (Sánchez-González et al. 2020). La mayor cantidad de miera secretada por esta especie en comparación con el resto y el hecho de que su madera no tuviese tanto valor como en otras explican este hecho. Sin embargo, hay que destacar que en los últimos años se han vuelto a realizar investigaciones sobre el P. radiata y al *P. halepensis* ya que la explotación de estas especies podría tener un interés específico en según qué territorios, al generar un valor diferencial por distintas características

Pinus pinaster es una especie mediterránea occidental que ocupa un área con gran variedad estacional con dos subespecies que se han diferenciado en la península (figura VI.10): i) *P. pinaster Ait* subsp. *pinaster (P. mesogeensis)* y *P. pinaster Ait* subsp. *atlantica.* Ambas han sido objeto de resinación y esta última es la que se ha aprovechado en Las Landas francesas y en Portugal, países que llegaron a estar entre los mayores productores del mundo. Hay que destacar que, aunque la resinación se ha centrado en la subespecie *mesogeensis*, al ser la que ocupa las zonas de mayor actividad (Castilla y León), en los últimos años la resinación en Galicia sobre la subespecie *atlantica* está avanzando y mostrando resultados muy prometedores.

La superficie de *Pinus pinaster,* como especie principal, estimada en el Inventario forestal nacional (IFN4) es de 1 388 536 ha. Hay que reseñar también que existe una serie de parámetros forestales que son interesantes para el aprovechamiento resinero y que aparecen desglosados en inventarios forestales antiguos, pero que hoy no se publican. En este sentido, en el IFN1 se recogía la cifra total de existencias de pinares no resinados (58 008 553 m^3, con un máximo de 14 416 522 m^3 en la clase diamétrica de 25 cm, CD 25) y resinados (15 124 883 m^3, con un máximo de 3 525 491 m^3 en la CD 30). La mitad de las existencias de la CD 45 y superiores procedían de pies resinados, alcanzando el 74% en la CD 70. También aparecían reflejados 17 759 819 m^3 en lo que entonces se consideraban pies menores (CD 10 y 15).

La ordenación de montes para extraer resina se ha venido aplicando desde hace más de cien años. En las comarcas con más tradición resinera de las provincias de Segovia, Valladolid, Ávila y Soria, se encuentra ordenada la totalidad de los montes públicos en los que se realizó este aprovechamiento y en los momentos de más actividad también lo fueron los montes privados en los que se podía llevar a cabo el aprovechamiento (CESEFOR 2009). La conservación y explotación de las masas de pino negral y piñonero en la Meseta Castellana han sido reguladas

extensamente desde las primeras ordenanzas de las Comunidades de Villa y Tierra en el siglo XI. Pero el primer modelo selvícola para estos pinares, formulado expresamente en el ámbito de las modernas ciencias forestales, data del siglo XIX y está orientado al aprovechamiento de la resina. Muchos de los pinares resineros de la meseta castellana fueron ordenados a finales del s.XIX y principios del s.XX, habiéndose mantenido la marcha de la ordenación durante un siglo a través de las correspondientes revisiones (García del Barrio et al. 2013).

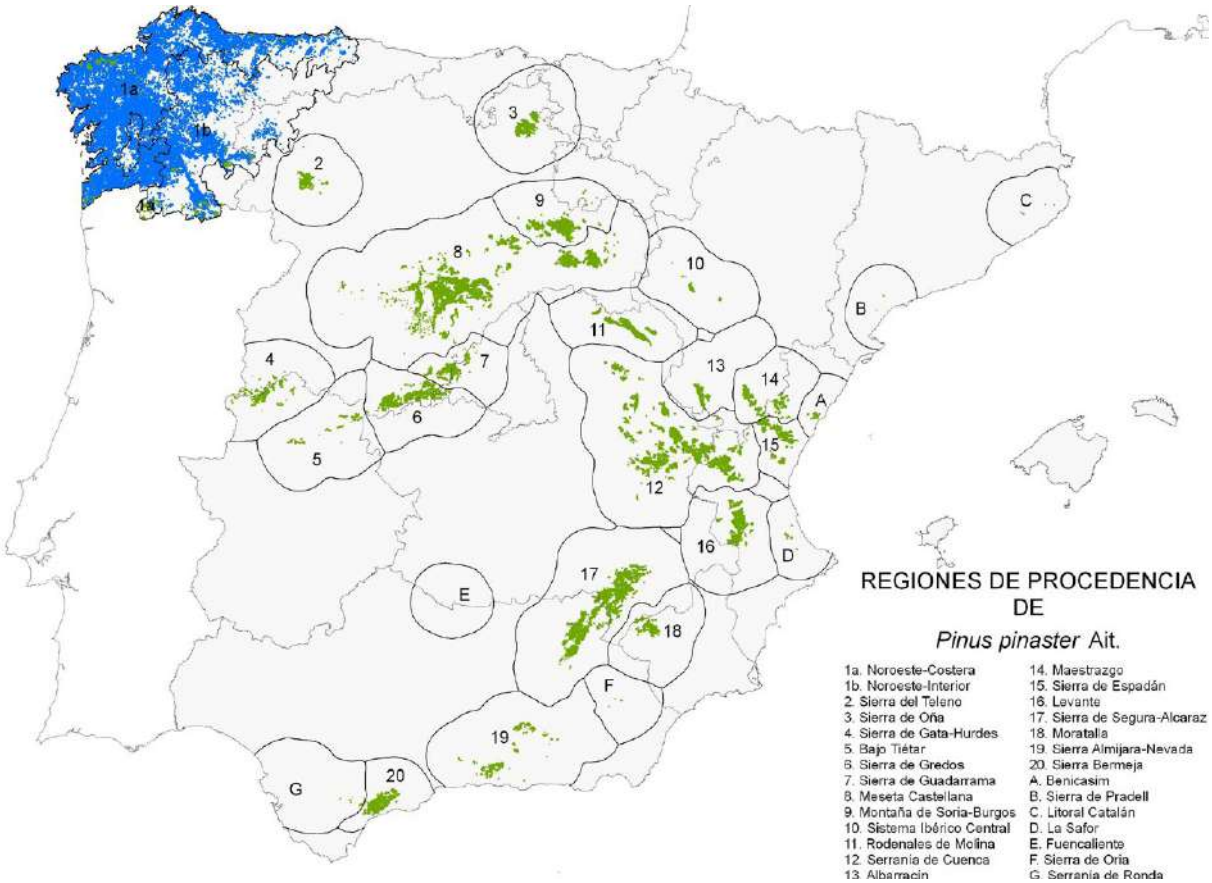


Figura VI.10. Mapa de distribución de *Pinus pinaster* con representación de las distintas regiones de procedencia (Fuente: MITECO).

5.2. *La ordenación*

Los pinares en resinación se gestionan como masas puras regulares con la característica de que la ordenación debe ser compatible con el plan de resinación. Con este objeto, a lo largo del turno se establecen tres subciclos: **i)** Subciclo de regeneración, tiempo necesario para conseguir la regeneración; **ii)** Subciclo de desarrollo, tiempo necesario para que el diámetro medio del arbolado alcance el diámetro mínimo de apertura para su aprovechamiento y iii) Subciclo de producción, periodo en el que se efectúa el aprovechamiento resinero.

Como se ha indicado, este método debe cumplir el plan de resinación que lleva consigo mantener una estructura regular, fijar el periodo de regeneración como múltiplo del periodo de resinación y la concentración en el espacio del aprovechamiento resinero.

La determinación del turno o edad de madurez de la masa viene condicionada por la duración de cada uno de los tres subciclos. Una vez definida la duración del ciclo de regeneración y del ciclo de desarrollo según las características de la estación y de la masa, se fija el turno de acuerdo con el plan de resinación, que establece la duración y número de los periodos de resinación o duración del subciclo de producción. A su vez, el turno debe ser múltiplo del periodo de regeneración, siendo el turno más frecuente de 80 ó 100 años. Las primeras ordenaciones partían mayoritariamente de un turno de 80 años con 4 tramos permanentes. Cuentan con un período de regeneración de 20 años, un tramo en regeneración que se resina a muerte, otro tramo en producción resinado a vida (4 caras de 5 entalladuras) y dos tramos en preparación (desarrollo) en las que pueden resinar a muerte los pies a extraer en las próximas claras (Borregón 2012).

Otro esquema parte de 5 tramos a un turno de 100 años (figura VI.11). Cuando existe facilidad para la regeneración y buenos crecimientos se puede elegir el método de tranzones resineros, en el que el cuartel se divide en tantos tranzones como periodos de resinación (años que tarda en resinarse una cara, es decir, número de entalladuras que tiene) comprenda el turno. Por el contrario, cuando existan dificultades de regeneración, se aconseja un método más flexible como el método de tramo móvil, alargando eventualmente el turno para conseguir la regeneración de la masa (García del Barrio et al. 2013).

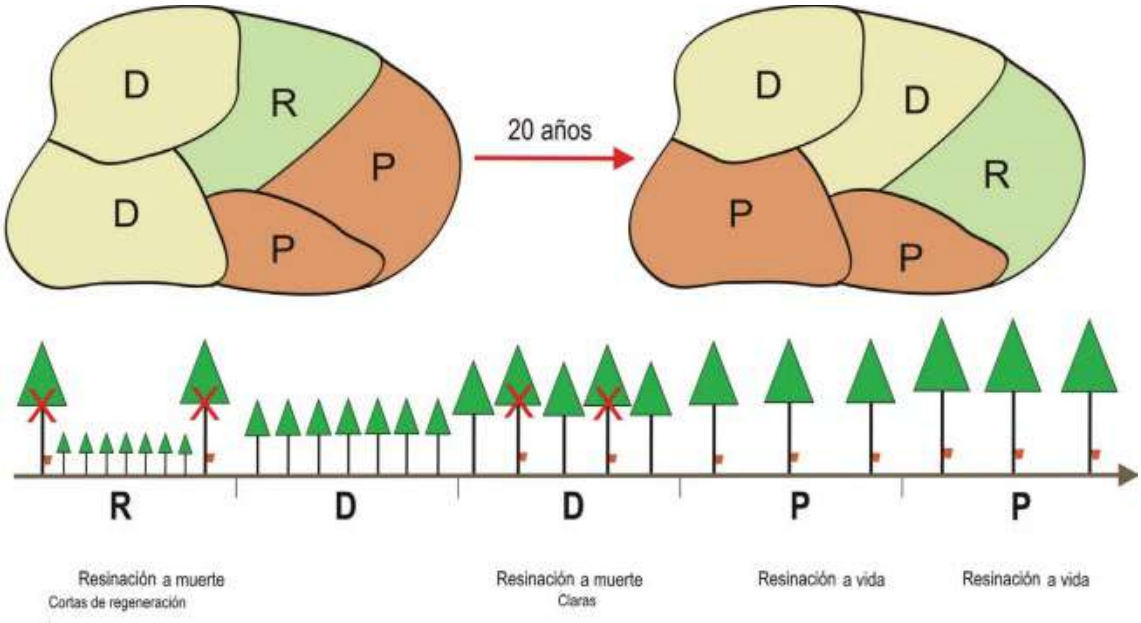


Figura VI.11. Esquema de la organización espacial y temporal de un cuartel de pinar resinero ordenado por 5 tramos periódicos (R: subciclo de regeneración, D: subciclo de desarrollo, P: subciclo de producción) (Fuente: García del Barrio et al. 2013).

La aplicación de estos métodos ha demostrado la compatibilidad con otros aprovechamientos del monte (madera, caza, micología, etc.) y su validez en la conservación del monte que se puede observar en la repoblación de rasos y el establecimiento de infraestructuras que favorecen la prevención de incendios (vías de comunicación, cortafuegos, torres de vigilancia, etc.) (García del Barrio et al. 2013).

5.3. La selvicultura resinera

Esta selvicultura se enfoca en maximizar la producción de resina y asegurar la sostenibilidad de la masa. Se caracteriza por alcanzar las densidades consideradas óptimas para la misma, entre 175-200 pies por hectárea a los 50 años, así como la poda de ramas por encima de la altura necesaria para la correcta realización de las caras resinadas (unos 6 metros), todo ello bajo estructuras regulares (figura VI.12).

Figura VI.12. Pinar de *P. pinaster* en resinación (Foto: A. Rodríguez).

Como se ha visto, la vida de las masas resineras de *Pinus pinaster* se descompone en tres subciclos y dentro de cada uno de ellos tienen lugar distintos tratamientos selvícolas:

1. Un primer ciclo de formación o desarrollo. Comprende hasta que la masa alcanza la edad media de unos cincuenta años, del que debe salir con la densidad y configuración precisas para iniciar la resinación. El objetivo es buscar una masa de unos 175-200 pies ha^{-1} homogéneamente distribuidos, con los fustes lo más rectos posible y podados en altura para favorecer los trabajos de extracción de resina.

Los tratamientos del ciclo de formación son:

- Se efectúan de dos a tres claras fuertes selectivas buscando homogeneizar las dimensiones del arbolado con el fin de obtener una densidad entre 150 y 250 pies ha^{-1} que alcancen cuanto antes el diámetro mínimo de apertura.

- La aplicación de clareos y claras va acompañada de podas hasta los cuatro metros de altura para facilitar la posterior resinación. Las últimas claras, si se hacen sobre pies de más de 20 cm de diámetro, también pueden permitir la resinación completa previa al apeo.

- Cuando la presencia de matorral es abundante puede ser necesaria la realización de desbroces para facilitar el trabajo de los resineros.

2. Segundo ciclo de producción resinera. Dura el tiempo preciso para resinar cada pino en una media de cinco caras, a cinco entalladuras por cara (veinticinco años). Su densidad y estructura se mantienen y únicamente se intervine en la masa para retirar los pies secos.

3. Tercer ciclo de regeneración. Dura veinticinco años y tiene por objeto sustituir la masa preexistente por una masa juvenil procedente de la regeneración natural del arbolado maduro que se sustituye, operando por corta gradual de existencias y que en ocasiones necesita de apoyos externos en forma de plantaciones.

Los tratamientos del ciclo de regeneración son:

- El tipo de corta de regeneración más frecuente es el aclareo sucesivo uniforme con una o dos cortas aclaratorias.

- Previamente a la ejecución de cada fase del aclareo, se procede a la resinación a muerte (o completa), de los pies a eliminar.

- Si existen dificultades de alcanzar densidades de regenerado adecuadas se apoya con siembras o plantaciones.

- A edades tempranas y, en función de las densidades de regenerado obtenidas, se realizan limpias y clareos de manera que la densidad de la masa al finalizar el subciclo de regeneración no supere los 1 000 pies ha^{-1}.

Estos tratamientos corresponden principalmente a las zonas más típicamente resineras en las que este aprovechamiento ha sido claramente el principal, si miramos otros ejemplos, como podría ser el caso de los montes portugueses, la selvicultura se orienta a obtener madera de calidad. En estos casos se llevan a cabo claras menos intensas y las podas y la selección de los pies se orientan a la producción de madera de calidad que se alcanza a través de una masa final de grandes dimensiones (pies por encima de los 50 cm de diámetro normal) gracias a los mayores crecimientos que permite la estación. Aquí, el aprovechamiento de resina se realiza los 3 ó 4 años anteriores a la corta, abriendo simultáneamente todas las caras. Este ejemplo nos parece interesante para visibilizar que, a pesar de que la ordenación y selvicultura resinera es ejemplar en cuanto a conservación y gestión de estas masas, es posible desarrollar modificaciones que permitan su adaptación a los nuevos objetivos que se consideren prioritarios en cada localización. En el caso de Galicia, dada la importancia del aprovechamiento maderero, otras regiones donde el aprovechamiento se haga de manera complementaria a otras actividades, o casos en los que la actividad resinera se haga complementaria para la reducción de riesgo de incendio o para obtener rentas de la masa en periodos concretos, la selvicultura puede y debe adaptarse

a la realidad territorial siendo así, este aprovechamiento, una herramienta más polivalente que como se ha entendido históricamente.

6. El resinero

El trabajador forestal especializado en la extracción de resina ha sido considerado en numerosos estudios como el "eslabón más frágil" de la cadena de valor de la resina. Esta percepción viene claramente justificada por las condiciones que se han presentado al comienzo de este capítulo junto con la instabilidad de los precios, la despoblación rural en nuestro país, la falta de reconocimiento, la dureza física de ejecución de las tareas de extracción y la baja rentabilidad, entre otras. Como consecuencia, muchas de las medidas dirigidas a mejorar este aprovechamiento han ido siempre enfocadas a esta parte de la cadena de valor.

En 2017, el periodo con mayor actividad resinera después de la crisis en la que prácticamente desaparecieron estos trabajadores (figura VI.2), se contabilizaban en Castilla y León un total 943 resineros, de los cuales 839 son considerado como "tradicionales" y 104 como "nuevas incorporaciones". Estos números han sido actualizados en 2022 mostrando un nuevo descenso con 657 resineros activos de los cuales 499 se encuentran en Castilla y León, 50 en Extremadura, 85 en Castilla la Mancha, 7 en Galicia, 1 en Asturias y 16 en Andalucía (fuente: GO Resinalb).

Las últimas publicaciones de caracterización de esta población permiten observar diferencias socioeconómicas, en comparación a las realizadas en 2001 y 2008 (CESEFOR 2001, 2008). Como era de esperar, debido a la reactivación de la actividad en los últimos 10 años, la población de profesionales está mucho menos envejecida que la observada en el estudio de 2008, donde los profesionales de menos de 40 años eran el 4%. Por otro lado, al comparar con los estudios realizados en 2001 y 2008, se evidencia un cambio en el nivel formativo de la población, incrementándose el porcentaje de profesionales con estudios medios y superiores. La experiencia se ha reducido en esta nueva población resinera (menos de 10 años) y, para la gran mayoría, la resina es su principal fuente de ingresos. La mayoría de los resineros trabajan por cuenta propia en el régimen agrario y han aprendido a resinar de manera informal con otro profesional. Prácticamente, la totalidad vende la resina directamente a las empresas de primera transformación y no se encuentra en ningún tipo de asociación o sindicato. En cuanto a los datos medios que refleja el estudio, el tamaño medio de la mata está en torno a los 6 000 pies y produce unos 18 mil kg por campaña. Destaca un gran gusto por el oficio que se asienta en la autonomía y el entorno natural donde se desarrolla, pero presentan una fuerte insatisfacción con la remuneración y el reconocimiento social, así como por la inestabilidad e incertidumbre, muy vinculadas a los precios.

La formación y la diversificación de la actividad se han identificado como dos elementos clave para mejorar la viabilidad de la actividad en el sector. Sería necesario, además, trabajar en la creación de programas de mayor duración que impartan una formación integral forestal y

que combinen la enseñanza de contenidos técnicos y empresariales. Se requiere, igualmente, que estos programas establezcan un acompañamiento a las personas que se inician en la actividad durante los primeros años de instalación y permitan la formación de las personas profesionales más veteranas que puedan suponer mejoras en la actividad. Por otro lado, un reconocimiento de los beneficios ambientales cuya existencia soporta en gran medida el trabajo de estos profesionales aparece también como una línea de trabajo para la mejora de las condiciones con un complemento del salario con el pago de servicios ambientales. Por último, la reducción del esfuerzo físico, mediante innovación centrada en la mecanización de la extracción y las mejoras de pastas estimulantes, son claras oportunidades, no exentas de debate en el seno del sector, para la mejora de esta actividad.

6.1. La rentabilidad del aprovechamiento resinero

Uno de los factores que afecta a la estabilidad e incorporación de trabajadores a la actividad resinera es la rentabilidad de la extracción de la resina. El resultado económico de esta actividad está condicionado por el número de pies aprovechados y sus dimensiones, la producción media por pino (ya sea consecuencia de las características del individuo o la masa, la técnica empleada o la duración del aprovechamiento) y los costes de la actividad.

Suponiendo una estructura media de costes, se puede realizar un balance económico según la producción de miera media por pie y el tamaño de la mata (tabla VI.1).

Tabla VI.1. Balance económico (€) según el tamaño de la mata y la producción de miera por pie. (Conceptos de gasto: i) Arrendamiento de los pies a resinar: 0,45 € pie^{-1}; ii) Materiales: 400 € $año^{-1}$; iii) Transporte: 40 € $año^{-1}$; iv) Seguridad Social: 1 899 € $año^{-1}$. 2. Ingresos: i) Precio de la miera: 1 € kg^{-1}) (Fuente: GO ResinLab).

Producción unitaria (kg miera pie^{-1})	Balance económico por campaña (€) según el tamaño de la mata			
	3 000 pies	4 000 pies	5 000 pies	6 000 pies
2,5	3 811	5 861	7 911	9 961
3	5 311	7 861	10 411	12 961
3,5	6 811	9 861	12 911	15 961
4	8 311	11 861	15 411	18 961
4,5	9 811	13 861	17 911	21 961

Las cantidades que figuran coloreadas en rojo corresponden a los escenarios en los que el resinero puede alcanzar con esta actividad el salario mínimo interprofesional, establecido para el año 2022 en 14 000 €, considerando su valor total.

Este escenario señala que, para una actividad laboral exclusivamente dedicada a la resina, con rendimientos por árbol de menos de 3,0 kg es muy difícil alcanzar el salario mínimo. Sin em-

bargo, las distintas maneras de llevar a cabo esta actividad, complementándola con otras actividades laborales complementarias, permite que estos escenarios de rentabilidad sean muy variables según la manera de desarrollar la actividad y la rentabilidad de los otros trabajos que puedan desarrollarse en los meses de invierno.

7. La industria, el mercado de la resina y sus derivados

7.1. Magnitudes sectoriales

7.1.1. A nivel mundial

La producción de miera (GR, *gum resin*) en el mundo se encuentra, en 2021, en torno a los 840 000 Mt año^{-1} (figura VI.13). A pesar de la magnitud de este dato, la foto global del mercado internacional debe tener en cuenta a las resinas de hidrocarburo (HCR, hidrocarbon resin), principal competidor de las resinas naturales, que dominan el mercado, supliendo la caída en la producción de miera y capturando nueva demanda. Por otro lado, la producción de *tall oil* (TOR, tall oil resins) se encuentra estable con tendencia a la baja, debido a la utilización directa del *crude tall oil* (CTO), su materia prima, en la formulación de biodiesel en el norte de Europa. El *tall oil* es un subproducto de la fabricación de celulosa por el proceso *kraft*. La demanda global de celulosa *kraft* se mantiene firme. La industria de los *pine chemicals* (conjunto de resinas de origen natural y procedentes de los hidrocarburos) precisa tanto del *tall oil* como precisa de la miera.

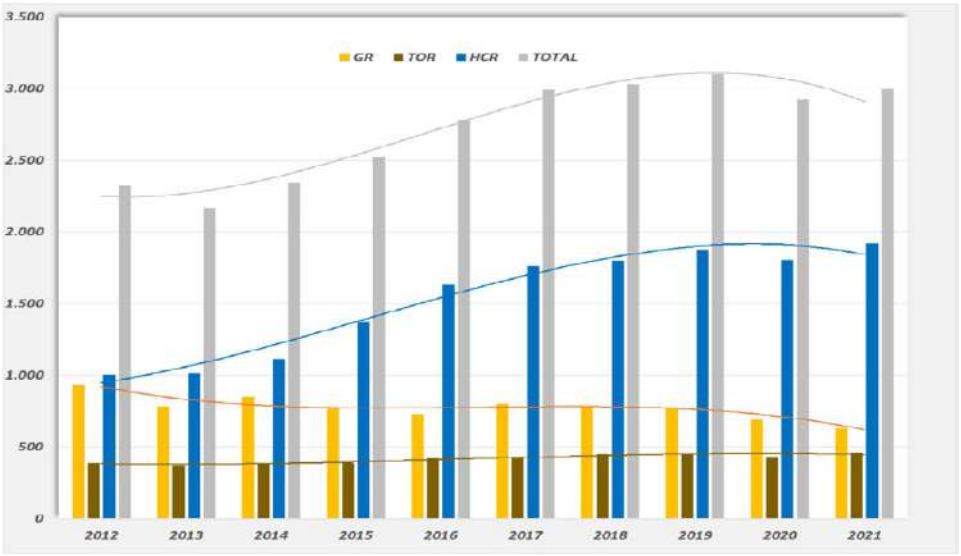


Figura VI.13. Evolución en la producción de resina, miera (GR), resinas de *tall oil* (TOR) y resinas de hidrocarburos (HCR) a nivel mundial en los últimos 10 años (Fuente Brazilian Pine Chemical Institute-BPCI).

Destacando el comportamiento estable del *tall-oil*, la fuente que señala mayor variabilidad es la aportación de resina obtenida de árboles en pie, que responde a las condiciones ambientales, la situación sociolaboral de los países productores o la intensidad recolectora, entre otras. Eso

explica que, ante la inseguridad de abastecimiento de los últimos años, la demanda se haya completado en mayor medida en base a productos fósiles, cuya disponibilidad es bastante segura a medio plazo, aunque cada vez es más cuestionada desde el punto de vista ambiental. Además, esta sustitución no se produce sólo en caso de escasez de fuentes renovables, sino que puede darse también si los precios de éstas crecen mucho, por lo que suponen siempre un techo al valor de estas (Sánchez-González et al. 2020).

Si se observa cómo se distribuye esta producción, entre los principales países productores, nos encontramos que China sigue siendo el primer productor mundial con 350 000 Mt año^{-1}, seguida de Brasil con 210 000 Mt en el año 2021 (tabla VI.2).

Hay que destacar que estos datos indican las cantidades producidas, pero no exportadas o importadas. En ese sentido, es necesario desarrollar análisis más complejos para entender las lógicas de este mercado a nivel internacional. El mercado global de estos productos, desde hace más de un siglo, es el ámbito que condiciona los precios a nivel local y, por lo tanto, su influencia en la extracción en cualquier ámbito geográfico. Además, la escasa producción europea es lo que motivaba que el análisis de las importaciones haya sido, durante muchos años, la base del estudio del abastecimiento de la industria española y no la producción interna, que era poco significativa para las necesidades de la industria (Sánchez-González et al. 2020).

Tabla VI.2. Producción mundial de la resina en 2021 (Fuente: Brazilian Pine Chemical Institute-BPCI).

	China	Brasil	Indonesia	Argentina	Vletnam	Mexico	Otros	Total
Miera (Mt)	350 000	210 000	90 000	35 000	100 000	25 000	30 000	840 000

La producción en China ha mantenido una acusada tendencia creciente desde 1980 hasta 2007, año en el que representa el 80 % de la producción mundial, pero, además, casi el 50 % de dicha producción estaba destinada a la exportación, por lo que era el principal abastecedor de la demanda europea. Esta es una de las razones que se mostraban como responsables de la reducción de la producción en España en los años 90 al haber inundado el mercado nacional la resina de origen chino (Sánchez-González et al. 2020). Del mismo modo, la revitalización del sector en torno al 2010 se ve como un reflejo del cambio de tendencia de este país que, no solo reduce su producción, si no que prácticamente ve desaparecer sus exportaciones, consumiendo gran parte de su producción. La producción en China está cayendo de forma sostenida en los últimos 10 años y no hay otro país que esté cubriendo esta. El balance total es negativo, todos los años se produce menos resina en el mundo de la que se producía, mientras, la demanda global es creciente, del orden de un 3% al año. Esto presentaría una oportunidad para el mercado de producción nacional, pero hasta el momento parece que son los derivados de hidrocarburos los que están aprovechando esta situación.

La variación de los precios de la miera a nivel internacional de los últimos 10 años nos deja observar claramente una de las principales problemáticas del sector; su fuerte variabilidad e inestabilidad. Este aspecto tiene un claro reflejo en el mercado nacional y constituye una de las

principales limitaciones para el desarrollo del sector en nuestro país. El precio medio de la resina se sitúa alrededor de los 1 500 dólares por tonelada y entre los países productores hay una diferencia de unos 250-300 euros en el precio. Sin embargo, en el 2012 había unos 1 000 dólares por tonelada de diferencia entre grandes productores. Así, dependiendo de cómo se resine, hay una importante diferencia de precio, que va desde los 500 a los 1 000 dólares (figura VI.14).

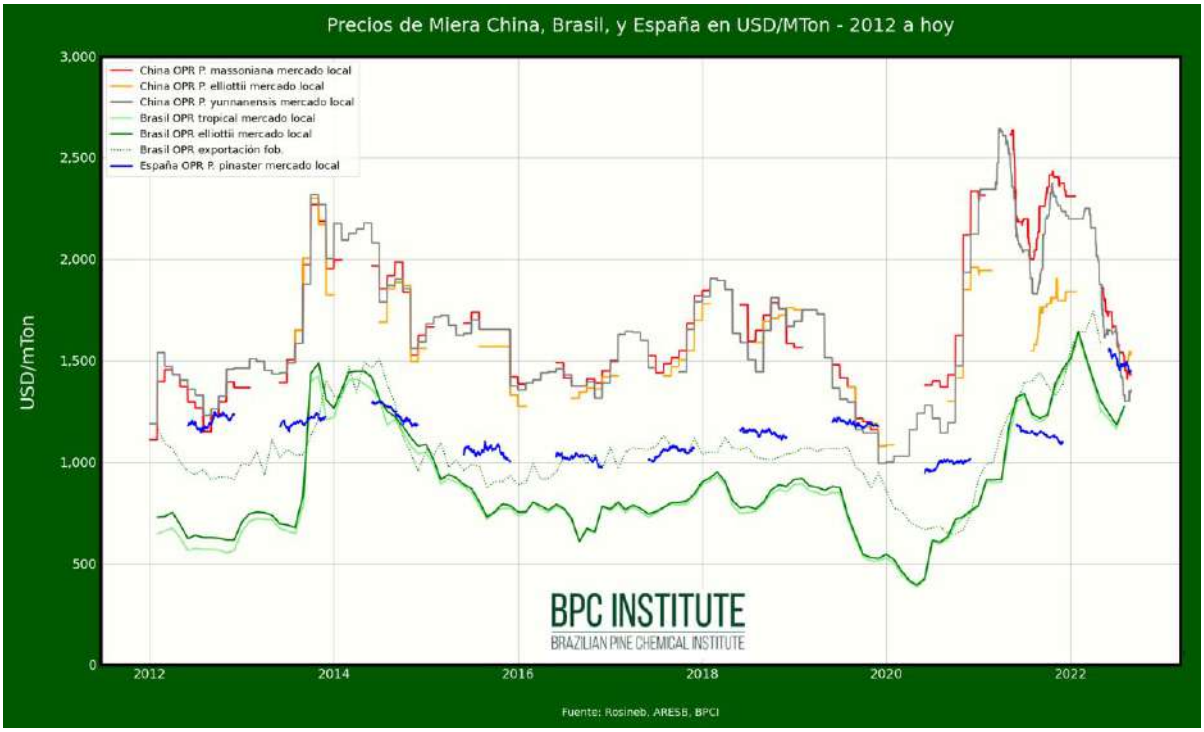


Figura VI.14. Precios de la resina en China, Brasil y España desde 2012 hasta la actualidad (Fuente: Rosineb, Aresb, BPCI).

7.1.2. A nivel nacional

De acuerdo con los datos nacionales de estadística, España produce en torno a las 12 mt año^{-1} de resina desde 2016, generando un valor en parque de fábrica de 12 millones de euros (MITECO). La producción de miera nacional ha pasado de menos de 2 000 t en 2008 a más de 11 500 t en el año 2020 (figura VI.15). España es el principal país productor de la Unión Europea, pero se mantiene muy alejada de las cifras de China y Brasil, principales productores mundiales.

Esta clara tendencia al alza, entre el 2010 y el 2017, está sufriendo un proceso de estancamiento en torno a las 11 mt (figura VI.15) que puede explicarse parcialmente por las condiciones del mercado internacional, así como por la situación nacional. A nivel nacional, la explosión inicial de resineros que recuperaron o se iniciaron en el oficio en los primeros años fue cediendo a un parcial abandono como consecuencia de la precariedad en las condiciones de la actividad y las fluctuaciones de precios, que dan lugar a mucha inestabilidad. Como se ha visto en el apartado dedicado a estos profesionales, la limitación de la producción se encuentra fuertemente condicionada por la incorporación o abandono de los resineros.

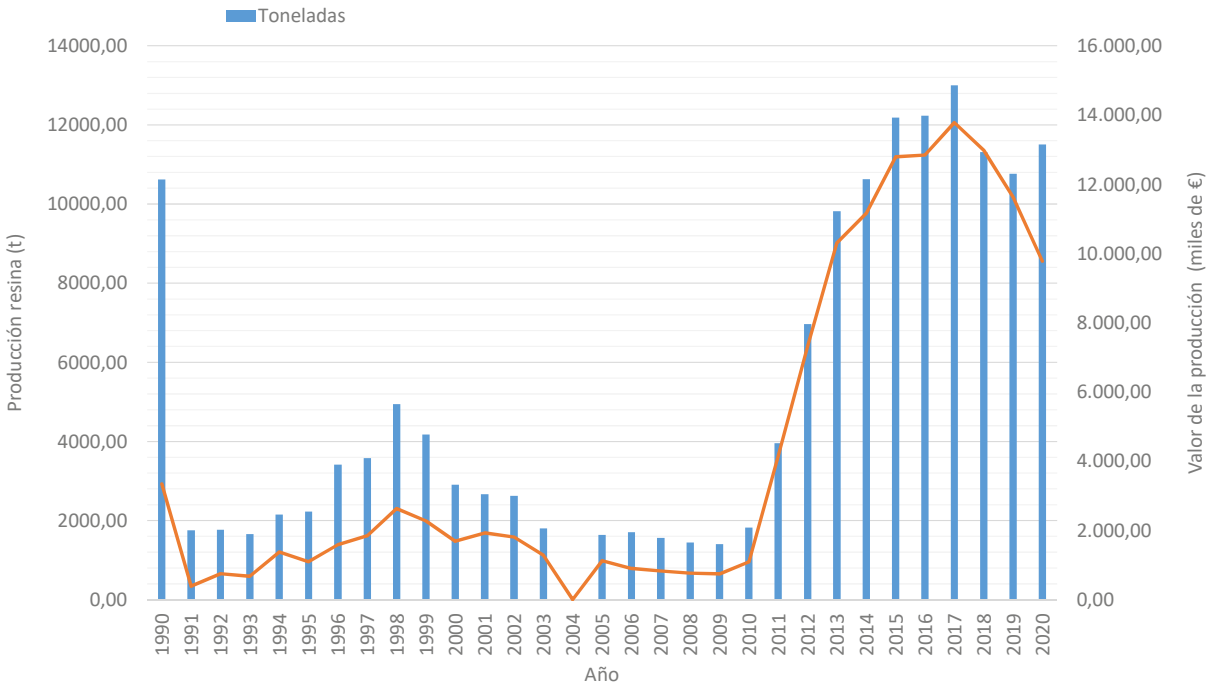


Figura VI.15. Producción de resina y su valor en España, entre 1990 y 2020 (Fuente: MITECO).

Si se desagregan las producciones por provincias, resulta claro el peso de Castilla y León a nivel nacional y, más concretamente, el de la provincia de Segovia. Este reparto tiene una clara justificación histórica, como se ha señalado al principio del capítulo, junto con la alta producción de los individuos de esta provincia y la localización de la industria de primera transformación (figura VI.16).

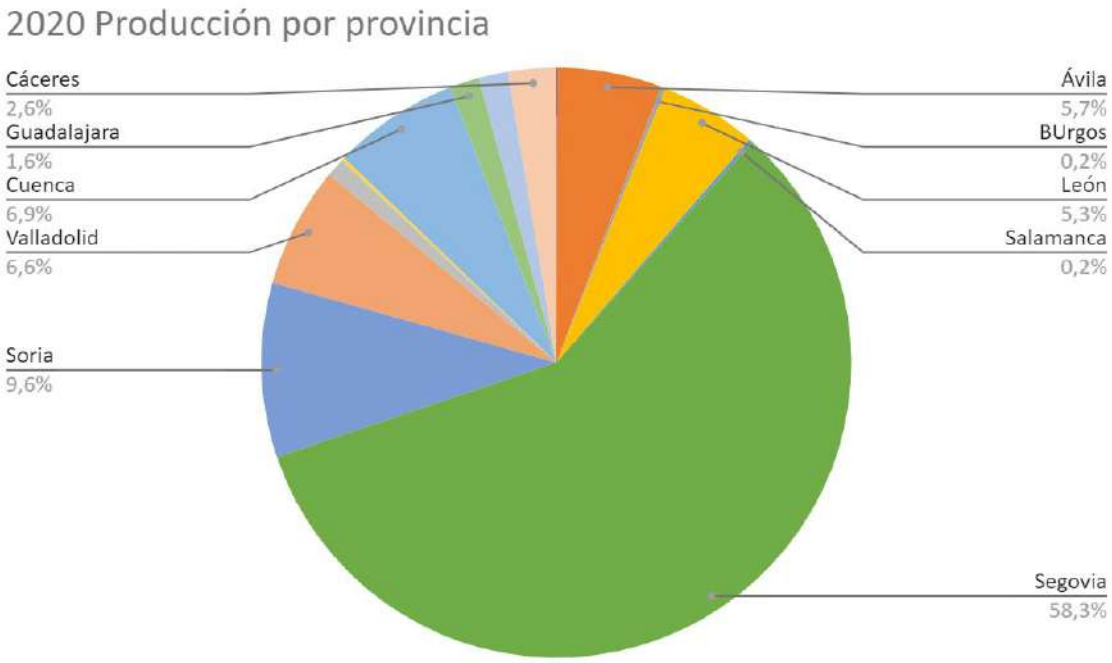


Figura VI.16. Producción de resina por provincia en 2020 (Fuente: MITECO).

7.2. La industria

Actualmente existen en España 6 empresas principales destinadas a la compra y transformación de la resina, 5 de ellas en Castilla y León y una más en Cuenca. Las 3 principales son:

- LURESA. Heredera de la antigua Unión Resinera Española, es una empresa con sede en Madrid y una planta de transformación en Coca (Segovia).

- Resinas Naturales. Empresa con dos plantas de transformación en Segovia y Soria, empezó su actividad en 2010, con miras principalmente al suministro de productos transformados para otras empresas del grupo, dedicadas a la fabricación de cosméticos.

- Resinas Navas de Oro. Empresa de reciente creación en 2018, instaló una planta de procesamiento de tecnología novedosa en el municipio de Navas de Oro.

Además de estas 3 empresas, que consumen un gran porcentaje de la resina nacional, encontramos otras tres de menor tamaño:

- Industrial resinera Valcan. Es la única planta situada fuera de Castilla y León, concretamente en Cuenca. Es una resinera con muchos años de experiencia y mantienen un grupo de resineros fieles, sobre todo en su comarca.

- Resinas Alfonso Criado. Empresa familiar situada en Zarzuela del Pinar (Segovia), que se dedica a la resina desde hace más de 100 años.

- Resinas Eleuterio Criado. Empresa familiar situada en Lastras de Cuellar (Segovia).

La industria de primera transformación en España ha jugado un papel determinante en el desarrollo de la actividad resinera y lo seguirá haciendo. Esto se ha llevado a cabo desde el comienzo de su presencia en el territorio, dinamizando el sector, influyendo en la oferta de materia prima a través del desarrollo de las ordenaciones, la gestión directa de montes, la introducción de nuevas técnicas de extracción, el apoyo a los trabajadores resineros en la formación y las inversiones iniciales, vertebrando el sector y participando en los acuerdos dentro del mismo. Su papel, apostando por la producción nacional, es clave en el mantenimiento de esta actividad, así como la representación de este producto natural y renovable en distintos espacios de toma de decisiones.

8. Productos derivados de las resinas naturales

La primera transformación de la miera consiste en una destilación por arrastre de vapor para obtener sus dos componentes básicos: la colofonia y el aguarrás, cuya proporción, aunque va-

riable, suele estar en torno al 70 % para la primera y el 20 % para el segundo, mientras que el 10 % restante corresponde al agua e impurezas incorporadas durante el proceso de extracción.

Las características y propiedades de estas dos sustancias, y las distintas modificaciones que lleva a cabo la industria de segunda transformación, dan lugar a numerosos productos finales que forman parte de la vida cotidiana.

Los principales consumidores de los productos derivados de la resina son las empresas dedicadas a la fabricación de adhesivos, pinturas, barnices y tintas de impresión y las dedicadas a productos del hogar como la limpieza, abrillantamiento, fragancias, aromas y cosmética y la fabricación de especialidades farmacéuticas (figura VI.17). La mayoría de las empresas transformadoras venden tanto a nivel nacional como internacional. Los destinos de la colofonia, de acuerdo con datos de la industria nacional, serían: tinta (10%), adhesivos (50%), pintura (5%) y otros usos (35%). Los destinos de la trementina serían: fragancias (40%), higiene y limpieza (21%), solventes (34%) y otros usos (5%), según estudios recientes.

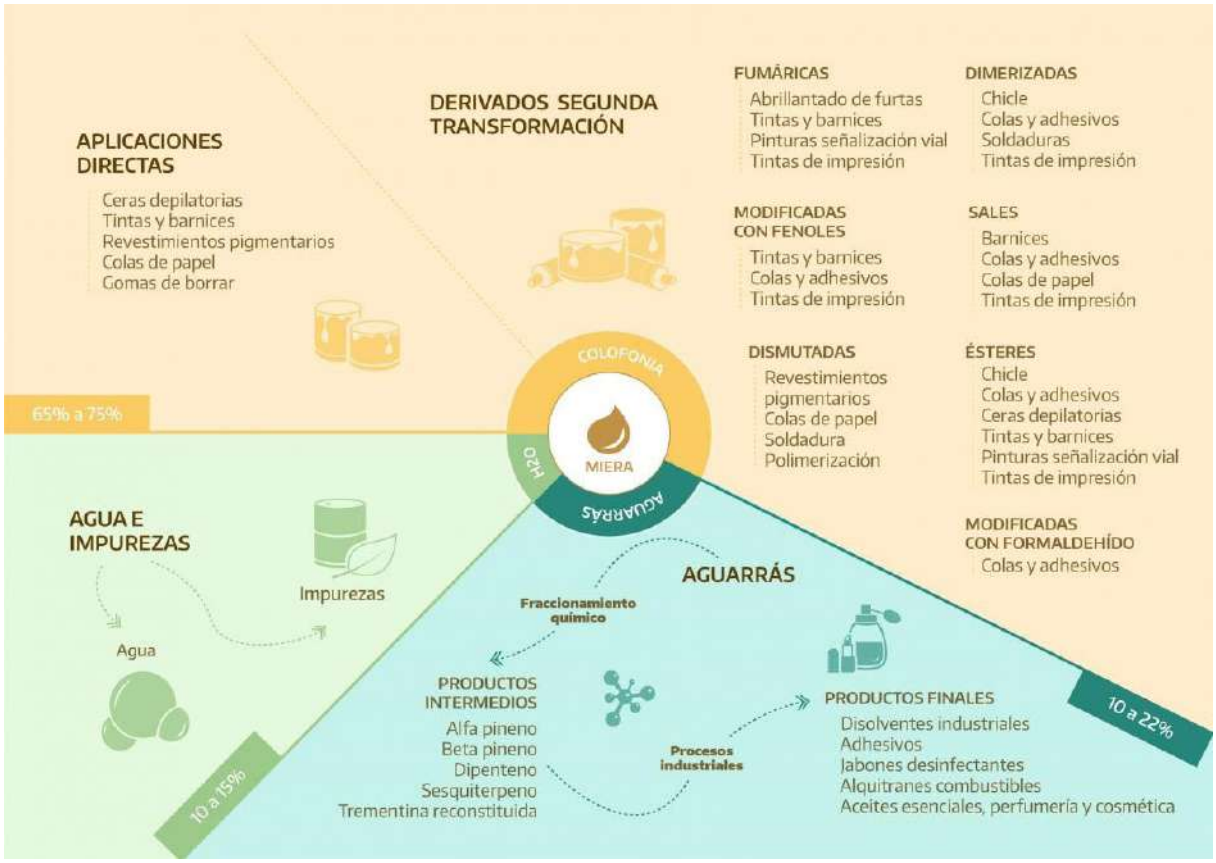


Figura VI.17. Derivados de la colofonia y el aguarrás (Fuente: Resinacyl).

Salvo para algunos usos directos muy específicos, la colofonia, el aguarrás y sus derivados no son productos acabados sino intermedios que, junto con otras sustancias, forman parte de productos finales a los cuales confieren propiedades fundamentales y que, sin embargo, son indetectables para el consumidor final. Esta característica del proceso de transformación de la resina hasta el producto final es uno de los principales inconvenientes para la puesta en valor

de las resinas naturales frente a sus competidores derivados del petróleo. La opacidad de la cadena de valor en estas últimas etapas hace muy complicada la trazabilidad y la valoración por parte del consumidor final. Estos son algunos de los retos a los que está enfrentado el sector estos últimos años. A pesar de esto, los productos obtenidos de la miera o resina natural del pino continúan siendo insustituibles en muchas aplicaciones industriales, manteniendo unos nichos de mercado (cosmética, alimentación, etc.) y nuevas aplicaciones (biotecnología) cada vez más demandadas y mejor valoradas que, además, son impulsadas desde políticas nacionales y europeas.

9. Las externalidades de la resina

Sin dejar de lado la importancia de las resinas naturales en el ámbito de la bioeconomía es imprescindible prestar atención a la gran potencia del aprovechamiento resinero, que se encuentra del mismo modo en los innumerables beneficios sociales y ambientales que derivan del mismo y que permanecen todavía poco explorados.

Al mismo tiempo, la complementariedad de los ingresos directos procedentes de la resinación, junto con parte de los fondos destinados a conservación y desarrollo rural, podrían establecerlo como un aprovechamiento mucho más rentable. Para justificar estas inversiones es necesario, en primer lugar, cuantificar los beneficios ambientales y sociales ligados a la actividad resinera, saber cuál es el valor de estas externalidades. Para ello, es necesario identificarlas, cuantificarlas y ponerlas en valor. Así, por ejemplo, debemos ser capaces de definir cuánto vale que una masa resinada presente un sotobosque controlado, calcular el valor de los servicios ecosistémicos (protección contra el fuego, producción micológica, uso social y recreativo) o determinar qué impacto tiene, a nivel global, la sustitución de derivados del petróleo por derivados de las resinas naturales (cambio climático, contaminación, salud humana) (Justes y Soliño 2018; Soliño et al. 2018).

Destacan los beneficios de la actividad resinera en la prevención de incendios forestales, que han sido cuantificados en Portugal a través del proyecto Sustforest-plus, mostrando como destinar parte del dinero público de prevención y extinción de incendios a ayudas al sector resinero supone un claro beneficio global. El aprovechamiento de la resina es muy intenso en el uso del pinar, ya que durante ocho meses las tareas del resinero le obligan a recorrer el monte aprovechado en múltiples ocasiones, lo que crea una fuerte vinculación con el pinar en el que trabajan y en el que se basa su forma de vida e ingresos. A esta vinculación, anteriormente mencionada, contribuye también la intensa selvicultura.

A nivel nacional se están desarrollando estos estudios a través del Grupo Operativo ACREMA, puesto que, obtener una valoración global de la viabilidad e impacto del sector resinero nacional, pasa también por incluir las externalidades positivas derivadas de esta actividad (figura VI.18).

EXTERNALIDADES DIRECTAS DEL SECTOR RESINERO
MEDIOAMBIENTALES
Aumento, promoción y conservación de la biodiversidad
Aumento de la vigilancia y prevención de incendios forestales
Conservación del patrimonio natural y mejora en la calidad del paisaje
Aprovechamiento de usos forestales alterativos como el micológico o el cinegético
Sustitución de derivados del petróleo por bioproductos renovables
Mejora de la vigilancia fitosanitaria
SOCIALES
Contribución al aumento y fijación de la población en el rural
Mejora de la seguridad en los lugares de trabajo
Conservación del patrimonio cultural
Aumento de los bosques aptos para fines recreativos y educativos, favoreciendo la valorización de los bosques como fuentes de recursos, riqueza y bienestar
ECONóMICAS
Creación de nuevos puestos de trabajo, como renta única o como complemento a una ya existente
Aumento de la rentabilidad de las masas de pinar para sus propietarios
Creación de un clúster empresarial de la resina
Acceso al mercado de pequeños y medianos propietarios
Mejora de la gestión forestal actual sobre las masas de pino

Figura VI.18. Externalidades directas del sector resinero (Fuente: proyecto ACREMA).

La actividad resinera podría jugar un interesante papel en el diseño y puesta en práctica de estrategias de desarrollo rural, ofreciendo ingresos para la sostenibilidad de los habitantes del medio rural, respaldando las ambiciones políticas europeas para una recuperación económica más ecológica. La resina es un producto forestal no maderable (PFNM) que puede jugar un papel relevante en el marco de las políticas de desarrollo sostenible y ordenación forestal sostenible. Se vienen subrayando estos conceptos en acuerdos internacionales desde la Cumbre de Rio (1992), así como en la segunda y tercera Conferencia Ministerial Europea sobre la Protección de los Bosques en Europa (concretamente en Helsinki, 1993 y Lisboa, 1998). A pesar de la fragmentación de los datos y las constantes lagunas en el conocimiento, existen cada vez más pruebas del gran potencial de los PFNM para contribuir a los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), en particular en lo que respecta a la dimensión social, cultural, medioambiental y económica (Martínez de Arano et al. 2021). La resina puede enmarcarse en las soluciones basadas en la naturaleza y puede contribuir a muchas de las líneas europeas en materia política, como las vinculadas a la gestión sostenible del terreno, la conservación de la biodiversidad, la bioeconomía circular, la recuperación económica verde, el turismo sostenible, los empleos verdes y la salud y el bienestar de las personas.

10. Innovación y nuevas herramientas para el impulso del sector resinero

Como respuesta a las debilidades del sector, distintas líneas de innovación han sido impulsadas a nivel regional, estatal y europeo a través de distintos programas y proyectos. Estas mejoras se

han dirigido a: i) Mejoras en la rentabilidad de la extracción y ii) Mejoras en la vertebración del sector y la valoración de las reinas naturales.

- **Mejoras en la rentabilidad de la extracción.**

Cuatro líneas fundamentales pueden establecerse en la innovación en esta área: mecanización de los procesos extractivos, mejoras en las pastas estimulantes, compatibilidad del aprovechamiento maderero y resinero y el análisis de la calidad de la miera. En el primero de los casos destacan los métodos mecanizados en envase cerrado para la obtención de resina de alta calidad (figura VI.19). Estos métodos reducen los requerimientos físicos del trabajo de campo y permiten obtener oleorresinas de mayor calidad. En la mejora de estimulantes y la compatibilidad madera y resina encontramos resultados de interés en proyectos como el Sustforest Plus y GO ACREMA, así como en publicaciones científicas (de Olivera et al. 2019; Michavila et al. 2020; Liu et al. 2022). En cuanto a los análisis de la calidad de las resinas, se trabaja en el desarrollo de técnicas analíticas basadas en tecnología NIR para conseguir una sencilla identificación y cuantificación de componentes de la resina. Esta tecnología facilitará la valorización de la resina natural como materia prima para la bioeconomía.

Figura VI.19. Extracción de resina con método mecanizado en envase cerrado (Fuente: GO ResinLab).

- **Mejoras en la vertebración del sector y la valoración de las reinas naturales.**

En los últimos años destaca la creación de distintas herramientas para la modernización y vertebración del sector. Así:

- Se ha constituido la Red Europea de Territorios Resineros (RETR), que aspira a ser la organización de referencia del sector de la resina natural a nivel europeo, que agrupa a todos los miembros de su cadena de valor.

- El proyecto SustForest Plus, ha desarrollado una herramienta para asegurar la trazabilidad de la resina natural, ResinApp. Se trata de un sistema basado en una aplicación informática que permite documentar en tiempo real el recorrido de la resina desde su extracción en el bosque hasta la primera transformación, facilitando la acreditación del origen de la resina y sirviendo de herramienta de gestión empresarial.Con esta aplicación se contribuye a acreditar el vínculo efectivo entre el bosque gestionado de manera sostenible y la industria transformadora. Además, esta innovación conecta con la posibilidad de crear una Marca de garantía de origen cuyas bases ya han sido desarrolladas y se espera consolidar en los próximos años.

- El proyecto GO Resinlab, está desarrollando el que será el primer observatorio de datos de la resina, vinculado a un grupo de expertos. Esta red de expertos y los datos recopilados permitirán la transferencia de conocimiento e innovación, así como la difusión, formación y asesoramiento cualificado en materia de gestión y aprovechamiento resinero. La recogida de datos y la plataforma que los albergará se plantean como una herramienta transparente y participativa de todo el sector. La intención es ofrecer datos en abierto que el propio sector considere imprescindible conocer para gestionar adecuadamente el recurso.

11. Situación actual del sector: problemática y oportunidades

En 2022 nos encontramos en un momento en el que la bioeconomía es una realidad impulsada desde la Unión Europea y el aprovechamiento resinero se presenta como una alternativa laboral en el medio rural, una actividad forestal sostenible y una materia prima renovable ejemplar para conseguir los objetivos marcados en el corto plazo (Rodríguez-García y Martínez 2022). De hecho, los productos forestales no madereros son un elemento central del desarrollo sostenible y de la gestión forestal sostenible. Contribuyen a los ODS de las Naciones Unidas en las dimensiones social y cultural, medioambiental y económica y, en particular, al desarrollo rural, la conservación de la naturaleza, el bienestar humano y en consonancia con el *Green Deal* europeo.

También son importantes recursos naturales que respaldan las cadenas de valor de la bioeconomía sostenible, los empleos verdes y la creación productos renovables con una baja huella de carbono. No obstante, esta importante contribución, y el papel de los PFNM a la hora de ofrecer un sinfín de soluciones basadas en la naturaleza para los desafíos actuales, suele pasar desapercibida o se desconoce (Martínez De Arano et al. 2021).

Se observa una demanda creciente de resina española por parte de las industrias nacionales y se prevé un mantenimiento de esta tendencia debido al incremento del parque industrial y la

modernización de la industria y a la importancia, cada vez mayor, de la sustitución de derivados del petróleo por sus alternativas renovables. Así pues, hay una necesidad de movilizar el recurso resinero en los bosques nacionales.

El mercado de los productos obtenidos a base de resina de pino es inestable, como se ha indicado a lo largo de este capítulo, y presenta una fuerte competencia con los hidrocarburos; sin embargo, la sustitución de los productos con base en resinas naturales ha ganado protagonismo a raíz de la disminución de los precios del petróleo (Clopeau and Orazio 2019). Las cifras señalan claramente la posibilidad de avanzar en la sustitución de las resinas de hidrocarburo, al menos en parte, por resinas naturales (Rodríguez-García y Martínez 2022).

Diagnóstico realizado por el proyecto Sustforest Plus que ha trabajado sobre la situación del sector resinero entre 2019 y 2021 y la propuesta de una Estrategia Nacional para el sector.

El sector presenta grandes debilidades internas, aunque, si se introdujeran algunos cambios, podría aprovechar ciertas oportunidades externas que permitirían mejorar los resultados de la actividad.

El sector resinero español se encuentra muy debilitado debido a la falta de vertebración, ausencia de liderazgo interno, incapacidad de autoorganización y promoción sectorial y carencia de mecanismos eficaces, ordenados y transparentes para la concertación y la acción conjunta de los miembros de la cadena de valor.

La cadena de valor es extremadamente frágil en el eslabón de la explotación forestal debido a la baja productividad media de los montes, la baja eficiencia de las técnicas de extracción, la débil consolidación del colectivo de trabajadores resineros, con una elevada tasa de abandono de la actividad y la ausencia de estructuras y entidades que defiendan sus intereses de forma efectiva.

El fenómeno de cambio climático afecta a las condiciones silvícolas de los bosques resineros en su actual distribución, lo que podría poner en riesgo el potencial productivo de resina de los montes españoles si no se adoptan prácticas que permitan reducir la vulnerabilidad y mejorar la capacidad adaptativa del sistema forestal resinero.

El estado fitosanitario del pinar resinero en España está amenazado por nuevos agentes como el nematodo y el decaimiento, que pueden afectar negativamente a la disponibilidad de resina y a la capacidad productiva de los montes.

Sin embargo, el sector resinero podría aprovechar el aumento sostenido de la demanda europea de productos resinosos en los últimos años, tendencia que podría mantenerse siempre que la resina y sus derivados se pongan en precios competitivos en el mercado. Alineada con esta tendencia de creciente demanda por el mercado, se encuentran las políticas y estrategias europeas y españolas referentes a bioeconomía, economía-circular, forestal y mitigación del cambio climático que, aunque no se dirigen explícitamente a la resina natural ni el aprovechamiento resinero, sí podrían servir de marco para el apoyo institucional al sector resinero.

En cualquier caso, el aumento de la demanda y las políticas favorables no son elementos suficientes para conseguir la viabilidad del negocio resinero; es necesario, también, producir con calidad y a precios competitivos.

Por ello, para aprovechar esta oportunidad de mercado y tendencia política, la dirección estratégica principal se orientará hacia el aumento de la productividad forestal a medio y largo plazo mediante la mejora genética y la propuesta de selviculturas adaptativas de alta producción que, al mismo tiempo, tengan en cuenta los posibles efectos del cambio climático.

Se tomará conciencia de que el empleo de los métodos de extracción tradicionales en Europa no es competitivo, por lo que se apostará por la vía de la innovación tecnológica, la mecanización y la digitalización, mejorando así la productividad laboral.

El proceso de digitalización debe contribuir a la integración de la cadena productiva mediante la implantación de un sistema de trazabilidad desde el monte hasta el cliente final.

Se avanzará en la creación de un nuevo modelo laboral, altamente profesionalizado, en forma de trabajador forestal con especialización resinera, que permita la adaptación eficiente de los trabajadores a las oportunidades de negocio que ofrece la gestión forestal multifuncional, integrando como elemento central la actividad de resinación.

Se trabajará activamente en el reconocimiento profesional del trabajador forestal con especialización resinera por parte de propietarios forestales, administraciones públicas y la población en general. Para ello se tendrá como objetivo demandar a las autoridades educativas la creación de un Certificado de Profesionalidad específico en el marco del Sistema Nacional de Cualificaciones y Formación Profesional.

Se impulsará la integración de la actividad de extracción de resina en el modelo de trabajo cooperativo.

La industria de transformación emprenderá un proceso de innovación de procesos y productos, con diversificación y apertura hacia nuevos mercados, integrando el sector en el modelo productivo de la nueva bioeconomía. Se estimularán acuerdos de colaboración inter y tran-sectoriales para el desarrollo de productos sostenibles derivados de la resina natural con industrias farmacéuticas, cosméticas, textil, alimentaria, forestal y tecnológica, entre otras.

El consumidor final debe conocer el producto y los esfuerzos para conseguir potenciar sus características naturales, sostenibles y tecnológicas, por lo que se impulsará la comunicación y promoción sectorial y la innovación del marketing y comercialización, incluyendo la creación, implantación y promoción de una marca de garantía para la resina europea.

A partir de este diagnóstico, junto con las principales ideas de la Manifestación de Interés de la industria resinera, se podría señalar que la Dirección Estratégica actual del sector podría definirse como una estrategia de reconversión, que presenta grandes debilidades internas y que necesita introducir cambios para aprovechar oportunidades externas que le permitirán mejorar

los resultados de la actividad. Los principales puntos de esta estrategia propuesta se recogen de la siguiente manera:

- El aumento de la productividad forestal regional a medio y largo plazo, mediante la mejora genética y la propuesta de selviculturas adaptativas de alta producción que, al mismo tiempo, tengan en cuenta los posibles efectos del cambio climático sobre las masas de *Pinus pinaster*.

- El impulso de la transición y modernización industrial que incorpora transversalmente la digitalización e I+D+i con un fuerte componente de arrastre a la cadena de valor desde el sector primario. El proceso de digitalización debe contribuir a la integración de la cadena productiva mediante la implantación de un sistema de trazabilidad desde el monte hasta la fábrica de primera transformación y que, en última instancia, impacte en el cliente final.

- La industria de transformación emprenderá un proceso de innovación de procesos y productos, con diversificación y apertura hacia nuevos mercados, integrando el sector en el modelo productivo de la nueva bioeconomía.

- El apoyo para la creación de un nuevo modelo laboral altamente profesionalizado en forma de trabajador forestal con especialización resinera, que permita la adaptación eficiente de los trabajadores a las oportunidades de negocio que ofrece la gestión forestal multifuncional, integrando como elemento central la actividad de resinación.

- La innovación tecnológica, la mecanización y la digitalización en la fase de producción, mejorando así la productividad y seguridad laboral y facilitando la incorporación de nuevos resineros.

- Se trabajará activamente en el reconocimiento profesional del trabajador forestal con especialización resinera por parte de propietarios forestales, administraciones públicas y la población en general.

- Se estimularán acuerdos de colaboración inter y transectoriales para el desarrollo de productos sostenibles derivados de la resina natural con industrias farmacéuticas, cosméticas, textil, alimentaria, forestal y tecnológica, entre otras.

- Se impulsará la comunicación y promoción sectorial, y la innovación de marketing y comercialización, incluyendo el apoyo e impulso de una marca de garantía para la resina.

12. Bibliografía

Alemany M (1998) ¿Es la colofonia un producto de futuro? C. Universitario (Ed.). Primer Simposio de aprovechamiento de resinas naturales. Actas científicas. Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (INIA). Segovia.

Álvarez JC (2009) Las resinas naturales: fuente de empleo en el medio natural. Forestalis, Edición Especial V Congreso Forestal 28-32.

Blanche CA, Lorio PL, Sommers RA, Hodges JD, Nebeker TE (1992) Seasonal cambial growth and development of loblolly pine: xylem formation, inner bark chemistry, resin ducts, and resin flow. Forest Ecology and Management 49(1), 151-165.

Celedon J M, Bohlmann J (2019) Oleoresin defenses in conifers: chemical diversity, terpene synthases and limitations of oleoresin defense under climate change. En: New Phytologist (Vol. 224, Issue 4, pp. 1444–1463). Blackwell Publishing Ltd. https://doi.org/10.1111/nph.15984

CESEFOR (2001) Estudio socioeconómico y metodológico de la resinación en Castilla y León durante la Campaña (Provincias de Segovia, Ávila, Valladolid y Soria).

CESEFOR (2008) Estudio socioeconómico de resineros. Fundación Centro de Servicios y Promoción Forestal y de su Industria de Castilla y León. CESEFOR. Soria.

Clopeau A, Orazio C (2019) El mercado internacional de la resina. Revista Tierra de Pinares. Nº 2. 2019.

Coppen JJW, Hone GA (1995) Gum Naval Stores Turpentine and Rosin from Pine Resin, Non-Wood Forest Products 2. Rome Natural Resources Institute, FAO. - References - Scientific Research Publishing. https://www.scirp.org/(S(vtj3fa45qm1ean45vvffcz55))/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=1248355

Cunningham A (2021) Oleochem Analytics Pine Chemicals report January 2021. https://oleochemanalytics.com/

Eyles A, Bonello P, Ganley R, Mohammed C (2010) Induced resistance to pests and pathogens in trees. New Phytologist 185(4): 893–908. https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2009.03127.x

Fahn A, Benayoun J (1976) Ultrastructure of resin ducts in *Pinus halepensis* development, possible sites of resin synthesis, and mode of its elimination from the protoplast. Annals of Botany, 40(4), 857-863.

Fahn A (1988) Secretory tissues in vascular plants. New Phytol. 108, 229–257. doi:10.1111/j.1469-8137.1988.tb04159.x

Franceschi VR, Krekling T (2005) Anatomical and chemical defenses of conifer bark against bark beetles and other pests. 353–376.

Füller TN, de Lima JC, de Costa F, Rodrigues-Corrêa KCS, Fett-Neto AG (2016) Stimulant paste preparation and bark streak tapping technique for pine oleoresin extraction. En: Methods in Molecular Biology. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-3393-8_2

García del Barrio JM, Martínez Jauregui M, Mutke S (2013). Bases para buenas prácticas en la gestión del aprovechamiento resinero. Instituto Nacional de Investigaciones y Tecnología Agraria y Alimentaria (España).

Giorgi F, Lionello P (2008) Climate change projections for the Mediterranean region. Global Planet Change 63(2): 90-104.

Hernández L (2009) La profesión de resinero; el ocaso de un oficio centenario. Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino. Madrid.

Hudgins JW, Christiansen E, Franceschi VR (2004) Induction of anatomically based defense responses in stems of diverse conifers by methyl jasmonate: A phylogenetic perspective. En Tree Physiology. https://doi.org/10.1093/treephys/24.3.251

Hudgins JW, McDonald GI, Zambino PJ, Klopfenstein NB, Franceschi VR (2005) Anatomical and cellular responses of *Pinus monticola* stem tissues to invasion by *Cronartium ribicola*. Forest Pathology. https://doi.org/10.1111/j.1439-0329.2005.00425.x

Junkes CF de O, Duz JVV, Kerber MR, Wieczorek J, Galvan JL, Fett JP, Fett-Neto AG (2019) Resinosis of young slash pine (*Pinus elliottii* Engelm.)as a tool for resin stimulant paste development and high yield individual selection. Industrial Crops and Products 135. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.04.048

Justes A, Soliño M (2018) The resin in Castilla y León (Spain): Resin workers' preferences in times of economic crisis. Madera Bosques 24(1). https://doi.org/10.21829/MYB.2018.2411413

Kolosov N, Bohlmann J (2012) Conifer Defense Against Insects and Fungal Pathogens. 85–109. https://doi.org/10.1007/978-3-642-30645-7_4

Krekling T, Franceschi VR, Krokene P, Solheim H (2004) Differential anatomical response of Norway spruce stem tissues to sterile and fungus infected inoculations. Trees - Structure and Function 18(1): 1–9. https://doi.org/10.1007/s00468-003-0266-y

Langenheim JH (2003) Plant resins: chemistry, evolution, ecology, and ethnobotany. Portland, OR: Timber Press.

Llorente P (1998) Problemática y perspectiva en el sector resinero en Castilla y León. C. Universitario (Ed.). Primer Simposio de aprovechamiento de resinas naturales. Actas científicas. Segovia: Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (INIA).

Lewinsohnce E, Gijzen M, Croteau R (1991) Defense Mechanisms of Conifers1. Plant Physiology 96: 44–49.

Lombardero MJ, Ayers MP, Lorio JrPL, Ruel JJ (2000) Environmental effects on constitutive and indicible resin defences of *Pinus taeda*. Ecology Letters 3: 329–339.

Luchi N, Ma R, Capretti P, Bonello P (2005) Systemic induction of traumatic resin ducts and resin flow in Austrian pine by wounding and inoculation with *Sphaeropsis sapinea* and *Diplodia scrobiculata*. Planta, 221, 75–84. https://doi.org/10.1007/s00425-004-1414-3

Liu Y, Wang Z, Zhao F, Zeng M, Li F, Chen L, Guo W (2022) Efficient resin production using stimulant pastes in *Pinus elliottii*× *P. caribaea* families. Scientific Reports 12(1): 1-10.

Martínez De Arano I, Maltoni S, Picardo A, Mutke S (n.d.) KNOWLEDGE TO ACTION Productos forestales no madereros para la conservación de la naturaleza, la economía verde y el bienestar humano. Recomendaciones para la acción política en Europa.

Meiggs R (1982) Trees and timber in the ancient Mediterranean world. Oxford University Press.

Michavila S, Rodríguez-García A, Rubio F, Gil L, López R (2020) Salicylic and citric acid as promising new stimulants for resin tapping in maritime pine (*Pinus pinaster* Ait.). Forest Systems 29(3): 1–6. https://doi.org/10.5424/fs/2020293-16737

Moreira X, Mooney KA, Rasmann S, Petry WK, Carrillo-Gavilán A, Zas R, Sampedro L (2014) Trade-offs between constitutive and induced defences drive geographical and climatic clines in pine chemical defences. Ecology Letters 17(5). https://doi.org/10.1111/ele.12253

Moreira X, Zas R, Solla A, Sampedro L (2015) Differentiation of persistent anatomical defensive structures is costly and determined by nutrient availability and genetic growth-defence constraints. Tree Physiology. https://doi.org/10.1093/treephys/tpu106

Nagy NE, Krokene P, Solheim H (2006) Anatomical-based defense responses of Scots pine (*Pinus sylvestris*) stems to two fungal pathogens. Tree Physiology 26(2): 159–167.

Nájera y Angulo F (1942) Estudio sobre los perfeccionamientos de que es susceptible el sistema de resinación Hugues. Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias (IFIE), Madrid.

Nájera y Angulo F, Rifé Lamprecht MP (1951) Resinación con estimulantes químicos. Estudio general y experiencias realizadas en los pinares españoles. II. Ácido sulfúrico. Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias (IFIE), Madrid.

Nájera y Angulo F (1961) Sistema de resinación de pica de corteza estimulado con ácido sulfúrico: normas de aplicación Ministerio de Agricultura, Dirección General de Montes, Caza y Pesca Fluvial, Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias (IFIE), Madrid.

Nanos N, Tadesse W, Montero G, Gil L, Alia R (2000). Modelling resin production distributions for *Pinus Pinaster* Ait using two probability functions. Annals of Forest Science 57(4): 379–377. https://doi.org/10.1051/FOREST:2000128

de Oliveira Junkes CF, Duz JVV, Kerber MR, Wieczorek J, Galvan JL, Fett JP, Fett-Neto AG (2019) Resinosis of young slash pine (*Pinus elliottii* Engelm.) as a tool for resin stimulant paste development and high yield individual selection. Industrial Crops and Products 135: 179-187.

Pardos JA, Solis W, Moro J (1976) Estudio de las variaciones estacionales de la presión de exudación de la resina en árboles, grandes productores y de producción media. Comunicaciones INIA, Serie Recursos Naturales, nº 4,29.

Pinillos FM, Picardo A, Allue-Andrade M (2009) La resina: Herramienta de conservación de nuestros pinares. CESEFOR. Soria.

Rissanen K, Hölttä T, Vanhatalo A, Aalto J, Nikinmaa E, Rita H, Bäck J (2016) Diurnal patterns in Scots pine stem oleoresin pressure in a boreal forest. Plant Cell and Environment. https://doi.org/10.1111/pce.12637

Rodrigues KCS, Fett-Neto AG (2009) Oleoresin yield of *Pinus elliottii* in a subtropical climate: Seasonal variation and effect of auxin and salicylic acid-based stimulant paste. Industrial Crops and Products 30: 316–320. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2009.06.004

Rodrigues KCS, Fett-Neto AG (2018) Corrigendum to 'Oleoresin yield of *Pinus elliottii* in a subtropical climate: Seasonal variation and effect of auxin and salicylic acid-based stimulant paste' Ind. Crops Prod. 30/2 (2009) 316–320 (S0926669009000909) (10.1016/j.indcrop.2009.06.004)). Industrial Crops and Products 112: 846. https://doi.org/10.1016/J.INDCROP.2017.12.018

Rodríguez-García A, Martín JA, López R, Mutke S, Pinillos F, Gil L (2015) Influence of climate variables on resin yield and secretory structures in tapped *Pinus pinaster* Ait. in central Spain. Agricultural and Forest Meteorology.

Rodríguez-García A (2016) Factores anatómicos, dendrométricos y climáticos implicados en la producción de resina de *Pinus pinaster* AIT.: aplicación a la mejora de los métodos de resinación. Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Madrid.

Rodríguez-García A, Martínez Carreira E (2022) Especial Producción y consumo sostenibles. Estado de la técnica y del mercado en la producción y consumo de resinas naturales. Revista Montes: 30-34.

Ruel JJ, Ayres MP, Lorio PL (1998) Loblolly pine responds to mechanical wounding with increased resin flow. www.nrcresearchpress.com

Sánchez-González M, Calama R, Bonet JA (2020). Los productos forestales no madereros en España: Del monte a la industria. Monografías INIA: Serie Forestal 31. INIA, Ministerio de Ciencia e Innovación, Gobierno de España.

da Silva Rodrigues KC, Apel MA, Henriques AT, Fett-Neto AG (2011). Efficient oleoresin biomass production in pines using low cost metal containing stimulant paste. Biomass and Bioenergy, 35(10): 4442–4448. https://doi.org/10.1016/J.BIOMBIOE.2011.08.021

Soliño M, Yu T, Alía R, Auñón F, Bravo-Oviedo A, Chambel MR, de Miguel J, del Río M, Justes A, Martínez-Jauregui M, Montero G, Mutke S, Ruiz-Peinado R, García del Barrio JM (2018) Resin-tapped pine forests in Spain: Ecological diversity and economic valuation. Science of the Total Environment. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.01.027

Solís W, Zamorano JL (1974) Caracteristicas y utilizaci6n de la “pasta lFIE” como estimulante de resinaci6n. Hoja Tecnica INIA 2. Madrid.

Uriarte Ayo R (1998) Coyuntura económica y estrategia empresarial: La Unión Resinera Española, 1898-1936. Revista de Historia Industrial (14): 83-124.

Caso particular VII. El castaño y el aprovechamiento de la castaña*

Esteban Sinde, Enrique Fandiño, Xesús Graña, Sarah Bott

1. El castaño y la producción de castaña

¿Qué es la castañicultura? Emulando a Zinker (1998) en sus ensayos de psicología, se podría decir que el estudio del castaño y sus técnicas de cultivo tiene parte de ciencia, de disciplina y de arte.

El objetivo principal que se persigue con ella es producir castaña, pero quizás la meta más noble del verdadero castañicultor es crear soutos centenarios con castaños monumentales. Para alcanzarlo con éxito el castañicultor requiere ser un científico, un maestro y un artista, puesto que será deseable que posea:

1. Los conocimientos científicos necesarios sobre las variedades de castaño, marcos de plantación, cuidados de la planta, prevención de patologías, actualización de conocimientos, etc.

2. Las técnicas de la disciplina como el modo de plantación, la poda, el injerto, el manejo de los riegos, la aplicación de los abonos... convirtiéndose así en un "maestro" de la disciplina.

3. El enfoque artístico de un paisajista, de modo que el souto pueda convertirse en una pieza harmónica del paisaje tradicional.

Antes de comenzar, es obligado responder a otra pregunta que muchos profanos en la castañicultura realizan al acercarse a este árbol: ¿por qué tanto castaño y tanta investigación sobre el castaño? Habiendo tantas especies productivas como el abedul, el roble, el pino, el eucalipto, etc. ¿por qué dedicar tanto esfuerzo a esta especie que parece minoritaria en el paisaje forestal europeo?

La respuesta es muy compleja, pero lo mejor será valorar una serie de cualidades que hacen del castaño, sin lugar a duda, la especie arbórea más emblemática de muchas regiones de media montaña del sur de Europa. Se procede a enumerar estas cualidades diferenciales:

---

* Adaptado de Sinde E (2015) Análisis estratégico de la producción de castañas, hongos y setas silvestres en Galicia. Tesis Doctoral, Universidade de Santiago de Compostela.

- *Su vinculación secular a las tradiciones, la cultura y el paisaje más característico* de la media montaña del sur de Europa. El ecosistema antrópico milenario, todavía conservado intacto desde hace siglos, denominado en gallego souto.

- *Su enorme productividad* con un mínimo esfuerzo de cultivo. No hay otro árbol que sin apenas cuidados pueda producir anualmente en cada hectárea de cultivo 3 000 kg de castaña y unos 5 m^3 de madera de gran calidad.

- *Su buena adaptación al clima y al suelo* de estas zonas de media montaña del sur de Europa. Estas condiciones son óptimas y exclusivas de reducidas áreas del mundo con climatología y edafología similares; mientras que otras especies, como el pino o el eucalipto, se dan bien en muchísimas regiones del mundo (creando así un paisaje más globalizado).

- *La vinculación de su madera con la construcción de muebles y viviendas tradicionales*, pues por su proporción y calidad de duramen era mejor que cualquier otra madera.

- *La vinculación de su fruto a la alimentación* de la población durante gran parte del otoño y el invierno (de ahí que se llamase el árbol del pan), así como al engorde de los animales con la carne de mayor calidad (ovejas y cerdos).

- *La existencia de una industria muy potente asociada a la transformación de sus productos*. En Italia y Galicia están presentes las industrias de la castaña más potentes de Europa, así como, una industria de aserrado de madera de castaño y fabricación de muebles de calidad.

2. Extensión del castaño y producción de castaña

2.1. Producción de castaña a nivel mundial e ibérico

La producción de castaña a nivel mundial ha sufrido una evolución realmente diferenciada entre dos ejes muy marcados (figura VII.1). Por un lado, en Europa, países como Francia han perdido más del 90% de su capacidad productiva en el último siglo (Breisch et al. 1995), con un detrimento general enorme en todos los países, excepto en Portugal y España (donde se está recuperando); y por otro, el continente asiático ha sufrido un fuerte aumento, encabezado por China, que se ha colocado en una posición de líder mundial indiscutible, acaparando más del 90% de la producción de castaña del mundo (figura VII.2 y tabla VII.1).

La falta de aprovisionamiento de castaña en la industria de transformación y en el mercado fresco europeo, unida al aumento de producción de China, han generado que cada vez se produzca una mayor importación de castaña asiática. Según operadores como Bellat (comunicación personal 2014) el mercado europeo demanda más del doble de la castaña que la que produce en la actualidad, de modo que, esta importación de castaña asiática podría llegar a superar las 150 000 toneladas (t). Uniéndose con un mercado que comienza a acostumbrarse a pagar una

tercera parte del precio de la castaña europea por esta castaña asiática (media de 0,50 € frente a 1,50 €) esto supone un problema muy grave para el futuro del castañar en nuestro continente.

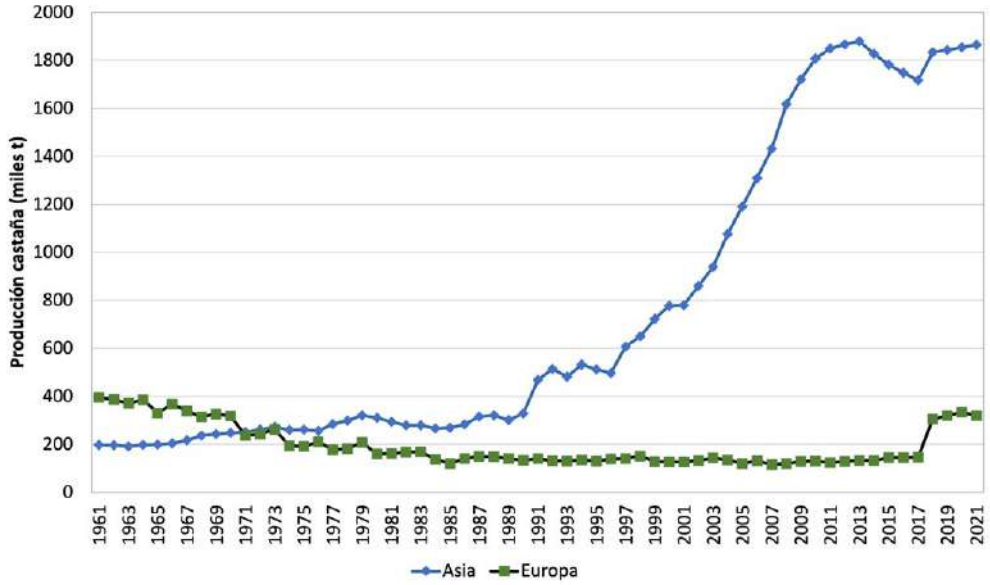


Figura VII.1. Evolución de la producción de castaña, comparativa entre Europa y Asia en toneladas (Fuente: FAOSTAT).

Tabla VII.1. Producción de castaña en Asia y Europa por países en 2012 y 2021 (Fuente: FAOSTAT). * Según los operadores de fruto esta cifra no está ajustada a la realidad productiva del país (Tabla VII.2).

CONTINENTE / PAÍS	TONELADAS (t)	
	2012	2021
ASIA	1 736 500	1 865 163,13
China	1 620 000	1 703 652,67
Corea del Sur	82 300	54 973,15
Japón	23 500	15 700
Corea del Norte	10 700	12 468,81
EUROPA	169 417	319 516,48
Turquía	59 171	77 792
Italia	42 700	43 000
Portugal	22 400	37 150
España	18 600	187 680*
Grecia	11 000	32 900
Francia	9 536	9 460
Albania	5 500	5 090,7
Hungría	280	260

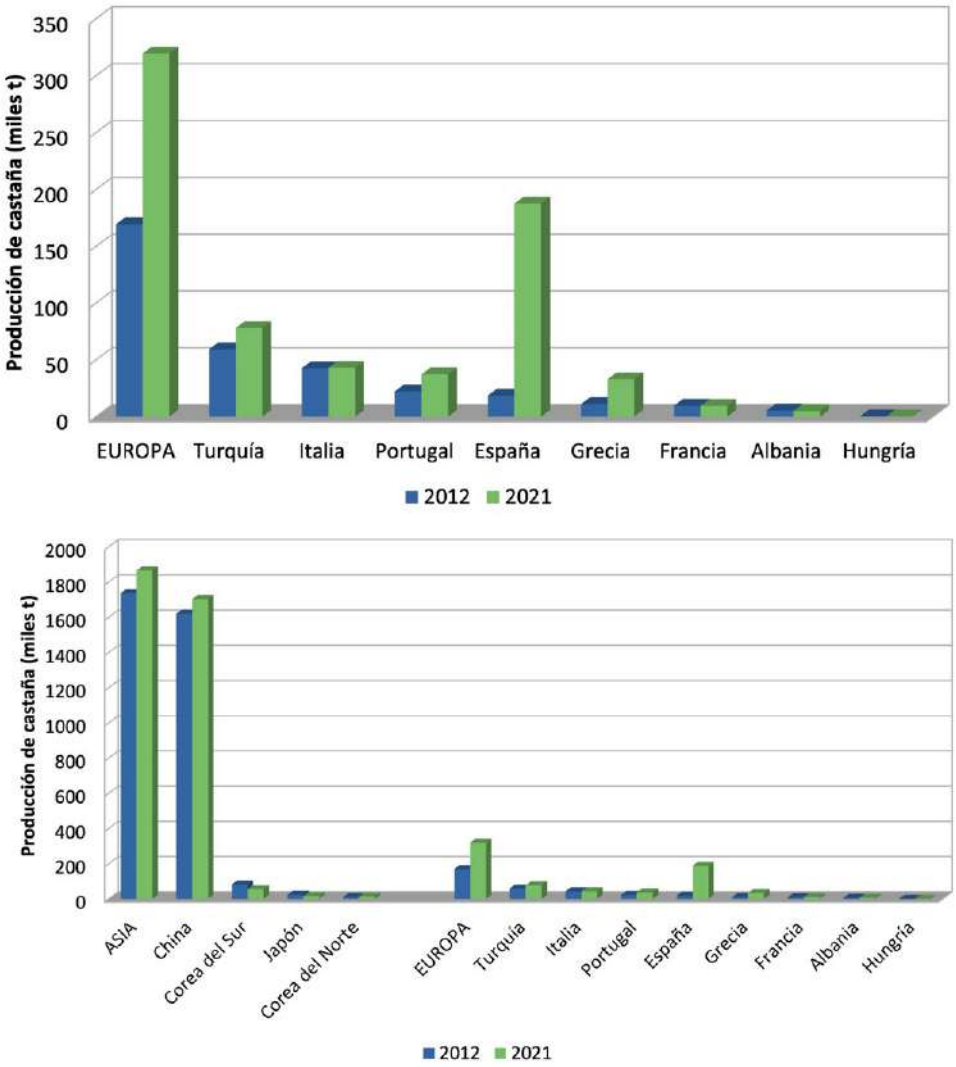


Figura VII.2. Producción de castaña (en toneladas) por continente y países en 2012 y 2021. Arriba: en Europa. Abajo: en Europa y Asia (Fuente: FAOSTAT).

Sin embargo, respecto a los datos presentados, se debe advertir que tienen que tratarse con recelo. La producción china, según Bellat (comunicación personal), durante el año 2005 era tan solo de 300 000 t (año en el cuál FAOSTAT referencia 1 600 000 t). También, hay que tener en cuenta que durante los años 2000 a 2005 FAOSTAT referenciaba como cuarto productor mundial a Bolivia con más de 80 000 t. Dato totalmente falso, ya que en Bolivia no se produce castaña, confundiéndose sin duda esta producción con la de anacardo (denominado en este país con el nombre brasileño de “castaña de cajú”).

Como excepción a la dinámica regresiva europea, tanto con respecto a la producción, como a la superficie dedicada; se debe destacar a Portugal, habiendo sufrido un aumento durante los últimos treinta años (figura VII.3). Los datos de producción de castaña en España nunca han estado muy claros y las cifras que ofrece el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA) no se ajustan a la realidad, debido a la cantidad de producto que se mueve fuera del control estadístico gubernamental.

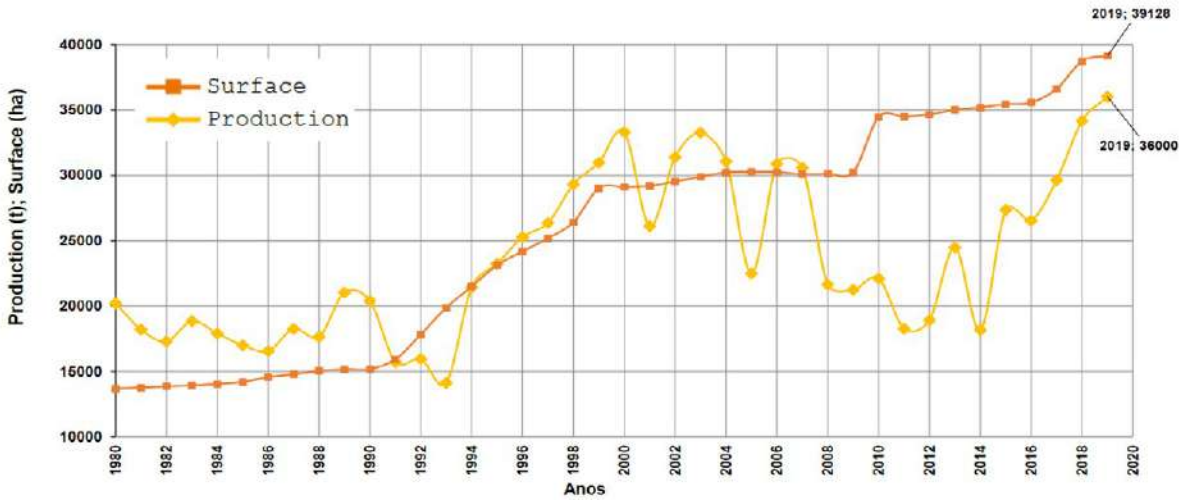


Figura VII.3. Evolución de la extensión de castaños de fruto y la producción de castaña en Portugal (Fuente: REFCAST).

Las principales regiones productivas de España son: Galicia, Castilla León, Extremadura y Andalucía acumulando entre las cuatro el 95 % de la producción de castaña del país. Para estas, en el período de 2010 a 2014, se ha realizado una estimación de la extensión de castaños de fruto y de la producción de castaña, basada en los datos ofrecidos por las cooperativas de producción, las empresas transformadoras y comercializadoras, así como, multitud de almacenistas y castañicultores, a los que se realizaron entrevistas. Estos datos (tabla VII.2) sitúan al país en el segundo puesto de la Unión Europea, muy próximo a Italia y con una producción superior a Portugal; además de, en el Rankin de los 5 países del mundo con mayor producción de castaña, de ese momento. Dentro del contexto español resalta Galicia por tener entre el 50 – 60 % de la producción de castaña y concentrar en su territorio las mayores industrias de transformación de España. Además, en cuanto a la evolución de las diferentes comunidades, resalta el fenómeno de aumento de la producción sufrido en el centro y sur de España, especialmente en Cáceres y Málaga.

A continuación, se muestra un breve resumen esquemático de la situación en las principales comunidades productoras de España en 2014, desde sur a norte (tabla VII.3).

En lo referente a los principales lugares donde se produce la venta de la castaña, se pueden resumir en: industrias de transformación (más del 50 % de la castaña), almacenes y empresas para venta en fresco, grandes superficies, Mercas (único punto de comercialización donde se pueden obtener datos estadísticos fiables), venta al detalle y exportación.

El precio de la castaña se ha incrementado en los últimos años, llegando a duplicarse. Esto se refleja en la evolución de los precios en Portugal para 3 variedades de castaña (Martaínha, Judía y Longal) en los 10 años de 2009 a 2019, pasando de costar 1,7 a 4; 1 a 2,2 y 0,7 a 1,4 € kg^{-1} respectivamente (figura VII.4).

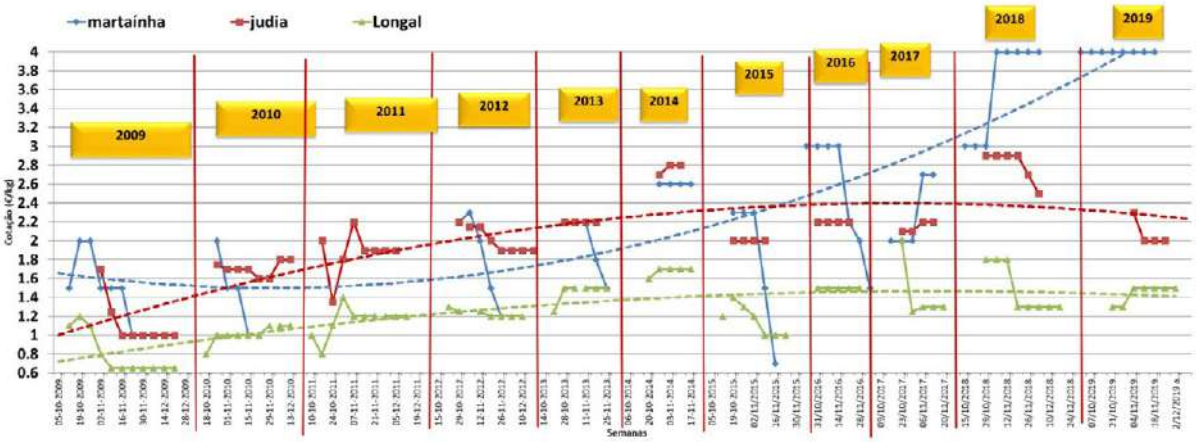


Figura VII.4. Evolución de los precios pagados por la castaña Martaínha, Judía y Longal en los años 2009 – 2019 (Fuente: REFCAST).

Tabla VII.2. Extensión del castaño y producción de castaña anual estimada, media de los años 2010 – 2014, para las principales regiones productoras de España (Fuente: Comunicación personal). * Los datos de Galicia no se han podido recopilar por provincias, porque la mayoría de los almacenes y empresas de transformación compran de orígenes diversos en la comunidad. Se estima que en torno al 70 % procede de Ourense y un 25 % de Lugo. ** Se estiman del total de ha de castaño correspondiendo, aproximadamente, el 40 % a castaños de fruto.

COMUNIDAD/Provincia	EXTENSIÓN DE CASTAÑOS (ha)	PRODUCCIÓN ESTIMADA (t)
ANDALUCÍA	**9 000**	**6 000**
Málaga (Sierra del Genal)	3 800	4 000
Huelva (S de Aracena)	5 000	2 000
CASTILLA-LEON	**67 678 (28 000 de fruto)**	**8 000**
Ávila	3 782	200
Burgos	226	-
León (Bierzo)	36 208	7 000
Salamanca	14 797	-
Zamora	12 663	800
EXTREMADURA (Cáceres)	**10 000 (3 000 de fruto)**	**4 400**
Valle del Jerte y La Vera	1 400 (de fruto)	2 000
Villuercas e Ibores	1 600 (de fruto)	2 400
GALICIA*	**32 156**	**24 000**
TOTAL ESPAÑA	140 000 ha **	42 400 toneladas

Tabla VII.3. Descripción de la situación de la producción de castaña en las principales zonas productoras de España (Fuente: Sinde 2015).

ANDALUCÍA	
Principales zonas productoras	Sierra de Aracena (Huelva) y Valle del Genal (Málaga)
Producción total	6 000 t (4 000 t casi en su totalidad del Valle del Genal) y 2 000 t de la Sierra de Aracena)
Variedades principales	Comisaria, Ancha y Helechal en Aracena Pilonga en el Valle del Genal
Nivel de agrupacionismo	Bueno. Existiendo en el Genal una cooperativa con gran parte de la producción (Castañas Valle del Genal S.C.A) y otra gran cooperativa en Aracena (Castañera Serrana S.C.A.)
Problemas sanitarios y productivos principales	En Aracena se dan episodios muy graves de septoriasis (variedades muy sensibles que a veces pierden la hoja antes de engordar el fruto), muy baja productividad, mala polinización por variedades braquiestaminadas y escaso nivel de tinta. El chancro es todavía muy escaso e incipiente detectado por primera vez en el 2013 en Aracena. En Ronda hay plantaciones jóvenes con mejor estado fitosanitario, pero con un ataque de la avispilla incipiente. En general, hay un empleo muy bajo de híbridos en nuevas plantaciones lo que supone una debilidad a futuros ataques de tinta teniendo en cuenta la climatología favorable para este hongo
EXTREMADURA	
Principales zonas productoras	Valle del Jerte y Sierra de Villuercas - Ibores (Cáceres)
Producción total	4 400 t (2 000 t Valle del Jerte y 2 400 t Sierra de Villuercas - Ibores)
Variedades principales	De Pablo e híbridos (Valle del Jerte) y Verata (Guadalupe) Híbridos (90 044 y Bouche de Bétizac) así como variedades de *Castanea sativa* de calidad en expansión (sobre todo Judía)
Nivel de agrupacionismo	Muy bueno en el Jerte (Agrupación de cooperativas con la mayor parte de la producción - ACVJ), bueno en la sierra de Villuercas - Ibores (varias cooperativas con bastante producción y los dos propietarios privados más grandes a nivel estatal en Guadalupe)
Problemas sanitarios y productivos principales	Nivel de tinta medio, grave ataque ya en el siglo XVIII, pero en la actualidad abundantes plantaciones con híbridos lideradas por la ACVJ. Chancro escaso e incipiente en ambas zonas, descrito por primera vez en el año 2012. Llegada reciente de la avispilla, aunque muy controlada. Transición de la variedad de Pablo a cultivares más variados (tanto híbridos como *C. sativa*) lo que da una mayor estabilidad y seguridad frente a patologías. Asesoramiento muy importante de la ACVJ en métodos de cultivo, tratamientos, y sistemas de recogida a todos los castañicultores cooperativistas
CASTILLA - LEÓN	
Principales zonas productoras	El Bierzo (León) y Zamora
Producción total	8 000 t (entre 6 000 y 7 000 del Bierzo y 600 - 800 de Zamora; se desconoce el valor de Salamanca, a pesar de su gran superficie)
Variedades principales	Negral y Parede (El Bierzo), muchas variedades en Zamora
Nivel de agrupacionismo	Muy elevado a nivel secundario y terciario (Mesa del Castaño) con un programa estratégico modélico a nivel estatal. Muy escaso a nivel primario (cooperativa Rimor, sindicatos y cooperativas)
Problemas sanitarios y productivos principales	Elevado nivel de tinta, nivel de chancro muy alto (más del 70 % de los árboles) y riesgo muy probable de entrada de la avispilla (localizado en zonas limítrofes). Alto nivel de abandono en cuidado de los soutos

GALICIA	
Principales zonas productoras	Sierras de Ourense (Macizo Oriental, Valdeorras y Sierra do Eixe) y sierras de Lugo (Courel, Ancares, etc.)
Producción total	24 000 t (aproximadamente 70 % en Ourense y 25 % en Lugo)
Variedades principales	Más de 50 variedades, destacando la Amarelante, De Presa, Famosa, Garrida, Longal, Luguesa, Negral, Inxerta, Parede, Ventura, etc.
Nivel de agrupacionismo	Escaso a nivel primario, aunque incipiente por agrupaciones creadas en los últimos años (A Castaña, Amarelante, Soutos Vivos, etc.). A nivel secundario agrupación fuerte, pero sobre todo a nivel empresarial mediante Proagrosilga (Asociación de productores y comercializadores de castaña) y labor importante en promoción de cultivos por la Indicación Geográfica Protegida (IXP) "Castaña de Galicia"
Problemas sanitarios y productivos principales	Elevado nivel de tinta, chancro muy extendido y ataque de la avispilla incipiente en toda la Comunidad. Ataques graves de septoriasis en variedades sensibles como Famosa y baja productividad general. Amplio empleo de híbridos para madera en zonas costeras, pero muy escaso como portainjertos. Grandes superficies de soutos abandonadas y nivel de formación de castañicultores bajo. Incipiente recuperación de los cultivares por la labor de la IXP, así como aparición de agrupaciones jóvenes y nuevas plantaciones

Además, la venta de castaña en los Mercas también ha ido suponiendo una importancia mayor relativa a lo largo de este período, apuntando una tendencia positiva en su consumo y precio en el mercado ibérico del fresco (figura VII.5), que favorece mucho la potenciación de su cultivo.

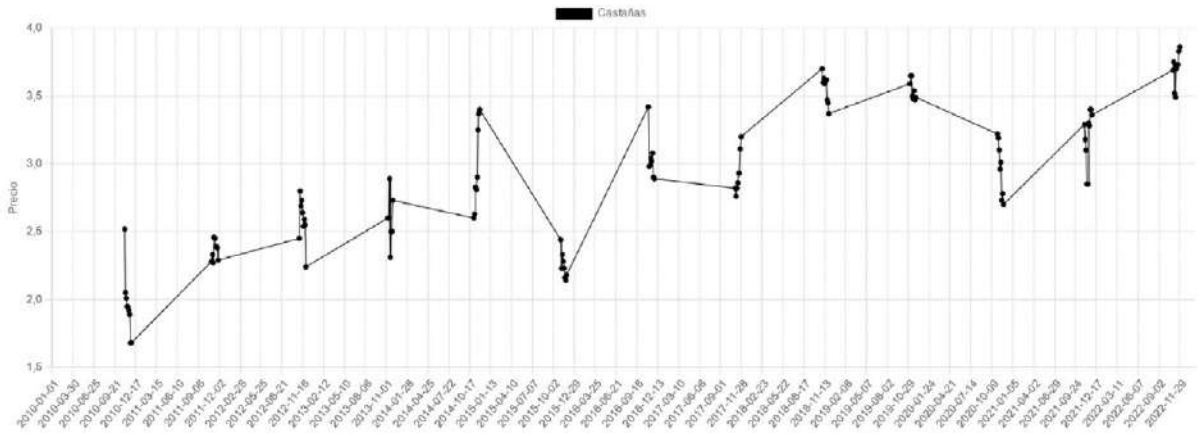


Figura VII.5. Evolución de los precios pagados por la castaña en los Mercas de España en el período 2009 – 2022 (Fuente: Merca S.A.).

Según los datos de EUROSTAT, en la campaña 2020 - 2021 en España se exportaron 8 587 t de castañas, mientras que las importaciones no llegaron a las 3 000 t. Respecto a las exportaciones, los países de destino principales son Francia, Italia, Portugal y Alemania, puesto que se envían allí más de 7 000 t de castaña anuales, suponiendo así el 95 % de la exportación mundial de España.

2.2. Evolución reciente de la superficie de castaño y la producción de castaña

Los datos paleontológicos confirman que el castaño (*Castanea sativa*) ya estaba presente en España en el Pleistoceno, aunque no hay datos que confirmen el uso de su fruto hasta la llegada de las legiones romanas en el siglo I. Estas legiones fueron probablemente las transmisoras de, junto a otras especies frutícolas o forestales; unas variedades, tecnología de mejora y aprovechamiento (como la recogida y conservación de los frutos) del castaño que, procedente del cercano Oriente, se establecería por todo el Imperio, incluido en España (Fernández de Ana Magán 2001). La ruta de este conocimiento sería:

Castañicultura de Persia → Turquía → Grecia → Roma → España

Según varios autores el mayor interés en la utilización del castaño para la producción de fruto se desarrollaría en la Edad Media, cuando se crea el "paisaje de soutos" como forma clara de apoyo a la economía de subsistencia. Estos soutos eran masas puras, poco densas (marcos de plantación de 12 x 12 o 10 x 10 m), dedicadas a la producción de fruto y con prados o cultivos agrícolas frecuentes entre los castaños (generalmente centeno o trigo). La castaña era la moneda de pago de los arriendos de foros, tal y como consta en los documentos de monasterios gallegos, y los excedentes de producción eran usados para pagar otras necesidades de los campesinos (Fernández de Ana Magán 2001). El área ocupada por el castaño desde la Edad Media en España debió seguir en expansión hasta el siglo XVIII, cuándo empieza su regresión, fundamentalmente por la tinta, posteriormente el chancro y, por último, el abandono rural.

Respecto a la extensión del castaño a nivel estatal, el Inventario Forestal Nacional (IFN), en su tercer ciclo, estima que la especie ocupa el dieciseisavo lugar en importancia, con casi 173 millones de pies menores en toda España y más de 140 millones de pies mayores (tabla VII.4). Es positivo que las existencias de árboles hayan aumentado en los últimos años, pues, entre el IFN2 y el IFN3 se contabilizan en torno a 60 millones de pies más. También, en el inconcluso cuarto ciclo del inventario se consideran ya algo más de 19 millones de pies mayores más que en el IFN3. Esto genera una clara idea del avance del bosque en nuestro país.

Este incremento puede deberse al gran número de plantaciones realizadas, gran parte de ellas, promovidas por las ayudas de la Unión Europea; así como, al abandono rural creciente, que conlleva el retroceso de cultivos agrícolas y áreas a matorral para pasto.

Debe tenerse en cuenta que estas plantaciones no tienen por qué estar destinadas al cultivo de fruto. Por lo que, el repunte observado durante estos últimos años en las toneladas de castañas comercializadas parece deberse a la mayor actividad recolectora, debida al aumento de precio, que ha provocado que mucha gente (especialmente jóvenes en paro) recuperasen la costumbre de recolectar castaña; pero no tanto a la generación de nuevas zonas de producción. Quedando la dinámica en declive progresivo de la castañicultura sin corregirse.

Tabla VII.4. Evolución de las existencias de castaño en España (Fuente: Inventario Forestal Nacional).* Datos incompletos, ya que todavía se encuentra en marcha. Faltan por inventariar Andalucía, Aragón, Castilla-La Mancha y la Comunidad Valenciana. **VCC: Volumen con corteza. ***CANT. P. MA.: Cantidad de pies mayores. Pie Mayor: todo árbol con diámetro, a la altura del pecho (1,3 m), superior o igual a 75 mm. ****Cant. p. me.: Cantidad de pies menores. Pie menor: aquel árbol que, teniendo más de 1,3 m. de altura, cuenta con un diámetro comprendido entre 25 y 74 mm.

		IFN1 (1964 – 1975)	IFN2 (1986 – 1996)	IFN3 (1997 – 2007)	IFN4 (2008...) *
Volumen	**VCC (m^3) ** **	13 534 745	17 688 386	12 648 569	28 128 596
Unidades	**CANT. P. MA. *** **	177 096 448	107 139 570	140 861 296	160 113 615
	Cant. p. me. ** **	204 810 576	145 945 478	172 987 659	168 404 645
Extensión	**Superficie (ha)**	126 558	-	-	11 864
	A.b. (m^2)	-	4 157 943	6 121 668	-

De hecho, hasta 2013 las ayudas, en Galicia, no eran específicas para el castaño de fruto, por lo que obligaban a los propietarios a realizar las plantaciones a un marco inadecuado para la sostenibilidad en la producción de castaña (si no se realizan las entresacas necesarias) de 4 x 4 m; y no exigían el empleo de ningún tipo de variedad resistente a la tinta, ya sean, híbridos productores directos de fruto o planta híbrida injertada con variedades de castaña.

Esto se une al hecho de que los propietarios que realizaban estas plantaciones carecían de una cultura de aprovechamiento de la castaña, por ser "propietarios forestales". Por lo que, aun habiendo producción, las castañas han quedado en el suelo sin recoger, contribuyendo únicamente al notable incremento de las poblaciones de parásitos del fruto, roedores, jabalíes y corzos.

Con dichas subvenciones concretas para la plantación de castaño de fruto se espera que comience una dinámica de recuperación de la especie a nivel frutícola.

2.3. *Situación de los soutos, problemática territorial y poblacional*

La extensión de castaños y la producción de castaña no genera una idea real del principal problema que sufren estos bosques antrópicos en la actualidad: el abandono. En la mayor parte de las áreas de alta y media montaña de Galicia y el Bierzo se repite la misma situación socio - económica y territorial respecto al estado de los soutos (tabla VII.5):

- *Existen más de 30 ha de soutos multicentenarios rodeando a los pueblos.*

- *La mayoría de los castaños son ejemplares monumentales*, con un enorme potencial productivo, paisajístico y turístico.

- *Existen deficiencias importantes de mantenimiento* en gran parte de los soutos (podas, desbroces, arado o el injerto...) y la mayor parte de las personas que realizan estas tareas son mayores.

- *Los problemas fitopatológicos todavía no son graves* (tinta casi inexistente, poca incidencia de chancro, escasa presencia de la avispilla con muy pocos pueblos afectados).

- *La mayoría de los castaños son de variedades de castaña muy mezcladas* (entre 4 - 7 familias varietales diferentes en cada pueblo) todas ellas autóctonas.

- *Dispersión territorial de los castañares*, el souto no se encuentra dividido en parcelas, sino que aparece en el Catastro como una única unidad parcelaria en la que la única manera de saber a quién pertenecen los árboles es consultando a las pocas personas mayores que todavía viven en el pueblo (y que muchas veces no se acuerdan de quién es cada árbol); en algunos casos incluso el árbol es de varios herederos y el suelo es de otra familia.

- *No existen nuevas plantaciones* de castaños.

- *Éxodo poblacional*, menos de 5 familias viven de modo permanente en cada pueblo.

- *Envejecimiento poblacional*, que conlleva la ausencia de gente joven; aunque esta abunda en los núcleos comarcales próximos y se encuentra en paro y con pocas expectativas laborales.

En estudios realizados en Galicia se refleja que el castaño es el principal producto agrario que mantiene viva la productividad agrícola de algunos de estos pueblos (Fernández de Ana Magán et al. 1998), y por tanto sirve para conservar el paisaje, así como ciertas costumbres productivas (el desbroce de los castañares, la poda, la recolección, el secado, etc.). Este último aspecto, el de estandarte de la vitalidad agraria, paisajística y cultural de la montaña, puede ser el más importante que aporta esta especie.

La relación entre los indicadores de mantenimiento/sanitarios de los soutos y los indicadores económicos es inversamente proporcional, de modo que a mayor grado de desarrollo del municipio peor es el grado de conservación de los soutos (Fernández-Manso et al. 2010). Esta reflexión es muy importante, para comprender que el futuro de este ecosistema no está ligado al desarrollo económico de un municipio. Para estos autores el desacoplamiento territorial entre el capital castaño y el capital humano dificulta las posibles actuaciones para su conservación. Sin embargo, en ciertos lugares de Galicia, surgen ejemplos esperanzadores de gente joven que, aprovechando el abandono territorial y poblacional de algunas zonas de castañares, han decidido retornar a estos lugares para restaurar o crear nuevos soutos y realizar castañicultura de modo rentable y sostenible. Estos modelos de aprovechamiento se basan en la convivencia entre una temporada de preparación y de recogida de castaña (otoño) y otra temporada en la que los castañicultores buscan otro empleo o incluso cambian su

lugar de residencia (invierno-primavera). Quizás en estos modelos de vida alternativos y en el aprovechamiento "alquilado" de los soutos antiguos pueda estar la clave para solventar los problemas socio - económicos y territoriales que rodean las principales zonas de soutos en la montaña.

Tabla VII.5. Plan DAFO sobre la situación del sector de la castaña (Fuente: Mesa del castaño).

ENTORNO INTERNO	
Fortalezas	Debilidades
- Condiciones geográfico – climáticas óptimas - Bien cultural arraigado - Estudios de investigación fitosanitarios avanzados - Alta capacitación técnica - Producto potencialmente valorado - Entorno de alto valor - Alto número de variedades, con amplio abanico de productos finales	- Atomización de la propiedad. Minifundismo - Falta de asociacionismo en productores primarios - Carencia de coordinación de acciones - Deficiencia en el control de calidad, la variedad y el origen: trazabilidad - Estado actual de las masas por abandono y malas prácticas - Falta de propuestas de valor del producto - Poder de negociación débil al no existir una voz común - Falta de adaptación a las necesidades de la demanda - Dificultades de gestión integral - Falta de acuerdo de precios/calidad que satisfaga a productores/operadores - No existe una política interna de precios que prime la calidad del producto frente a la cantidad - Disminución de la calidad del producto: alta infectación
ENTORNO EXTERNO	
Oportunidades	Amenazas
- Sensibilidad ambiental creciente por parte de la sociedad: interés paisajístico, sumidero de CO_2 - Interés por parte de la Administración y diversas entidades locales en la mejora de la situación de los soutos de castaño - Demanda de producto asegurada - Posibilidades de aprovechar mercados aún no explotados: transformación, productos secundarios y sectores productivos relacionados - Plan de Desarrollo Rural en marcha - Existencia de mecanismos de financiación de la UE apropiadas	- Pérdida generalizada de población rural y desmotivación de la existente - Disminución de la superficie productiva: estado fitosanitario e incendios forestales - Existencia de nuevos riesgos fitosanitarios - Zonas productoras gallegas, andaluzas y portuguesas mejor organizadas - Poder de negociación del demandante creciente - Mercado chino con precios por debajo del coste regional

3. Patología del castaño y la castaña

3.1. La tinta (Phytophtora cambivora)

La tinta (figura VII.6) ha sido la principal causante del retroceso de los castañares en Europa. El hongo productor de esta enfermedad, procedente de Asia, llegaría entre los siglos XVII y

XVIII con plantas vivas (especias, cítricos, camelios, etc.) que venían en grandes barricas con tierra. El hongo es autóctono de Japón y China, donde los castaños asiáticos *Castanea crenata* y *Castanea. mollisima*, tras milenios de evolución conjunta, presentan una gran resistencia natural a él.

Figura VII.6. Castaños muertos por tinta. Izquierda: en Mourisca, Viana do Bolo (Ourense) a 750 m.s.n.m. Derecha: en el Courel (Fuente: Sinde 2015).

Dicha resistencia se ha mantenido en los híbridos con el castaño europeo. Es importante resaltar que dicho concepto no quiere decir inmunidad. Los híbridos, al igual que el *C. crenata* del que toman su resistencia, se ven afectados por la infección de tinta. De modo que, si las plantas híbridas se encuentran en suelos apropiados (bien drenados) y en buenas condiciones fisiológicas, son perfectamente capaces de vencer el ataque de tinta, mientras que, *C. sativa* no tiene mecanismos para luchar contra la infección; por lo cual, morirá con un alto grado de probabilidad.

3.2. El chancro (Chryphonectria parasytica)

El hongo causante del chancro del castaño, es un saprófito facultativo perteneciente a la clase de los Ascomicetes y al orden de los Diaphortales (Baidyaroy y Bertrand 2001) que causa la muerte de las células de la albura debido a la acción de las toxinas que segrega (Vrot & Grente, 1985). Esta muerte impide el flujo de savia y causa el marchitamiento de las hojas distales y la formación de brotes epicórmicos (Vrot y Grente 1985; Anagnostakis 1987). Los signos de la enfermedad son la aparición de micelio, fácilmente visible debajo de la corteza, y la formación de estromas naranjas visibles a simple vista (figura VII.7), donde se forman los picnidios (Grente y Berthelay-Sauret 1978).

La impresión de la evolución reciente de los castañares es que, debido a la mayor concienciación de los castañicultores en la realización de las tareas de prevención y combate de la plaga; así como, a la dispersión natural y artificial de la hipovirulencia, este fenómeno de

dispersión del chancro está ralentizándose. Incluso viéndose recuperación de árboles centenarios en zonas muy afectadas, mejorando estos árboles en pocos años su vigor de manera asombrosa.

Como última innovación biotecnológica, mediante una investigación del Laboratorio de Oak Ridge, en colaboración con The American Chestnut Foundation, se han comenzado a desarrollar castaños transgénicos.

Figura VII.7. Chancro en castaños. Izquierda: chancro hipervirulento sobre injerto en híbrido realizado con púas infectadas. Derecha: inoculación de cepas hipovirulentas (procedentes de chancros que tienen apariencias inusuales y que cicatrizan por si solos sin causar apenas daños al árbol, se llaman así porque perdieron parte de la virulencia) en un castaño afectado por el chancro (Fuente: Sinde 2015 y Seaga).

3.3. La avispilla o cinípedo del castaño (Dryokosmus kuriphillus)

El cinípedo del castaño es un pequeño himenóptero de origen asiático perteneciente a la familia Cynipidae. Este insecto procedente de China es uno de los más perjudiciales para los castaños, especialmente para el europeo, por disminuir su fructificación hasta en un 80 %, lo cual afecta gravemente a la rentabilidad del cultivo e incluso llegando a matar al castaño en casos de grave ataque o de combinación con otros agentes patógenos (chancro, tinta, etc.) o estrés medioambiental grave (sequía, heladas, etc.).

Las agallas (figura VII.8) son el síntoma más característico y fácil de observar. Consisten en hinchamientos de los tejidos que pueden medir de 5 a 20 mm de diámetro, de color verde a rojizo y suelen localizarse en las yemas de las ramillas jóvenes.

Los huevos o los primeros estadios larvarios que se encuentran en el interior de las yemas no pueden ser detectados en una inspección visual, lo cual, facilita mucho su dispersión con plantas jóvenes o púas para injertar.

Figura VII.8. Agallas de avispilla (Fuente: Fandiño).

Para la lucha contra este insecto existen tres estrategias razonables:

1. *Introducción del Torymus sinensis*. El *T. sinensis* es un cinípedo parasitoide procedente de China, que deposita sus huevos a principios de primavera sobre las agallas recién brotadas del *D. kuriphillus*. La larva que se forma dentro parasita a la larva de la avispilla llegando a matarla. Este proceso consigue debilitar mucho las poblaciones de cinípedo y reduce su avance controlando de modo muy efectivo su dispersión.

2. Investigación y empleo de variedades de castaño resistentes.

3. Control de la infestación en plantas jóvenes.

De forma paralela, y dentro del "Plan de Manejo de los Castañares Afectados por la Avispilla" se han realizado ensayos de endoterapia, consistentes en la aplicación de productos fitosanitarios a través del tronco del castañar con inyecciones a muy baja presión. A priori, estos tratamientos parecen totalmente desaconsejados, teniendo en cuenta la inefectividad que demostraron en Japón. También, se han realizado pruebas de termohidroterapia para el control de la plaga, obteniendo muy buenos resultados. Esta consiste en el tratamiento mediante la inmersión, de las plantas, en agua caliente.

3.4. *La septorioasis (Mycosphaerella castanicola / Septoria castanicola)*

La septoriasis del castaño (incorrectamente denominada como antracnosis) es provocada por la forma asexual de un hongo (*S. castanicola*), que invade las hojas del castaño haciéndose visibles como manchas pardas numerosas (figura VII.9). En veranos húmedos y en variedades sensibles pueden provocar la caída prematura de las hojas, pudiendo aparecer en ellas la forma sexuada (*M. castanicola*), e incluso la pérdida del fruto.

Figura VII.9. Hojas de castaño de diversas variedades con diferentes grados de afección por septoriasis durante el mes de agosto de un verano húmedo (Fuente: Sinde 2015).

3.5. *Insectos que provocan daños sobre el fruto*

Básicamente existen cuatro insectos que afectan directamente a la castaña, por cuanto a que, sus fases larvarias se desarrollan dentro del fruto:

- Balanino (*Curculio elephas*)
- Tortrícido precoz (*Pammene fasciana*)
- Tortrícido tardío (*Cydia splendana*)
- Tortrícido intermedio (*Cydia fagiglandana*)

Mientras *Curculio* es un coleóptero, las otras tres especies son lepidópteros (figura VII.10) cuyo ciclo de vida está totalmente ligado a la floración y fructificación del castaño y debe tenerse muy en cuenta en la lucha contra estos insectos. Las larvas se desarrollan en los erizos de la castaña y viven a expensas del fruto durante el invierno. La pupación y transformación en imagos de las larvas se produce durante el final de primavera y principio del verano, coincidiendo nuevamente con la formación de los frutos.

Figura VII.10. Los cuatro insectos principales que provocan daños directos sobre el fruto (Fuente: Micro Lepidoptera).

Los daños que pueden provocar en el cultivo son importantes, a veces de hasta un 30 % de la castaña parasitada. Para la lucha contra estos insectos se recomiendan tres medidas:

1. *Recogida rápida de la castaña y los erizos*. Esta técnica era totalmente habitual en el sistema de recogida tradicional de la castaña, sin embargo, debido al abandono del souto y a la acumulación de erizos y castañas de una temporada a la siguiente, las poblaciones de parásitos de fruto han aumentado mucho en las últimas décadas. Para su realización tradicional se empleaban rastrillos y carretas, siendo el trabajo final de limpieza realizado por el ganado, generalmente ovejas o cerdos, que se introducían al final del otoño, para garantizar que el castañar quedara bien limpio y, por otro lado, por el importante aporte energético que la castaña suponía para los animales. En la actualidad, esta técnica se puede facilitar mucho mediante el empleo de máquinas sopladoras de mochila, o bien mediante la recogida mecanizada con máquinas aspiradoras que absorben todos los erizos y castañas. Después de la retirada de los erizos, deben ser eliminados mediante la quema de estos para evitar que las larvas existentes puedan migrar al suelo y las castañas serán seleccionadas para eliminar aquellas parasitadas (generalmente con un tratamiento con agua caliente y la eliminación de aquellas que flotan por estar perforadas).

2. Empleo de feromonas.

3. Aplicación de nemátodos como lucha biológica.

3.6. Problemas edáficos y ambientales

En primer lugar, conviene aclarar que el castaño es una especie delicada, que requiere de suelos profundos, bien drenados y de una climatología suave, con lluvias superiores a los 700 mm anuales y un clima preferentemente templado - húmedo. Las áreas donde vegeta en España se encuentran perfectamente definidas por las zonas verdes de la Península. Una vez escogida un área edáfica y climática apropiada, fundamentalmente habrá que valorar tres problemas que reiteradamente afectan al castaño, especialmente en las nuevas plantaciones:

- *El sol*. Respecto a la "quemadura solar" (figura VII.11) cabe destacar que es especialmente grave en los castaños híbridos jóvenes por su delgada corteza, penetrando la quemadura hasta los primeros anillos del cambium e impidiendo así la circulación de savia. Para evitar la quemadura solar se emplearán técnicas como un protector con un elevado grado de sombreo y al mismo tiempo buena capacidad de transpiración (para evitar el efecto invernadero), remedios tradicionales como la colocación de matorrales y/o ramas o el pintado de la corteza en la cara sur del árbol con pinturas claras.

Figura VII.11. Quemadura solar (más del 60 % de la superficie del tronco quemada) que provocó la muerte de un castaño plantado sin protector en la ladera sur de un monte (Fuente: Sinde 2015).

- *El exceso de agua*. El exceso de humedad es otro fenómeno ambiental frecuente en plantaciones jóvenes de castaño, provocando a veces mortalidades alarmantes, especialmente

cuando las plantaciones se hacen en días lluviosos sobre terrenos húmedos, con poco drenaje o por el enterramiento excesivo de las plantas en el momento de la plantación. Este exceso provoca una disminución del oxígeno y dificulta la respiración radical produciendo una anoxia. Los síntomas son: presencia de una fuerte rugosidad en la zona cortical de la planta joven, cuando esta debería estar lisa. Inicialmente, en la epidermis verde se puede observar como las lenticelas se agrandan formando masas parenquimatosas llenas de líquido acuoso. En muchos casos estas acumulaciones alcanzan a otras partes de la epidermis y producen abultamientos más generalizados. La planta intenta brotar, pero en buena medida estos brotes se secan y asociado, a estas partes secas, se observa necrosis de los tejidos corticales, que adquieren un color pardo negruzco. Como resultado final estas necrosis se generalizan y la planta muere. Aunque, si la planta consigue que algunos de sus brotes lleguen a desarrollarse entonces se moviliza la savia y desaparecen los síntomas al cabo de uno o dos meses.

Asociadas a esta fisiopatía (daño causado por un agente físico) se pueden presentar patologías radicales como es el caso de hongos del género *Phytophthora*, *Armillaria* o *Verticillium* que aprovechan la debilidad de la planta, que pierde resistencia, para penetrar por su sistema radical o de insectos como *Xyleborus dispar* que ataca perforando el tronco.

La mejor forma de luchar contra esta fisiopatía es la selección del lugar de plantación buscando suelos bien drenados (regando después de plantar) y el empleo de híbridos más resistentes a estas condiciones ambientales.

- *Las heladas (primavera y otoño).* Dañan de modo importante los verticilos y puntas de las ramas, potenciando un ataque de *Citospora sp*. En estos casos, el cambio de la variedad es la mejor solución, tendiendo a aquellas más resistentes a estos fenómenos, como muchas de las tradicionales de la alta montaña ibérica (Amarelante, Famosa, Verata, etc.) o el empleo de portainjertos que retarden la brotación en primavera o confieran resistencia a las variedades injertadas contra las heladas tempranas de otoño.

  Otra buena solución son los sistemas de riego y de calefacción del aire mediante gas.

4. Propuestas para la puesta en valor del castaño

4.1. Estrategia organizativa, la prioridad del sector

Uno de los principales escollos a solucionar en zonas con minifundismo y dispersión de productores es el del asociacionismo. Para que exista un buen asociacionismo en un sector productivo se debería contar con asociaciones de primer, segundo y tercer orden:

1. *Asociaciones de primer orden*. Sin la potenciación de este tipo de organizaciones, cualquier intento de puesta en valor del sector del castaño es muy difícil; por cuanto, son estas en-

tidades las que se encargan de dispersar cualquier tipo de medida para la puesta en valor del sector de un modo multiplicativo entre los cientos de asociados que las componen y son las que pueden representar al sector mediante su participación en asociaciones de órdenes superiores.

2. *Organizaciones de segundo y tercer orden.* En las que puedan integrarse las pequeñas asociaciones y cooperativas surgidas en torno al castaño en una organización mayor, desde la cuál puedan conseguir sinergias para el empleo de infraestructuras (como centros de acopio), proyectos, ayudas e intervenciones conjuntas de mayor calado. Agrupan a las principales empresas de transformación y venta, así como, algún representante de productores. También, entrarían en este punto las denominaciones protegidas; la Mesa del Castaño del Bierzo, que ha reunido a productores y administraciones para crear un foro de debate común acerca del castaño y para emprender medidas asociativas para la revitalización de este recurso y organiza anualmente el congreso Biocastanea, posiblemente referencia europea para exponer avances conseguidos a nivel científico para el desarrollo de esta especie; y la Mesa Estatal del Castaño (MEC), que actúa como órgano de consulta frente a las decisiones tomadas a nivel estatal para el apoyo del sector (política de la PAC, aprobación de la lucha mediante *T. sinensis* contra la avispilla, etc.). Aunque, todavía debe fortalecerse y adquirir la figura legal mediante la cual pueda acogerse a ayudas que la doten de personal, oficina técnica y representatividad europea.

4.2. Propuestas para la plantación de castaños

Sin duda alguna, las nuevas plantaciones de castaño son la principal manera de contribuir a la recuperación de este cultivo y al mantenimiento del paisaje de soutos y la cultura asociada a él.

La plantación de castaños tiene un coste inicial medio en comparación con otras plantaciones de árboles frutales, pero un retorno económico muy elevado comparado con otros cultivos. El retorno de inversión para 15 ha es muy elevado con un Valor Anual Neto (VAN) de 66 533 €/ha y una Tasa Interna de Retorno (TIR) en torno al 8 %, en un ciclo de 39 años. Esta tasa de retorno está por encima de la tasa de retorno calculada por Reyna (2008) para las plantaciones de encinas truferas, en las que estima un VAN de 50 240 €/ha en un ciclo productivo de 35 años y un Flujo de Caja Anual Equivalente en torno a los 2 696 €/ha. Para la creación de un souto con 333 castaños micorrizados por ha se estima una inversión inicial de en torno a 9 127 € por hectárea (tabla VII.6).

Además de estos gastos, en los que se incluyen abonados químicos de fondo, mallas antihierba y protectores colocados en cada árbol, así como, un técnico forestal para dirigir los trabajos habría que añadir los gastos de la instalación de un sistema de riego y otras infraestructuras. Otros autores como Breisch et al. (2008) han estimado este gasto de plantación para un marco amplio de 100 castaños híbridos por hectárea en torno a los 4 500 €, añadiendo luego otros 1 365 € para el cuidado de cada hectárea de souto entre el año 2 y 6.

Tabla VII.6. Inversión inicial para la creación de un Souto (Fuente: Sinde 2015).

GASTOS PLANTACIÓN POR HECTÁREA	Ud.	Costes unitarios	Coste/ha
ha. Tratamiento desbroce mecánico del terreno	1	375,00	375,00 €
ha. Replanteo del marco de plantación (5 x 6 m) mediante subsolado cruzado	1	275,00	275,00 €
Ud. Ahoyado mediante retroexcavadora	333	1,45	482,85 €
Ud. Planta de castaño de fruto micorrizado con *Boletus edulis* (1,5 - 2 m)	200	17,80	3 560,00 €
Ud. Planta de castaño de fruto micorrizado con *B. edulis* (1,5 - 2 m)	133	13,82	1 838,06 €
Ud. Protector para la planta de 1,10 m de altura	333	1,10	366,30 €
Kg Fertilizante FICTUM 17/6/12+oligoelementos (100 g/planta)	33	4,90	161,70 €
Kg Polímero hidrófilo (30 g/planta)	10	5,85	58,50 €
m2 Malla antihierba de 1 x 1,5 m + ganchos de anclaje	333	1,35	449,55 €
Ud. Trabajos de plantación de castaño, fertilización, colocación de malla y protectora	333	3,95	1 315,35 €
Ud. Técnico forestal para dirección de la plantación	1	245,00	245,00 €
TOTAL			9 127,31 €

4.2.1. Tipos de planta a emplear en las nuevas plantaciones

Antes de concretar los diferentes tipos de planta a emplear en nuevas plantaciones, es necesario puntualizar la confusión habitual que existe al denominar una "variedad" de castaño. Una variedad tradicional se definiría como "un clon único propagado y cultivado en los soutos durante siglos" (Fernández-López et al. 2013). Sin embargo, en la realidad, las variedades de la Península Ibérica no se adaptan a esta definición y cuando se habla de una variedad se refiere a una familia varietal, que se emplea en una zona geográfica y que a pesar de recibir el mismo nombre agrupa a una cantidad indeterminada de clones, que suelen tener una similitud genotípica. Pero, como se ha demostrado en diferentes estudios sobre las variedades gallegas y portuguesas este parecido genotípico entre los diferentes clones que se agrupan dentro de una variedad, normalmente se corresponde a una diversidad fenotípica enorme (en cuanto a conservación, pelado, productividad, etc.).

En las nuevas plantaciones que se realicen para la producción de castaña, básicamente, se puede distinguir entre los siguientes tipos de planta que se podrían emplear:

1. *Castanea sativa*. Existe diversidad de opiniones acerca del empleo de *C. sativa* como portainjertos (Fernández de Ana Magán et al. 1998; Fernández-López et al. 2013), continuando su recomendación de uso en áreas donde existen territorios gravemente afectados por ataques de tinta; si bien es cierto, que también existen soutos aislados en todas estas áreas que todavía conservan un buen estado sanitario respecto a la entrada de *Phytophtora*.

   Para las únicas zonas donde podría ser recomendable el uso de estas plantas es en aquellas en las que existan soutos antiguos sin ataques de tinta, para evitar que con la reposición de plantas de otras procedencias pueda entrar el hongo. Para estas podría ser acertada la recomendación de obtener plantas a partir de castañas de la propia zona para garantizar

una mayor compatibilidad (Fernández-López et al. 2013). Aunque, en estas zonas, también existiría la posibilidad de emplear como portainjertos híbridos "limpios", mediante el uso de planta en contenedor procedente de estaquilla, previa desinfección del sistema radical, (sistema que garantiza mucho más la viabilidad futura de la plantación).

En todo caso, la multiplicación de planta local de *C. sativa* por semilla, para proteger soutos centenarios de zonas relativamente aisladas, no tiene ninguna relación con la dinámica a seguir en las nuevas plantaciones. En estas nuevas plantaciones siempre se considera recomendable el empleo de híbridos como portainjertos, no solo por su resistencia a la tinta, sino también por su mayor vigor, precocidad en la fructificación y resistencia al chancro o a la anoxia radical.

Debido a que, la mayoría de las variedades de castaño (figura VII.12) son autoincompatibles (el polen fértil de una variedad no puede polinizar sus propias flores femeninas), siempre deben plantarse estas variedades con la correcta proporción de polinizadores (entre un 10 – 20 % de los árboles). La polinización se da desde mediados de junio a finales de julio, según la variedad y la zona geográfica en que se encuentre. Según el tamaño de los estambres las variedades ibéricas se pueden clasificar en (Fernández-López et al. 2013):

- *Astaminoides*. Sin anteras (ni polen), por tanto, totalmente estériles, como Branca.
- *Braquiestaminadas*. Con filamentos cortos y pocas anteras (poco polen), como Famosa.
- *Mesoestaminadas*. Con filamentos de tamaño medio (polen medio), como Rapada.
- *Longiestaminadas*. Con filamentos largos y mucho polen, como Negral.

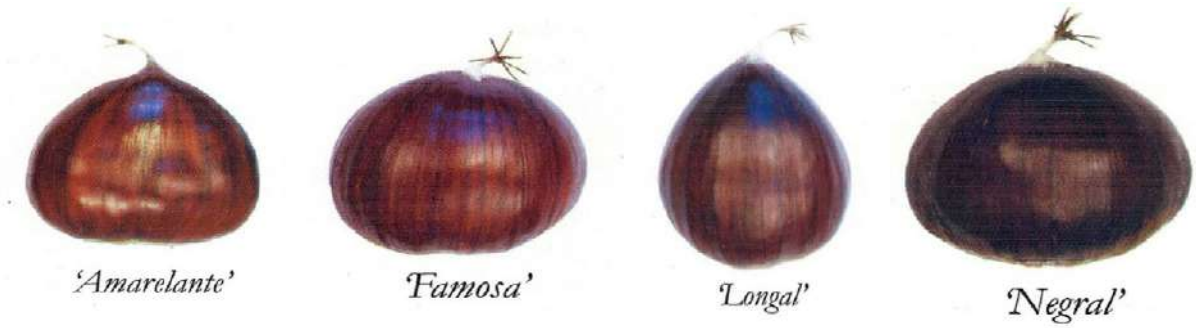


Figura VII.12. Algunas de las variedades amparadas por la Indicación Geográfica Protegida (IXP) "Castaña de Galicia" (Fuente: Fernández-López J y Furones-Pérez 2011).

Se recomienda plantar las variedades en zonas de clima similar al de su uso tradicional, ya que estarán adaptadas a este. Por ejemplo, Famosa y Ventura, del interior de Ourense, están habituadas a inviernos largos y fríos, así como veranos secos y calurosos. Sin embargo, Judía, Luguesa, Negral o Boaventura, han demostrado una productividad excelente (de hasta 8 kg por castaño en árboles de tan solo 6 años de edad) incluso en zonas bajas (altitud de 80 – 200 m) de clima muy suave (Fernández-López et al. 2013).

Este criterio, de aptitud de las variedades en función del parecido de su región de origen con la zona de la plantación, debería ser complementado con otros aspectos como (tabla VII.7):

- *La productividad.*
- *El calibre de fruto.*
- *El mercado actual y futuro de la variedad.*
- *La adaptación del fruto* en cuanto a su conservación y pelado, según su orientación al mercado en fresco o a su transformación industrial.
- *La resistencia* a la avispilla, septoriasis, etc.

Por tanto, teniendo en cuenta que no existen variedades buenas o malas, en las nuevas plantaciones se debe buscar, sobre todo, la máxima rentabilidad económica, ya que, sino el cultivo estará abocado al fracaso. De este modo, dependiendo de la finalidad que se le pretenda dar a la castaña, la elección varietal podrá cambiar totalmente. En este sentido, para la venta en fresco los calibres grandes siempre serán recomendables, especialmente si van unidos a variedades con elevada productividad y resistencia. Por ello, la combinación de Negral y Judía es muy apropiada, pudiendo sustituirse por Negral y Luguesa en zonas más costeras, por cuanto, a la mayor productividad, precocidad y resistencia a la septoriasis de esta última variedad.

Tabla VII.7. Clasificación de alguna de las variedades presentes en la colección de madres del CIFL (Fuente: Fernández-López et al. 2013).

	Amarelante	De Parede	Famosa	Garrida
Calibre (frutos/kg)	Grande mediano (55 – 90)	Pequeño (+110)	Mediano (70 – 85)	Mediano a grande (60 – 75)
Productividad	Elevada (15 kg)	Elevada (20 kg)	Media (10 kg)	
Pelado	Medio	Bueno	Medio	Medio
Conservación	Buena	Buena	Mala	Media
Época de producción	Después del 15 de octubre	Después del 15 de octubre	Después del 20 de octubre	Después del 15 de octubre
Color del fruto	Castaño	Castaño oscuro	Castaño claro	Castaño oscuro
Tabicación	< 7 %	< 9 %	< 2 %	< 9 %
Sabor	Muy bueno	Muy bueno	Muy bueno	Medio
Floración masculina	Media a tardía	Media a temprana	Media a tardía	Media a tardía
Floración femenina	Media	Media	Media	Media a temprana
Polinizador recomendado	1º Negral y Rapada 2º Picona y Serodia	1º Negral y Serodia 2º Rapada	1º Negral y Rapada 2º Picona y Serodia	1º Negral 2º Picona y Serodia

	Longal gallega	Negral	Ventura	Judía
Calibre (frutos/kg)	Pequeño (95 – 100)	Mediano (70 – 85)	Pequeño (100)	Mediano (75)
Productividad	Baja (4 kg)	Elevada (16 kg)	Media (10 kg)	
Pelado	Medio	Bueno	Bueno	
Conservación	Muy buena	Buena	Media	
Época de producción	Después de finales de octubre	Después del 10 de octubre	Después del 15 de octubre	Después de finales de octubre
Color del fruto	Castaño rojizo oscuro	Castaño rojiza	Castaño	
Tabicación	< 3 %	< 13 %	< 3 %	< 7 %
Sabor	Bueno	Bueno	Bueno	
Floración masculina	Media	Media a temprana	Media	
Floración femenina	Media a temprana	Media	Media a temprana	
Polinizador recomendado	Negral	Autocompatible y Rapada, Picona y Serodia	1º Negral 2º Picona y Serodia	Negral y Rapada

2. Híbridos de producción directa: *Castanea sativa* x *Castanea crenata* Como ya se ha comentado, existe una gran cantidad de híbridos de castaño euro - japoneses, provenientes de las colecciones investigadas por la Misión Biológica, el CIFL y el INRA (figura VII.13.) De entre todos ellos, se recomienda centrarse en aquellos que son los mejores productores de fruto, especialmente por el calibre de la castaña, la precocidad y productividad del árbol.

Figura VII.13. Castañas de buen calibre de las variedades Marigoule, Marsol y Précoce Migoule (Fuente: Sinde 2015).

Los híbridos gallegos son híbridos interespecíficos de primera generación (F1) entre *C. crenata* x *C. sativa*; entre los cuales resaltan para la producción de fruto los siguientes: 19, 84, 88, 89, 111, 125, 1482, 90.025 y 90.044. Para otras características como su capacidad de pelado, conservación y aptitud para la transformación los estudios realizados hasta la fecha son muy escasos (tabla VII.8).

Respecto a los híbridos franceses, la mayoría, han sido seleccionados para la producción de fruto y los estudios existentes al respecto son muy abundantes. De los clones del INRA, los más empleados son fundamentalmente cinco: Bouche de Bétizac, Bournette, Marigoule, Marsol y Précoce Migoule. Por abundancia, en cuanto a las plantaciones realizadas, son Bouche de Bétizac y Marigoule los que suponen más del 90% de la planta empleada como productores directos, siendo Marsol la estrella indiscutible como polinizador y portainjertos.

Tabla VII.8. Clasificación de alguno de los híbridos de producción directa (Fuente: Hifas Foresta).

	19	125	90.025	90.044
Calibre (frutos/kg)	Muy grande (40 – 60)	Muy grande (50 – 70)	Medio a grande (50 – 90)	Enorme (30 – 50)
Productividad	Media	Media	Muy alta	Media y muy regular
Pelado	Medio	Medio	Bueno	Bueno
Conservación	Media	Media	Media	Media
Época de producción	Del 5 al 20 de septiembre	Del 30 de septiembre al 15 de octubre	Del 25 de septiembre al 10 de octubre	Del 25 de septiembre al 10 de octubre
Color del fruto	Rojo brillante	Rojo brillante	Pardo claro	Rojo brillante
Tabicación	< 5 %	< 5 %	< 5 %	< 5 %
Sabor	Bueno	Bueno		Bueno
	Bouche de Bétizac	**Marigoule**	**Marsol**	**Précoce Migoule**
Calibre (frutos/kg)	Enorme (30 – 50)	Grande a muy grande (40 – 60)		Medio a grande (40 – 80)
Productividad	Buena y regular		Media a buena	Muy buena
Pelado	Muy bueno	Bueno	Medio	Bueno
Conservación	Media	Buena	Media	Media
Época de producción	Del 20 al 30 de septiembre	Del 1 de octubre al 15 de octubre	Del 25 de septiembre al 10 de octubre	Del 20 al 30 de septiembre
Color del fruto	Rojo claro virando a marrón oscuro	Pardo rojo brillante	Pardo claro	Pardo claro
Tabicación	8 – 20 %	< 5 %	< 5 %	25 %
Sabor	Bueno	Medio	Escaso	
Floración masculina	Precoz	Precoz	Precoz	Precoz
Floración femenina	Precoz	Precoz	Precoz	Precoz
Polinizador recomendado	Marsol, Précoce Migoule o 90.025	Marsol, Précoce Migoule o 90.025		Marsol o 90.025

Sin duda alguna, la productividad, resistencia y vigor de los híbridos como productores directos; así como, el enorme calibre y vistosidad de muchos híbridos los hacen ser la planta más recomendable para producción de castaña para venta en fresco.

Se ha seguido la producción de varias plantaciones de híbridos en Galicia y en el Valle del Jerte encontrando árboles que a los 7 - 8 años dan 10 kg de castaño, lo que supone una producción por ha en torno a 2 000 kg.

3. *Castaños híbridos injertados*. En cuanto a, la aptitud de los diferentes híbridos como portainjertos (compatibilidad, crecimiento, etc.), existen diferentes estudios (propios sin publicar, CIFL, etc.) con resultados muy dispares, de los que se deduce que factores como el modo de cultivo de la planta (maceta / tierra, riego, abonado, etc.); así como, la técnica de injertado influye en el resultado. Acerca de los mejores híbridos para emplear como portainjerto, resulta ilustrativo el estudio y el mapa de recomendación realizado por Fernández-López et al. (2013). La autora y sus colaboradores analizan la aptitud a la propagación vegetativa; el vigor intrínseco, la compatibilidad para el injerto, resistencia al frío, encharcamiento y a la tinta. Los clones investigados son los números: 3, 111, 125, 324, 592, 760, 1.482, 1.483, 2.671, 7.521, 7.810 y 90.025 (tabla VII.9).

Tabla VII.9. Características de los diferentes clones evaluados como portainjertos de la colección CIFL (Fuente: Fernández-López et al. 2013). Clasificación de resistencia a la sequía estival: Buena → supervivencia > 70 % / Media → supervivencia 50 – 70 % / Mala → supervivencia < 50 %. Clasificación de resistencia al encharcamiento: Muy buena → supervivencia 100 % / Buena → supervivencia 80 – 99 % / Media → supervivencia < 80 %

Clon	Genealogía isoenzimas	Compatibilidad en el injerto	Vigor intrínseco	Aptitud para la propagación vegetativa		Resistencias			
				Acodo	Estaquillado y cultivo *in vitro*	*Phytophthora* spp.	Sequía estival	Encharcamiento	Frío
3	F1 (Cc x Cs)	Indicios positivos	Moderado	Muy buena	Aceptable	Buena	-	-	Buena
111-1	F1 (Cs x Cs)	Comprobada	Moderado	Variable	Muy buena	Muy buena	Mala	Buena	Media
125	F1 (Cc x Cs)	Comprobada	Moderado	Muy buena	-	Moderada	-	-	Media
324	F1 (Cc x Cs)	Indicios positivos	-	Aceptable	Aceptable	Buena	-	-	Media
592	F1 (Cc x Cs)	Indicios positivos	Moderado	Buena	Aceptable	Buena	Media	Buena	-
760	F1 (Cc x Cs)	Comprobada	Vigoroso	Aceptable	Buena	Mala	Media	Muy buena	Media
1.482	F1 (Cc x Cs)	Comprobada	Moderado	Aceptable	Aceptable	Muy buena	-	-	Media
1.483	F1 (Cc x Cs)	Comprobada	Moderado	Aceptable	Aceptable	Media	-	-	Media
2.671	F2 (Cc x Cs)	Comprobada	Vigoroso	Variable	Muy buena	Media	Mala	Muy buena	Buena
7.521	F1 (Ck x Cs)	Comprobada	Vigoroso	Muy buena	Aceptable	Muy buena	Buena	Buena	Buena
7.810	F1 (Cc x Cs)	Indicios positivos	Vigoroso	Muy buena	Aceptable	Buena	Buena	Muy buena	Media
90.025	F1 (Cc x Cs)	Indicios positivos	Vigoroso	Muy buena	Aceptable	Mala	Buena	Buena	Media

La investigación del CIFL continúa estudiando, de aquellos clones resistentes a la tinta, cuáles puedan inducir a las variedades injertadas características como: fructificación precoz, resistencia a la sequía, al frío o al encharcamiento. La selección incluye también una nueva generación de híbridos obtenidos por retrocruzamiento de F1 o F2 con variedades de *C. sativa* de Galicia, algunas de brotación muy tardía, para adaptarlas a condiciones de clima más frío.

Sin embargo, no se están valorando clones que antiguamente se consideraron buenos portainjertos y de los que se conocía su buena compatibilidad a largo plazo. Este último aspecto es importante, por cuanto, el fenómeno de rechazo tardío (a los 5 – 7 años) es muy frecuente en el injerto con híbridos (Breisch y Hennion 2004). Con relación a las variedades del INRA, Breisch y Hennion (2004), concluye que Marsol y Maraval son los híbridos más recomendables, destacando el primero por su mayor vigor y el segundo por su mayor compatibilidad.

Otro aspecto importante y, raras veces valorado, en el injertado es la diferencia de productividad de los árboles en función del portainjertos empleado. De este modo, tomando a Marsol como un 100 % de productividad, al injertar variedades como Bouche Rouge o Marigoule sobre el híbrido Maraval, estos árboles solo producen un 40 % (respecto a Marsol), mientras que al injertarlos con Comballe o Bouche de Bétizac la productividad es idéntica en ambos (Breisch 1992).

4. *Castaños micorrizados*. Especial mención, en cuanto a, su triple productividad y rentabilidad, la constituyen los castaños micorrizados con variedades de hongos micorrícicos comestibles (*Boletus edulis*, *Boletus pinnophillus*, *Boletus erythropus*, *Lanmaoa fragrans*, *Russula cyanoxantha* y *Russula virescens*). La micorrización demostró ser una técnica para producir una planta de gran calidad; puesto que, mejoraba notablemente el vigor del árbol, garantizando así una producción mayor de madera y castaña (ya que, el mayor vigor del árbol incide en una mayor productividad de fruto) y una producción más homogénea en cuanto a setas silvestres (especialmente en especies del género *Boletus*).

5. *La variedad perfecta*. Este apartado quiere recoger y recalcar lo expuesto con anterioridad: no existe ninguna variedad de castaño perfecta, entendiendo como tal, aquella que reúna todas las características que podríamos necesitar para que el fruto fuese ideal (tabla VII.10). Estas variedades perfectas dependerían de la aplicación que se le quiera dar al fruto, puesto que hay dos destinos fundamentales:

   - *Uso en fresco*.
   - *Uso industrial*.

   Dentro de ellas se debería de tener una variedad más temprana (de producción desde el 15 de septiembre al 15 de octubre) y otra más tardía (desde finales de octubre a finales de noviembre).

En la variedad perfecta para la industria, las características serían similares a las de fresco, salvando que su calibre tendría que ser menor, generalmente mediano (sobre 80 - 100 frutos/kg). Este tamaño es el más apropiado para las máquinas de pelado que existen actualmente y para la mayoría de formatos de envasado y conserva (castaña pelada congelada, conserva de castaña en agua o almíbar, etc.). De todos modos, sería recomendable tener una variedad de calibre grande que también se adapte bien a la conserva como el “marron glacé”, donde se necesitan tamaños mayores, como referencia de variedad para esta transformación se podría nombrar

alguno de los marroni de Italia, como el "marroni di Viterbo". En principio, parece evidente que estas variedades perfectas solo podrán ser creadas por la hibridación y con la investigación mediante cruzamientos entre las mejores variedades existentes en la actualidad.

Tabla VII.10. Características de la variedad perfecta F1, destinada a su comercialización en fresco a principio de temporada, relacionando cada cualidad con una variedad de referencia (Sinde 2015). *Judía-A se refiere a un clon de judía portuguesa procedente de Espinhosela.

VARIEDAD PERFECTA Fresco temprana		VARIEDADES/CLONES DE REFERENCIA
Características de la castaña		
Calibre (frutos/kg)	Muy grande (40 - 60)	Bouche de Bétizac, Judía-A*
Pelado	Muy bueno	Longal portuguesa, Parede, Negral, Ventura
Conservación	Muy buena	Longal gallega y portuguesa
Época de producción	Del 15 de septiembre al 15 de octubre	Bouche de Bétizac
Color del fruto	Castaño rojizo, estriado intenso	Judia-A*
Tabicación	< 2 %	Famosa, Longal
Sabor	Muy bueno	Amarelante, Parede, Famosa, Marigoule
Floración masculina	Temprana a media	Negral
Floración femenina	Temprana	Bouche de Bétizac
Características del árbol		
Productividad al 10º año	Muy Elevada (30 kg)	Bouche de Bétizac
Precocidad de producción	2 - 3 años	Bouche de Bétizac
Resistencia a la tinta	Muy resistente	111, 7.521, 1.482
Resistencia al chancro	Muy resistente	Bouche de Bétizac
Resistencia a la avispilla	Inmune	Bouche de Bétizac
Resistencia a la anoxia radical	Muy resistente	2.671
Resistencia a heladas	Muy resistente	Negral, Famosa, 7.521, 2.671, 3
Resistencia a la sequía	Muy resistente	Negral, 7.521, 7.810
Resistencia a la septoriasis	Muy resistente	Mayoría de híbridos
Capacidad polinizadora	Longiestaminada	Negral
Propagación por acodo	Muy buena	HS, 125, 90.044, Marigoule, Marsol,...
Propagación por estaquillado	Muy buena	...
Vigor	Muy alto	7.521, 2.671, 90.025, 125
Compatibilidad en injertado	Muy buena	Maraval, Marsol

4.2.2. Marcos de plantación

La pregunta habitual en el castaño, como en cualquier especie frutícola, es: ¿cuál es el marco de plantación ideal? La respuesta es la misma que con las variedades: no existe un marco de plantación ideal, la idoneidad del marco será en función de la inversión que quiera realizar el castañicultor en planta, su disponibilidad de mano de obra para el mantenimiento de la misma (con

tiempo y mano de obra familiar ociosa disponible es más razonable realizar marcos de plantación más reducidos), la productividad temprana de las variedades escogidas (fundamental en marcos de plantación reducidos), la posibilidad de mecanización de los trabajos de mantenimiento de la parcela y de la recogida de la castaña, etc. y así un sin fin de factores que influirán en la toma de decisiones. Un aspecto fundamental para valorar en los diferentes marcos de plantación es el coste de la planta, que en la mayor parte de los casos constituirá la mayor inversión de la obra para instalar un nuevo souto. Dentro de este coste y su retorno económico, es fundamental valorar la variedad escogida, puesto que si el castaño productor principal es de producción muy precoz (caso de los híbridos directos como el clon 90.044, Bouche de Bétizac, etc.) y produce un fruto de calidad en cantidad considerable por árbol (por ejemplo, producciones en torno a 20 kg árbol^{-1} en híbridos de 8 años de edad); asumiendo que se dispone de capital propio y mano de obra local, aún en los marcos más reducidos, la inversión resulta muy rentable.

Para hablar de los marcos de plantación que resultan razonables para el castaño se distinguirán básicamente tres tipos:

- *Marco amplio* (de 10 x 10 m hasta 12 x 14 m). A pesar de ser los empleados tradicionalmente tiene una única ventaja, la de ahorrar mucho en cuanto al coste de planta y las tareas de ahoyado. Por otro lado, presenta claros inconvenientes de productividad entre los que se resaltan:

  1. *Escasa rentabilización* del uso del terreno durante los primeros 25 años, debido a una productividad comparativa muy baja frente a otros marcos más estrechos y a *elevados gastos para el mantenimiento* de la parcela, especialmente desbroce, debido a la gran distancia entre árboles que potencia el crecimiento de la vegetación competidora.

  2. *Elevada evapotranspiración*, que redunda en un escaso crecimiento del castaño durante los primeros años, debido al exceso de insolación recibido en el suelo, hasta que los árboles no alcanzan una dimensión de copa mínima.

  3. *Riesgo de mortalidad* mayor, al incluir tan pocos árboles por hectárea y por su insolación.

  Estos modelos (especialmente el 10 x 10 m) se han extendido en algunas zonas, copiando el modelo tradicional de souto, que fue creado en una época en la que era habitual aprovechar el terreno entre castaños para la producción de cereales o el pastoreo. Hoy en día, partiendo de la necesidad urgente de castaña a corto plazo para abastecer el mercado y del elevado precio del fruto, se considera un modelo poco recomendable.

- *Marco estrecho* (de 4 x 4 m hasta 5 x 5 m, de 12 hasta 25 m^2 por árbol). Las plantaciones a marco más reducido requieren una inversión en planta inicial elevadísima de la que la mayor parte tendrá que ser talada. Han demostrado una productividad elevada durante los primeros 10 - 15 años (figura VII.14), siempre y cuando se empleen variedades de castaños híbridos directos o variedades injertadas de producción muy precoz. Bounous (2002) reporta una productividad de 5 746 kg anuales, al séptimo año, en 1 ha plantada a marco de 950

plantas injertadas por hectárea. Sin embargo, posteriormente, sufren una caída drástica que no se llega a corregir porque los propietarios desconocen las técnicas de entresaca o poda precisas para mantener el nivel de fructificación.

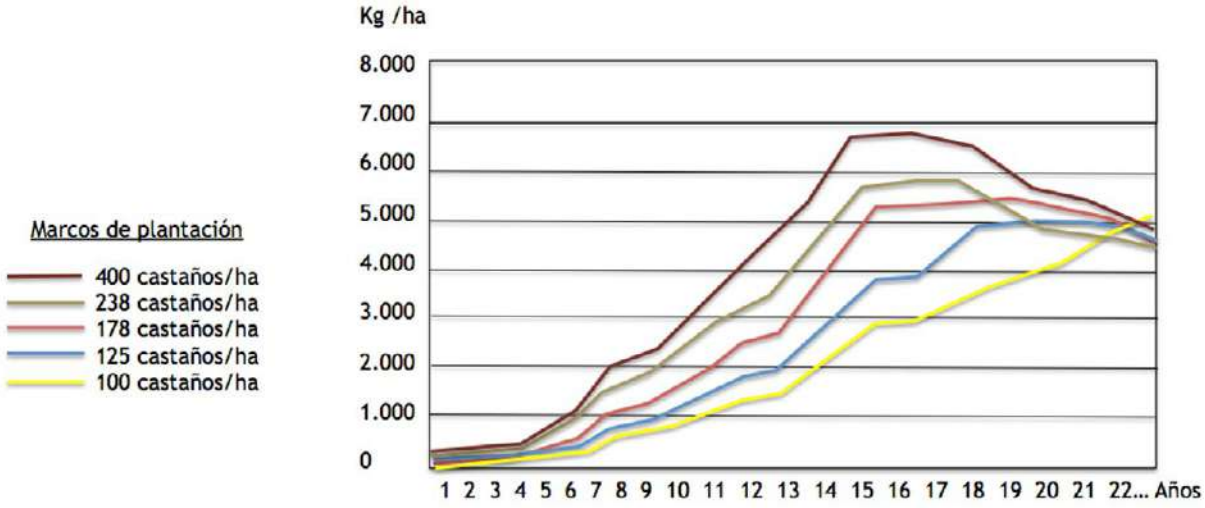


Figura VII.14. Evolución, en condiciones óptimas, de la producción anual de castaña en soutos de castaños híbridos injertados con Bouche de Bétizac (90 % Bouche, 5 % Marsol, 5 % Negral) sin labores de entresaca (Fuente: Bounous 2002).

Este tipo de marco no resulta razonable para plantaciones con variedades tradicionales de fruto que sean tardías en cuanto al comienzo de la edad de fructificación. Solo se debería usar en variedades de producción precoz, como los híbridos y en alguna variedad tradicional de *C. sativa* de producción muy precoz (como Negral). Con variedades tardías (Longal, Famosa, Bouche Rouge, etc.) se correría el riesgo de que cuándo la variedad entre en producción los árboles pueden tener las copas demasiado juntas.

- *Marcos intermedios* (desde 6 x 5 hasta 9 x 9 m). El Método Hifas. Sin duda alguna, los marcos intermedios son una buena opción para el castaño de fruto, especialmente en el empleo de híbridos directos o variedades tradicionales que comienzan a producir a una edad temprana. En un marco de plantación de 6 x 4, un joven castaño tiene un espacio ideal para fructificar, con 24 m^2 de terreno exclusivos para cada árbol, al mismo tiempo que consigue una condición de media sombra que facilitará su crecimiento y vigor.

Dentro de las plantaciones de marco intermedio se debe comentar el seguimiento de las producciones en castañares adultos (mayores a 10 años) micorrizados (figura VII.15), encontrando una relación directa de la productividad micológica con el marco de plantación (Fernández de Ana-Magán et al. 1998). Además de, con el crecimiento de madera y producción de castaña pasando de 80 a 200 y de 1 000 a 4 000 kg ha^{-1} anuales respectivamente si se comparan las productividades anuales medias en parcelas de 10 años con un marco de plantación de 4 x 6 frente a uno de 10 x 10 (tabla VII.11).

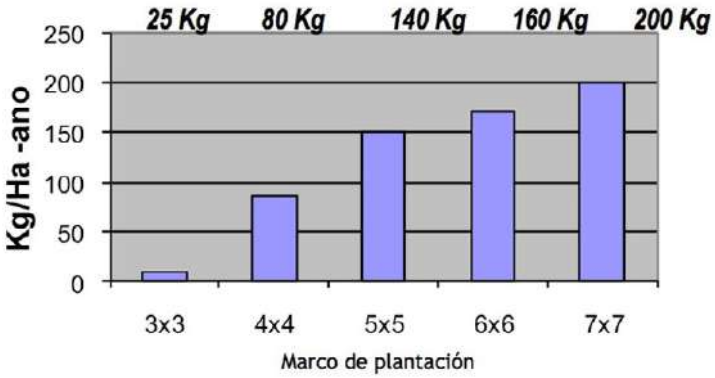


Figura VII.15. Producción de *Boletus edulis* en parcelas de castaños híbridos micorrizados de 15 – 20 años según diferentes marcos de plantación (Fuente: Fernández de Ana-Magán et al. 1998).

Tabla VII.11. Comparación de diferentes productividades (castañas, setas y madera) de un souto, con 10 años de edad, de híbridos micorrizados, aplicando una producción media de 10 kg de castañas anuales por árbol y asumiendo una bajada de la producción de *Boletus* a la tercera parte, por el menor número de árboles y la mayor insolación (Fuente: Sinde 2015).

	kg/ha ANUALES		PRECIO/kg	VALOR PRODUCCIÓN	
Marco	4 x 6	10 x 10		4 x 6	10 x 10
Castañas (10 kg por castaño)	4 000	1 000	1,2 €	4 800 €	1 200 €
Setas silvestres (*Boletus* spp)	200	80	10 €	2 000 €	800 €
Madera	5 000	1 250	0,50 €	2 500 €	625 €
TOTAL ingresos anuales				9 300 €	2 625 €

Con esta sencilla comparativa entre dos modelos de producción se pretende reflejar la pérdida importantísima de ingresos que se da durante los primeros 15 - 25 años de plantación (según el crecimiento del castaño dependiendo de la zona climatológica, las condiciones edáficas y los cuidados aplicados) debida al empleo de marcos amplios "definitivos" desde el momento de plantación, en lugar de comenzar con marcos más estrechos para pasar a marcos más amplios paulatinamente.

En la figura VII.16 se describe una propuesta de marco de plantación intermedio, técnicas de entresaca, podas y mantenimiento de un souto de castaño con híbridos directos o variedades de producción a edad precoz (clon 90.044, Bouche de Bétizac, Negral, etc.) a lo largo del tiempo. Sus objetivos son fundamentalmente:

- *Obtener la máxima productividad* por hectárea en cada momento del ciclo del souto.
- *Generar el menor coste* en podas y tareas de mantenimiento, podando cada castaño en función del destino final que se haya definido para cada ejemplar.
- *Combinar las técnicas* de fruticultura pura con las técnicas de micoselvicultura enfocadas a la producción de madera y a la potenciación de la producción micológica.

- *Conseguir en todo momento un equilibrio entre las condiciones de media sombra y la aireación de copa*. Este equilibrio es imprescindible para mantener un escaso nivel de transpiración, un buen estado sanitario de la planta, una garantía de fructificación y micetación, así como una buena producción de madera.

- *Minimizar la entrada del chancro* en la parcela. Intentando evitar al máximo las labores de desmoche o las podas dramáticas, mediante podas de formación paulatinas sobre ramas finas, menores a 7 cm de diámetro.

- *Conseguir crear soutos centenarios* con árboles monumentales superproductores de castaña y *B. edulis*, pero manteniendo siempre una "reserva de árboles suplentes" para el momento en que alguno de estos castaños monumentales muriese o se considerase imprescindible cambiar la variedad escogida en un inicio como productora principal.

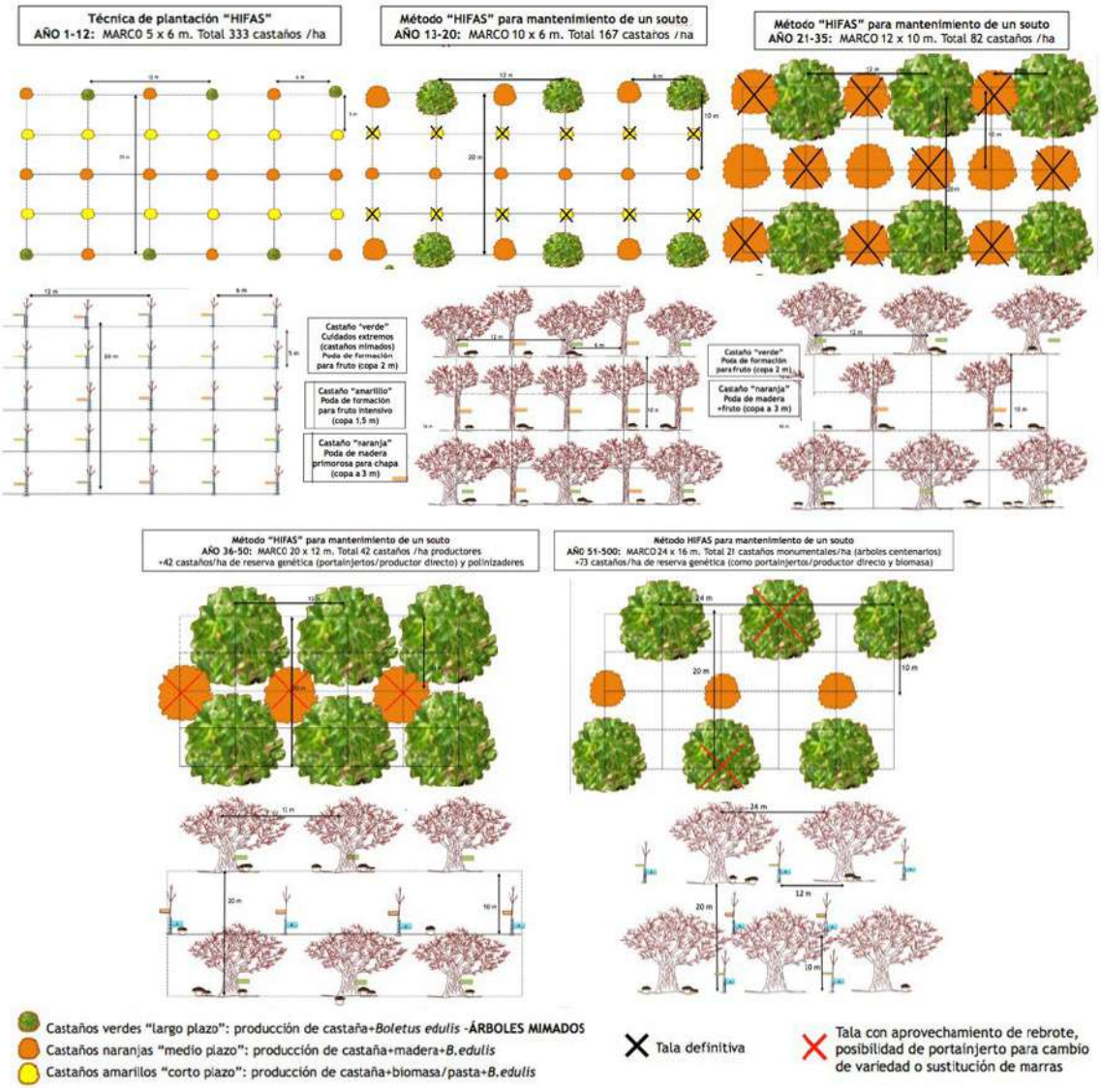


Figura VII.16. Propuesta de marco de plantación intermedio, técnicas de entresaca, podas y mantenimiento de un souto de castaño con híbridos directos o variedades de producción a edad precoz a lo largo del tiempo (Fuente: Sinde 2015).

Este método que se propone no está basado en un marco de plantación cerrado. Se podría empezar con un marco de 5 x 6, 6 x 6, 7 x 6, 6 x 8, etc. Lo que se sugiere con esta transición es que el marco de plantación del castaño no debería nunca ser el mismo en el momento en que la planta tiene 10 años que cuando esta tiene 30 u 80. Este concepto de evolución de marco, así como de los diferentes tipos de poda a aplicar según la vocación de los árboles plantados es la base de esta propuesta de castañicultura.

4.2.3. Cuidados iniciales en la plantación de castaños

La preparación del terreno y el ahoyado son dos aspectos fundamentales en cuanto a la conservación de los nutrientes y a evitar el encharcamiento de la planta (que provoca anoxia radical y elevados índices de mortalidad). Las plantaciones en terreno de monte tienen mucho mejor resultado que las que se realizan sobre antiguos prados. Esto es debido al mejor estado del terreno, ya que, un suelo sano es flojo, desmenuzable y bien aireado. Estos suelos contienen bastante materia orgánica (mayor al 10 %) y su capa superior de 15 cm tiene como mínimo 2 toneladas de seres vivos por ha. La gran variedad de macroorganismos (lombrices, hormigas, tijeretas, etc.) y microorganismos (bacterias, algas y hongos) que poseen, son los responsables del reciclaje continuo de la materia orgánica, siendo su labor la que mantiene la fertilidad del suelo de modo natural. Estas características suelen estar destruidas o muy alteradas en los suelos de uso agrícola, especialmente por el empleo abusivo de maquinaria y fitosanitarios. De este modo se deducen una serie de recomendaciones:

- *Devolver continuamente materia orgánica a la tierra* para mantener la fertilidad del suelo es esencial, preferiblemente en superficie.

- *Aplicar solo fertilizantes cuyo nitrógeno sea en forma de amonio*. Además, se aplicarán de modo que las plantas lo vayan consumiendo poco a poco (para evitar que se formen nitratos) en el período que haya alta demanda (mediados de primavera a principios de verano). Esta aportación será mejor en muchas aplicaciones pequeñas, para que las plantas lo absorban paulatinamente.

- *Aportar carbono* (material vegetal maduro, como paja) para que los microorganismos lo liguen a su organismo y fomenten una descarga lenta de nitrógeno.

Respecto al ahoyado, siempre será más recomendable realizar hoyos anchos con retroexcavadora, ahondando en el terreo hasta 1 m de profundidad y luego reponiendo la tierra suelta extraída hasta los 30 cm de la superficie, puesto que el castaño siempre debe plantarse lo más superficialmente posible. Es recomendable incluir un abonado de lenta liberación al fondo del hoyo. Así mismo, es fundamental en el castaño tirar de la planta hacia arriba en el momento de la plantación, porque los problemas provocados por anoxia radical son una de las principales mortalidades en las plantaciones, debidos en gran parte a técnicas incorrectas de plantación demasiado profunda de la planta dentro del hoyo (figura VII.17).

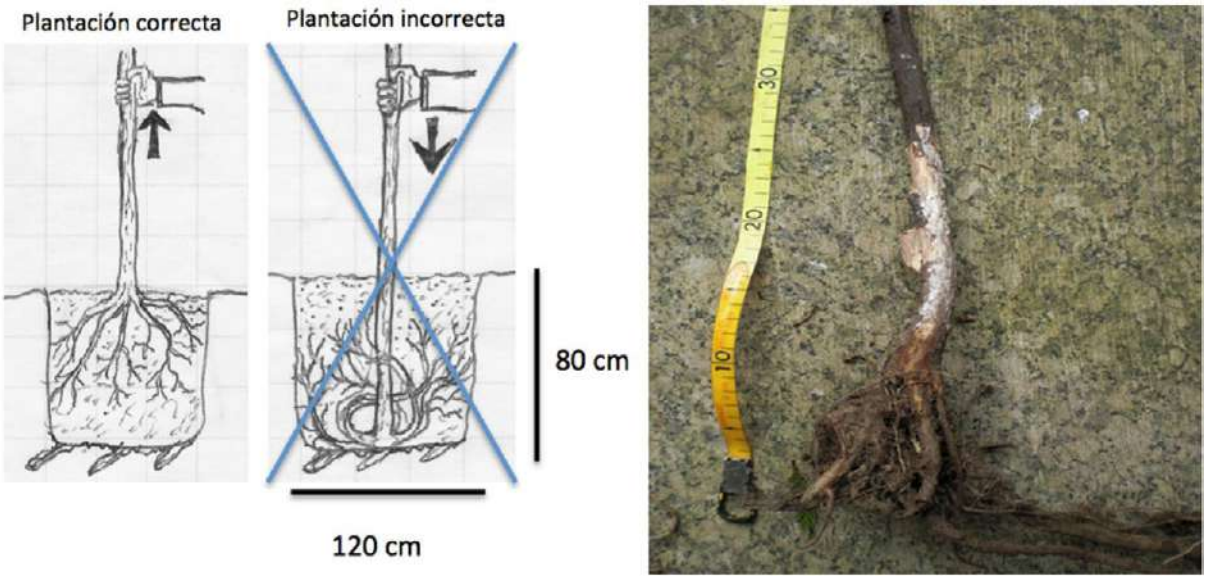


Figura VII.17. Anoxia y recurvamiento / asfixia radical debido a un método de plantación incorrecto. Izquierda: ejemplo de plantación correcta. Derecha: raíces de un castaño híbrido plantado a 50 cm de profundidad que murió debido a un problema de anoxia radical (Fuente: Sinde 2015).

Después de plantado el árbol se considera muy recomendable emplear mallas antihierba para evitar la competencia herbácea y de este modo impedir que la maquinaria de desbroce se acerque al pie del árbol. El empleo de un protector solar para proteger al castaño de la insolación y de ataques de fauna es, en la mayoría de los casos, imprescindible. Otro aspecto fundamental, después de la plantación, es el empleo de un primer riego de asentamiento, a no ser que se espere una lluvia importante (al menos 20 L m^{-2}) en el día o en los 3 días siguientes a realizar la plantación.

4.2.4. Mantenimiento de las nuevas plantaciones de castaños

Existe una serie de labores fundamentales de castañicultura para las plantaciones de castaños. Algunas de ellas podrían reducirse a los primeros cinco años, pero la mayoría deberían mantenerse a lo largo de la vida de un souto para garantizar su productividad (tabla VII.12). Fundamentalmente son:

- *El riego*.
- *El abonado* (liberación lenta).
- *El control de la vegetación competidora* (mallas o mulching).
- *La poda* de formación.
- *El control de las patologías*.
- *La defensa* contra el sol, la fauna y las condiciones climáticas adversas.

Tabla VII.12. Calendario de trabajos de preparación del terreno y de aplicación de enmiendas orgánicas (Fuente: Breisch et al. 1995).

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Previo	Elección de la parcela Contacto con técnicos			Análisis suelo Reserva de planta								
Plantación	Plantar		Riego				Descompactación suelo		Abonado mineral orgánico	Enmienda cálcica Operaciones superficiales	Ahoyado Tutores	Plantar
Poda	De invierno		Púas	Injertar		De formación						De invierno
Enmiendas				Orgánica							Cálcica	
Abonado			1º aporte de N, P y K	A finales 2º aporte de N					Orgánico			
Riego				Mantenimiento de los aspersores		En funcionamiento						
Cosecha										Cosecha, lavado, clasificación	Mantenimiento de equipos	

Tabla VII.13. Recomendación general y coste del abonado anual para un suelo de souto (Fuente: Breisch et al. 1995).

Abonado	K (FÓSFORO)	P (POTASIO)	Ca (CALCIO)	Mg (MAGNESIO)
Aporte en unidades/ha anuales	35	192	200	28
Tipo de producto y dosis/ha anual	9-5-0 a razón de 1 000 kg/ha	Patenkali (30 kg, 10 MgO) a razón de 300 kg/ha	Optical (53CaO) a razón de 400 kg/ha	
Coste del abonado/ha anual	278 €/ha	124 €	38 €	Aportado por potasa

Sin los cuidados mencionados es imposible alcanzar la productividad óptima de un souto, tanto en castaña como en setas, pudiendo llegar a duplicar o incluso triplicarse la producción si se aplican correctamente. A nivel de riegos y abonados existen diversas recomendaciones en estudios y libros de castañicultura de las cuáles se ha escogido una recomendación general (tabla

VII.13), que obviamente debe perfeccionarse según se desprenda de las analíticas de tierra que deberían realizarse en cada souto para conocer su estado.

El castaño, en menor medida que los cultivos agrícolas; pero también, conduce al empobrecimiento de los suelos. Esta degradación se debe compensar y durante la primavera y otoño se dan dos momentos ideales para mejorar la estructura del suelo y enriquecerlo proporcionando estiércol y una enmienda órgano-mineral. No se debe realizar esta enmienda con heladas o fuertes lluvias, pues con el suelo muy húmedo cualquier movimiento de tierra contribuye a su compactación y a graves problemas de anoxia radical. Para realizar las enmiendas debemos "alimentar" el suelo aportándole regularmente materia orgánica, mediante hojas, paja, estiércol, etc. que la microfauna y hongos saprófitos transformarán en humus. Al igual que una esponja, el humus fija minerales absorbibles por las plantas y luego los entrega en función de sus necesidades. Sin humus, la materia orgánica se lava de modo muy importante durante la temporada de lluvias, es por ello que su aportación a principio de otoño (septiembre) evitará este proceso. Además de, enriquecer el suelo las enmiendas orgánicas también mejoran la textura en superficie, que es donde los sedimentos más finos como arenas, arcillas y otras partículas minerales se aglomeran, contribuyendo a la mala oxigenación de las raíces del castaño. Por ello, las enmiendas mejoran las cualidades físicas y químicas de la tierra. Además del, aporte de estiércol y paja, convendría realizar una enmienda calcárea con piedra caliza molida a finales de invierno, usando bentonitas o magnesitas ricas en K respetando siempre los criterios de agricultura ecológica. La fertilización ideal es aquella que se realiza de modo orgánico y mineral con materiales próximos a los soutos. Además, se debe de tener en cuenta que la materia orgánica del suelo debe ser siempre superior al 2 %. Para realizar estos aportes en agricultura ecológica se deberían emplear como máximo, en consonancia al reglamento comunitario nº 889/2008, los nitratos a razón de 170 kg de N ha-1.

Para las plantaciones jóvenes, los aportes de abono orgánico (enmiendas orgánicas) son fundamentales y a este respecto se han descrito recomendaciones de aporte de nitrógeno anual entre los 50 - 250 g por árbol a medida que éstos vayan creciendo, pasando luego a 60 kg ha^{-1}, lo cual se puede conseguir mediante gallinaza u otros tipos de estiércol procedentes de ganadería ecológica. Según Breisch et al. (1995) este abono se debe emplear en mayo y a 1 - 3 m del árbol, a medida que este crece. En cuanto a la aplicación de riegos se apuntan dos períodos críticos para el riego del castaño, en los que el aporte hídrico es básico:

- *El crecimiento vegetativo de primavera y la formación del erizo*. Desde mediados de mayo hasta mediados de julio. Durante estos meses la deficiencia de agua se traducirá en una pérdida de crecimiento del árbol y en una pérdida de calibre en el fruto, que ya no podrá ser compensada en el resto de la campaña.

- *La maduración y consolidación del erizo*. Desde mediados de julio hasta fin de septiembre, el riego es menos importante, aunque mediante pequeños aportes se consigue mantener un mayor vigor en el árbol, que le facilita sobreponerse a problemas patológicos y en menor medida un mantenimiento en el calibre del fruto. En función del tipo de suelo y de

la estación (sobe todo de lo lluvioso del final de primavera y principio de verano), los requerimientos de riego varían entre 1 500 m^3 ha^{-1} anuales hasta los 5 000 m^3 ha^{-1} anuales en años muy secos.

Los gastos de un sistema de riego con fertirrigación para 5 ha de plantación de castaños ascenderían a 32 491 €, lo que supone una inversión en torno a 6 000 € ha^{-1}.

Respecto al control de la vegetación competidora, la práctica general en los soutos, es realizar uno o dos desbroces anuales, normalmente en la época estival uno o dos meses antes de la recolección (en el mes de julio - agosto). Sin embargo, Breisch et al. (1995) apuntan a que lo ideal es tener superficies empradizadas (para lo cual, hay que preparar el terreno previamente) y pasar una segadora 4 - 5 veces por temporada, estimando una media de duración de los trabajos en torno a 6 h ha^{-1} de segado y 3 h ha^{-1} de desbroce manual alrededor de los pies. Una opción más recomendable, por ser más económica y positiva para el castaño, es la instalación de mallas antihierba alrededor de cada árbol (en torno a 2 m^2 por árbol supone una inversión de 1,5 € por pie y ahorra muchos golpes y mantenimiento a largo plazo). El empradizado del souto es ideal para la recolección de la castaña y las setas, por cuanto permite aprovechar la mayor parte de la producción.

Respecto a la poda de formación o injertado cabe destacar la perdida de conocimiento en las nuevas generaciones. La poda de formación de los castaños es fundamental y en consecuencia debe realizarse desde los primeros años de un modo constante y paulatino para conseguir que el fuste del árbol y su productividad sean los adecuados a la finalidad que se persigue, bien sea puramente frutícola o bien una combinación de fruto y madera. La poda de los árboles de fruto debe comenzar desde el primer o segundo año para provocar la apertura de la copa, potenciando así la entrada de luz, necesaria para una mayor fructificación. Teniendo en cuenta el paso de maquinaria, lo ideal es comenzar realizando esta apertura de la copa desde los 2 m de altura, creando de modo ideal una copa con tres ramas dominantes separadas por ángulos de 90° entre ellas, a modo de trípode (figura VII.18). Esta poda de formación debería realizarse anualmente, de modo que se evita tener que usar motosierra, pudiendo realizarse con tijeras (de una y dos manos) y serrucho manual, lo cual garantiza cortes mucho más pequeños y limpios, con una mejor cicatrización de las heridas, como medida preventiva fundamental contra el chancro. Además, siempre se aplicará pasta cicatrizante fungicida, debiendo desinfectarse la herramienta entre un castaño y otro.

La época más apropiada para la realización de las podas de formación siempre será a savia movida. Se puede realizar una poda anual en abril - mayo con una posterior revisión de rebrotes a finales de junio o bien, para evitar esta revisión, realizar una sola poda durante el mes de junio (por ser al final del ciclo de emisión de brotes del castaño). Estas recomendaciones de trabajo serían las básicas para mantener los soutos en un estado productivo razonable.

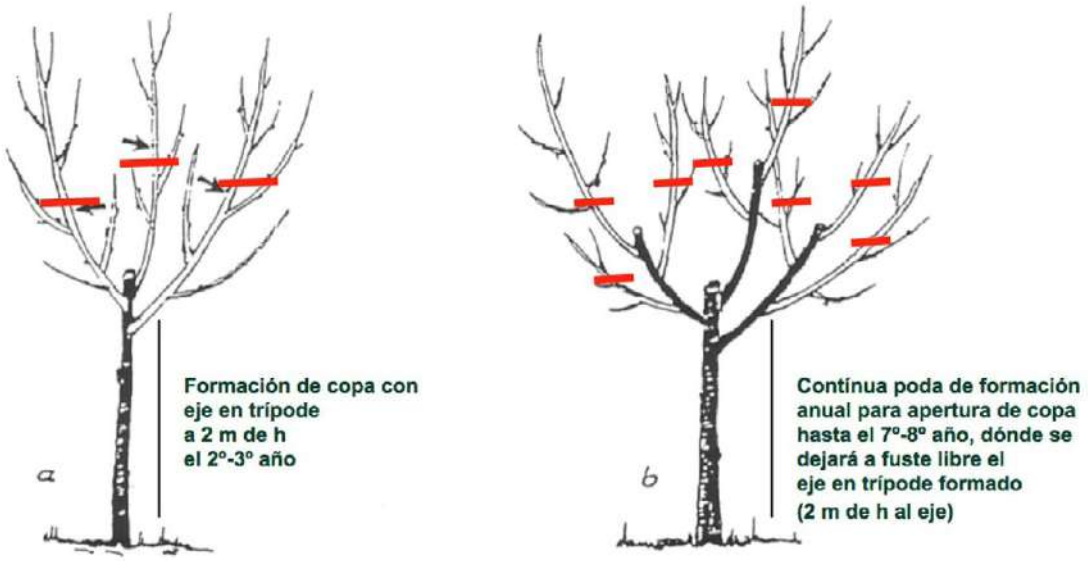


Figura VII.18. Formación de un castaño de fruto desde el 2º - 3º año de la plantación para la creación de una copa abierta a 2 m que luego se dejará a fuste libre el resto del ciclo de producción. Los meses más apropiados para realizar esta poda de formación serán desde mayo a junio (Fuente: Hifas Foresta).

4.3. Mejoras en la recogida y comercialización de castaña

Otro aspecto fundamental en el aprovechamiento de los castaños es el esfuerzo realizado en la recogida del fruto. Al margen de la productividad y los ingresos derivados de la castaña, la diferencia de coste en la recolección es fundamental. La posibilidad de mecanizar los trabajos de recolección dependerá en primer lugar del tratamiento previo realizado al terreno; puesto que, en terrenos empradizados de poca pendiente la mecanización es muy sencilla y una máquina recolectora de cepillos puede llegar a recolectar del orden de 500 kg por hora. Para esta misma cantidad se necesitarían 10 personas un día completo en zonas con pendiente y con calibre de fruto reducido (Breisch 2008).

Se exponen diferentes sistemas de recolección:

- *Recolección manual*. Es la más extendida y practicada. La mayoría de las veces ni siquiera se emplean rastrillos o sopladoras de hoja y erizo (figura VII.19) que facilitarían mucho el rendimiento medio. Una persona puede recolectar desde 50 kg (calibres pequeños y escasa productividad) hasta 300 kg diarios (grandes calibres y alta productividad) estimándose una recolección media de 100 kg diarios por cada recolector. En Galicia los recolectores suelen recoger las castañas de sus propios soutos o de otros que les son cedidos por vecinos, familiares, etc. En otras zonas, como Cáceres, es frecuente el trabajo en cuadrillas que cobran al destajo (por kg recogido) o bien con un fijo por jornal.

Figura VII.19. Recogida de castañas en Rimor (León) sin ningún tipo de herramienta de apoyo (Fuente: Sinde 2015).

- *Recolección con mochila aspiradora*. Se ha observado a algunos castañicultores utilizar estas mochilas que poseen la posibilidad de soplar primero la hoja y erizos para agruparlos y posteriormente aspirar la castaña invirtiendo la corriente de aire. Tienen un elevado peso (sobre todo cargadas con hasta 30 kg de castaña), pero evitan el tener que agacharse y pueden duplicar el rendimiento recolector diario normal hasta 300 kg día^{-1}.

- *Recolección mediante sistemas de aspiración mecanizados*. Las características de estas máquinas propulsadas por tractor (figura VII.20) las hacen muy versátiles para cualquier tipo de terreno (incluso en fuertes pendientes), por lo cual, se considera que su adquisición o su alquiler durante la campaña y uso por personas propietarias de tractores debería ser una prioridad para la recolección.

Figura VII.20. Recogida de castaña mediante máquina aspiradora traccionada por tractor con un tubo aspirador de 20 m de longitud y separadora de erizos (Fuente: Sinde 2015).

- *Recolección mediante máquinas aspiradoras autopropulsadas*. Su rendimiento es muy elevado, pero necesitan una buena preparación previa del terreno mediante su empradizado y pendientes suaves. Se ha observado su funcionamiento en zonas europeas como Ardèche, donde el rendimiento de recogida en plantaciones grandes de híbridos directos puede llegar

a 2 000 – 6 000 kg diarios por un solo agricultor, que se apoya de máquinas que separan posteriormente el erizo del fruto, dejando palots con el fruto totalmente limpio para su recogida directa (figura VII.21).

Figura VII.21. Recogida de la castaña con máquina cepilladora – aspiradora en Bergerac. Derecha: souto perfectamente empradizado y preparado para la recogida. Centro: vaciado de la tolva en la máquina separadora de erizos y clasificadora. Izquierda: clasificación de la castaña, que cae prácticamente limpia en los palots de recogida que serán transportados por el tractor (Fuente: Sinde 2015).

- *Recolección mediante redes de recogida*. Sistema con gran éxito, que permite la recolección del fruto de un modo muy limpio, impidiendo prácticamente el contacto del mismo con el suelo, con las consiguientes ventajas de conservación y de control de plagas en el mismo. Para su empleo el terreno también debe estar limpio para evitar la rotura de redes contra palos, piedras, etc. A veces se emplean tractores con vareadoras propulsadas para provocar la caída de la mayor parte del fruto previa a la recolección de las redes. Su empleo ha sido observado en la Estación de Lançade del Inra en Bergerac (figura VII.22).

Figura VII.22. Recolección mediante redes de recogida en una plantación experimental en Bergerac. Izquierda: redes extendidas en el suelo. Centro: vareo mediante tractor vibrador antes de la recogida. Derecha: exhibición del sistema de recogida de la red (Fuente: Sinde 2015).

Resulta fundamental exponer la aplicación de estos métodos en parcelas demostrativas en las principales zonas productoras para poder evolucionar de una recogida con bajo rendimiento y mucho esfuerzo a otra con gran rendimiento y menor esfuerzo. Respecto a la comercialización de la castaña, principalmente la compra de fruto se realiza de dos formas:

- *A través de intermediarios* (sobre todo en Galicia). Que recorren con furgonetas o camiones las aldeas provocando una fluctuación de precios normalmente dirigida desde el oligopolio

de las industrias transformadoras. Este sistema de venta tan desorganizado hace que la incertidumbre del recolector en la venta deje campo libre a los intermediarios, provocando desfases anuales realmente graves. Esto genera descontento en muchos castañicultores, que es muchas veces la principal causa del abandono de los soutos.

- *A través de un sistema de ventas por mercados centrales o subastas* (por ejemplo, la Agrupación de Cooperativas del Valle del Jerte). Con puntos de venta en origen, lonjas o cualquier tipo de lugar de acopio, almacenaje y control inicial (pesado, clasificación, etc.) de la producción promovidos por agrupaciones o cooperativas de castañicultores y apoyados por la administración, que organizarían la comercialización de manera justa. Estos puntos deben estar próximos a los montes más productivos y, por cuestiones de ahorro, lo mejor sería ubicarlos en locales preexistentes. Las plazas de abastos o locales comerciales, donde se puedan compatibilizar ambas actividades (fruterías, supermercados), son los lugares más indicados para no tener que construir infraestructuras especiales, cuya viabilidad futura es dudosa. Además, cuentan con personal que ofrece asesoramiento técnico (plantación, estado fitosanitario, podas) y administrativo (tramitación de ayudas) a las personas socias y comparten gastos como la compra de insumos conjuntos con precios muy ventajosos o el riego (compartiendo sistemas de riego comunes, grandes balsas de agua, red primaria de derivación del agua a las parcelas).

  Los beneficios de la ordenación comercial del sector son:

  1. *Garantizar un punto de venta* a todos los recolectores.

  2. *Aprovechamiento más eficiente del recurso* al aumentar la información disponible.

  3. *Dotar de cierta seguridad y volumen a los aprovisionamientos*, especialmente importante para dar estabilidad a empresas comercializadoras y transformadoras.

  4. *Disminuir la variabilidad en los precios del producto*, al eliminar parte de la cadena de distribución basada en intermediarios que actúan en condiciones fraudulentas, lo que redundaría en un aumento de la transparencia en la cadena comercial.

  5. *Incremento en la calidad* añadiendo valor añadido al producto.

  6. *Organizar el control sanitario* garantizando la seguridad alimentaria en base al concepto de trazabilidad y la gestión del análisis de peligros y puntos de control crítico (APPCC).

  7. *Aflorar gran parte de la economía sumergida* en términos laborales y fiscales; lo que repercute de forma positiva en el conjunto de la sociedad.

5. Bibliografía

Anagnostakis SL (1987) Chestnut blight: the classical problem of an introduced pathogen. Mycologia 79: 23-37. https://doi.org/10.1080/00275514.1987.12025367

Baidyaroy D, Bertrand H (2001). Biological control of the chestnut blight pathogen using mitochondrial agents. Recent research developments in genetics 93-104

Bounous G (2002) Il castagno. Coltura, ambiente ed utilizzazioni in Italia e nel mondo. Il sole 24 ore / Edagricole, Bologna

Breisch H (1992) Chataignier. Des porte-greffe resistants a la maldie de léncre. Infos Ctifl 87:39-42

Breisch H (2008). The chestnut industry in France. Acta Hortic. 784:31-36. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2008.784.2

Breisch H, Boutitie A, Reyne J, Salesses G, Vaysse P (1995) Châtaignes et marrons. Centre Technique des Fruits et Légumes Monografía 1:239

Breisch H, Hennion B (2004) Les porte-greffe du chataigniers. Vers plus de résistance. Infos Ctifl 198:35-38

Fernández-López J, Furones-Pérez MP (2011) Tamaños, formas e cores das principais variedades de castaña galega na súa vista frontal. Centro de Investigación Forestal de Lourizán. Xunta de Galicia.

Fernández-López J, Furones-Pérez MP, Fernández-Cruz J, Míguez-Soto B (2013) Variedades para os soutos novos. Centro de Investigación Forestal de Lourizán. Consellería do Medio Rural e do Mar. Xunta de Galicia, Santiago de Compostela. https://lourizan.xunta.gal/sites/w_forlou/files/variedades_para_os_soutos_novos.pdf. Acceso 15 febrero 2023

Fernández de Ana Magán FJ (2001) Un século da evolución da paisaxe forestal na provincia de Pontevedra: axentes patóxenos máis importantes que interviron nesta dinámica entre 1886 e 1986. Tesis Doctoral, Universidade de Santiago de Compostela.

Fernández de Ana Magán FJ, Verde MC, Rodríguez A (1998) O souto, un ecosistema en perigo. Servicio de Estudios e Publicacións; Consellería de Agricultura, Gandería e Política Agroalimentaria; Xunta de Galicia, Santiago de Compostela.

Fernández-Manso A, Martínez C, Nespral A (2010) Un futuro para el castaño. Estudios sobre el castaño en la comarca de El Bierzo. Asociación A Morteira, León https://drive.google.com/file/d/19lMjHczNFoXg_nooVhlhF5aW_60OlU_V/view. Acceso 17 febrero 2023.

Grente J y Berthelay-Sauret S (1978) Biological control of chestnut blight in France. Proc. Am. Chestnut Symp 4-5 30-34

Laranjo JG, Pires A, Pinto JA, Marques D, Martins A, Pereira M (2020) Perspectives pour la racolte et marché de L'Europe 2020. Impact de la crise sanitaire. RefCast. http://www.refcast.eu/wp-content/uploads/2021/10/Eurocastanea-Portugal-Out.-2020.pdf. Acceso 3 febrero 2023

Reyna S (2008) Truficultura. Fundamentos y técnicas. Ediciones Mundi – Prensa, España.

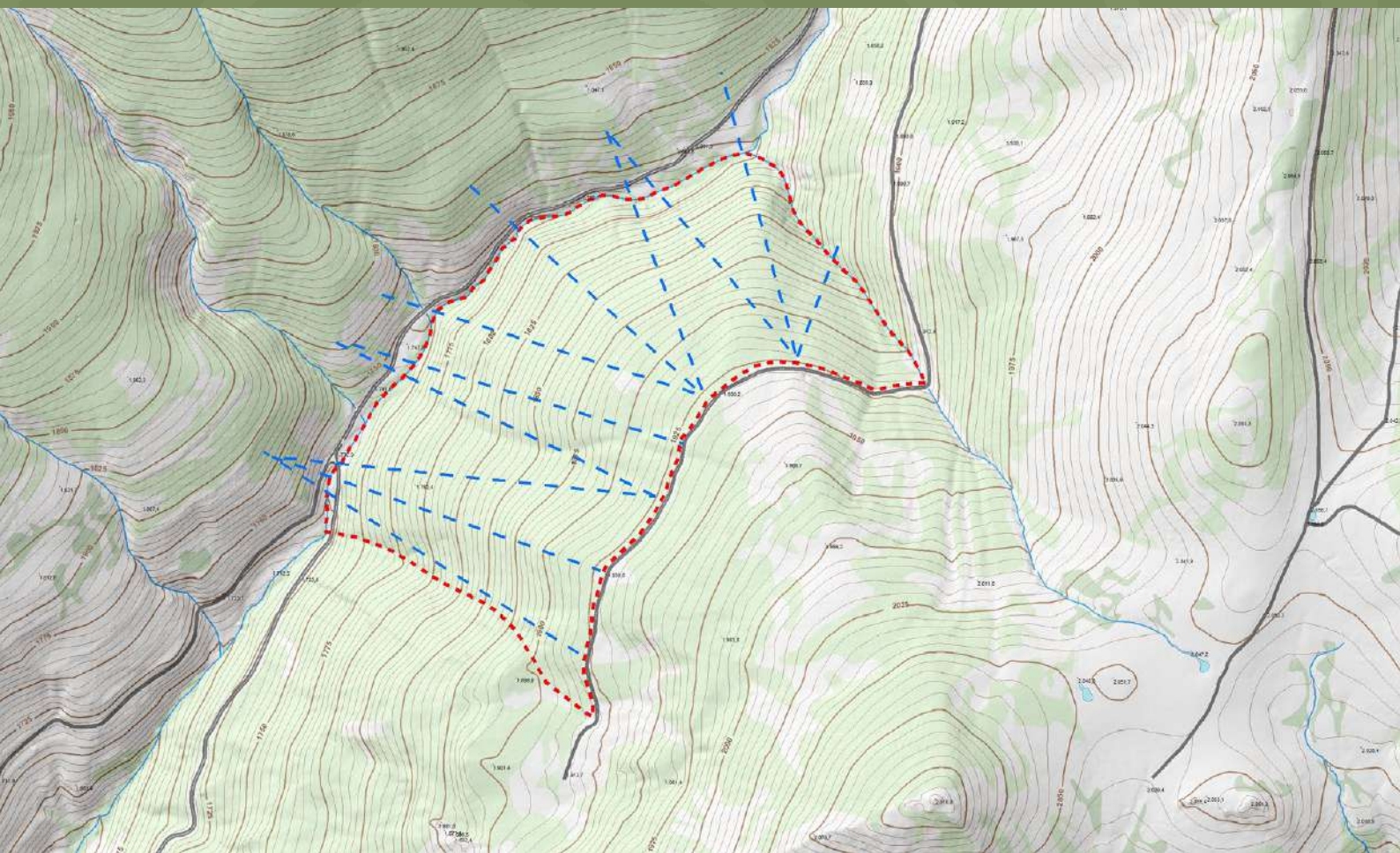
Sinde E (2015) Análisis estratégico de la producción de castañas, hongos y setas silvestres en Galicia. Tesis Doctoral, Universidade de Santiago de Compostela

Vrot F, Grente J (1985) Le chancre de l´écorce du châtaignier. Phytoma-Défense des cultures 35-37

Zinker JC (1998) In search of good form: gestalt therapy with couples and families. Gestalt Press, New York. https://doi.org/10.4324/9780203766859

Parte III

Casos prácticos



Caso práctico 1. Trazado y optimización de vías forestales

Iyán Teijido Murias, Carlos A. López Sánchez

1. Introducción

Para realizar una adecuada gestión de los aprovechamientos forestales resulta importante disponer de una información detallada sobre las características de las vías de saca y el estado en el que se encuentran. En el caso de no existir una red viaria que permita el desembosque de la madera es indispensable realizar un análisis previo del territorio, que permita obtener un trazado eficiente para cumplir con sus objetivos sin incumplir la legislación vigente en esta materia.

En los últimos tiempos se han desarrollado múltiples herramientas basadas en sistemas de información geográfica (SIG) que permiten al usuario analizar grandes volúmenes de información espacial que facilitan la obtención de productos espacialmente continuos sobre los que apoyar la toma de decisiones en el replanteo del trazado de vías forestales.

Para la resolución del caso práctico que se presenta a continuación, se utilizará el software libre y de código abierto multiplataforma QGIS®.

2. Requisitos previos

2.1. Instalación del software

En un primer momento, se llevará a cabo la instalación de **QGIS®**. En su web oficial (https://qgis.org/es/site/) se puede obtener más información del proceso de descarga e instalación del software (figura 1).

Figura 1. Web oficial del software QGIS®.

2.2. Instalación de los complementos de software

Para la realización de este caso práctico no se requiere la instalación de complementos adicionales. No obstante, se debe comprobar que con QGIS® se han instalado las bibliotecas de **SAGA®**, **GRASS®** y **GDAL®**. Para ello, se accede a la ventana **Opciones** ubicada en el menú **Configuración** de la barra de herramientas principal de QGIS® (figura 2).

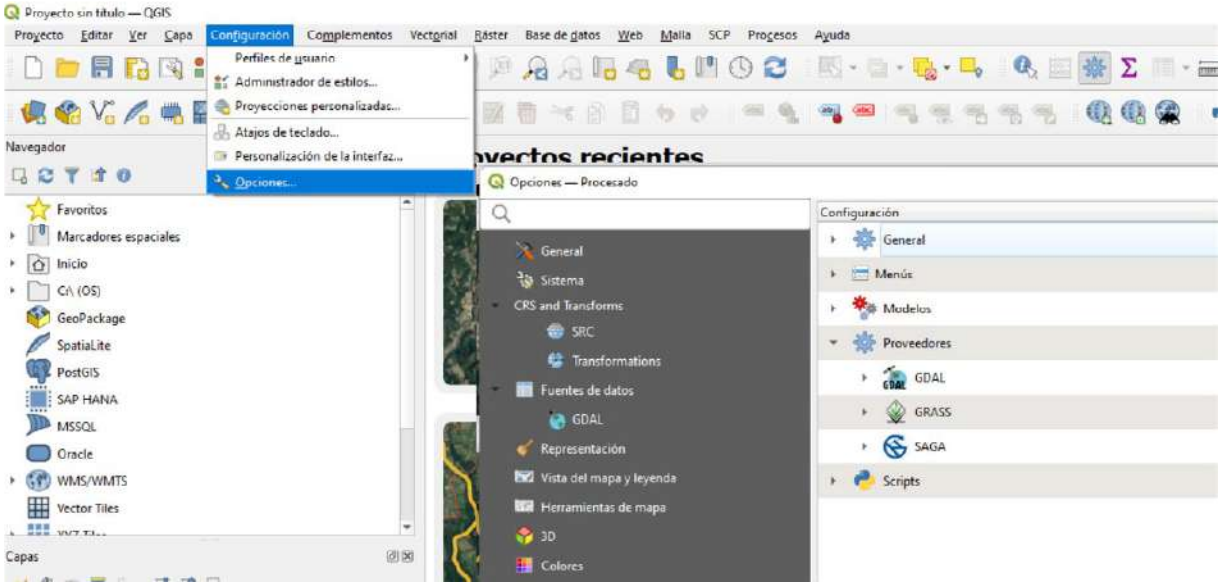


Figura 2. Consulta proveedores / bibliotecas.

2.3. Descarga y preparación previa de las capas espaciales

Existe una gran cantidad de información espacial disponible que está accesible a través de la web "Infraestructura de Datos Espaciales de España" (IDEE - https://www.idee.es/). Para el desarrollo del caso práctico se ha recopilado la siguiente información del área de estudio (tabla 1).

Tabla 1. Datos de partida y fuentes de los mismos.

Nombre de la capa	Modelo de datos / Tipo de geometrías	Fuente
Coberturas o usos del suelo	Vectorial (shp) / Polígono	https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover/clc2018
Red hidrográfica	Vectorial (shp) / Línea	https://ideas.asturias.es/
Red viaria	Vectorial (shp) / Línea	https://ideas.asturias.es/
Modelo Digital del Terreno (5m/px)	Ráster (tif)	http://centrodedescargas.cnig.es/
Puntos_1/Cargadero (punto de inicio de ruta)	Vectorial (shp) / Punto	Propia (digitalizada manualmente) Crear dirección repositorio digital UdL
Puntos_2/Monte (punto de destino de ruta)	Vectorial (shp) / Punto	Propia (digitalizada manualmente) Crear dirección repositorio digital UdL

Las capas espaciales proporcionadas[1] para el desarrollo del caso práctico se encuentran preprocesadas para ser utilizadas como datos de entrada en el modelo. No obstante, con la finalidad de poder replicar el siguiente flujo de procesos en otras zonas de España, y debido a que en función de la Comunidad Autónoma las capas disponibles pueden variar, se recomienda realizar un preprocesamiento previo de las mismas, tal y como se explica a continuación:

2.3.1. Cortar capas por el área de estudio

Definido un área de estudio (vectorial / polígonos) se utilizará la herramienta **Cortar** para archivos vectoriales o **Cortar ráster** por capa de máscara para ajustar la extensión espacial de las capas a la zona de interés (figura 3).

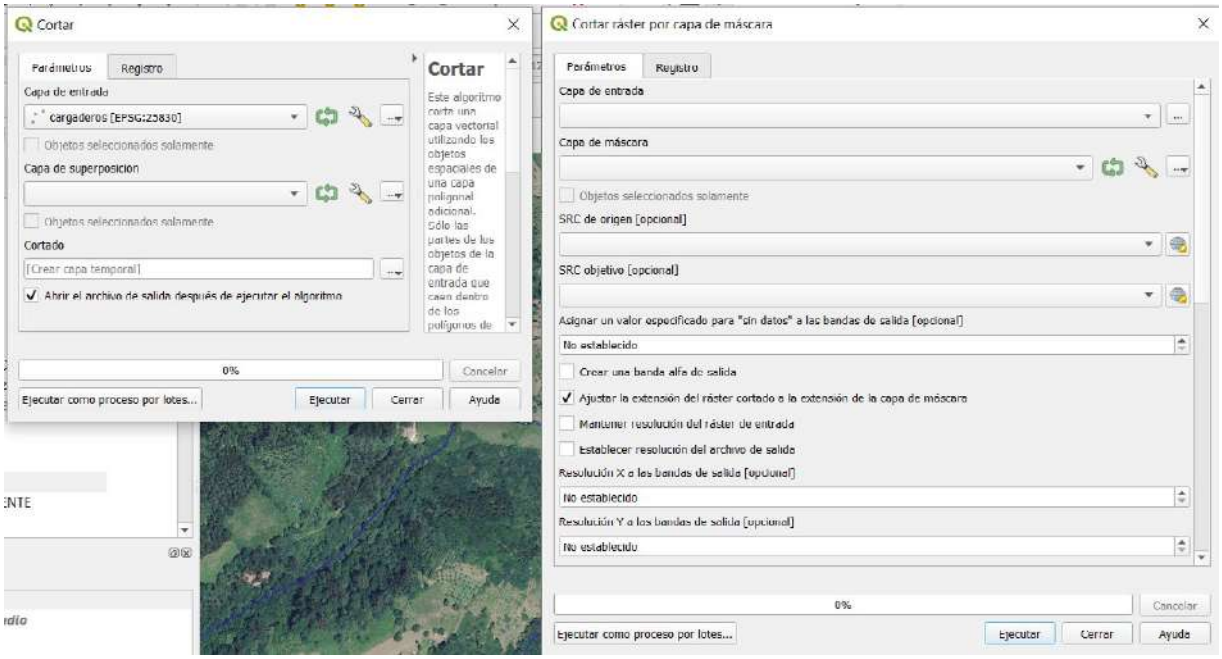


Figura 3. Cortar capas por área de estudio.

2.3.2. Reproyectar todas las capas al mismo Sistema de Referencia de Coordenadas (SRC)

Las herramientas de geoprocesos pueden devolver errores debido al incorrecto uso de los SRC. Por ello, una buena práctica para evitar estos errores es guardar los archivos reproyectados con el EPSG[2] grabado en el nombre de la capa. Existen varias formas de realizar esta transformación: (i) exportando la capa con un SRC diferente al de origen de la capa (figura 4); (ii) utilizando las herramientas propias de reproyección vectorial (figura 5) y ráster (figura 6).

1. https://www.mediafire.com/file/1d6gagy080kpiz8/CasoPractico_OptimizacionViasForestales.zip/file

2. https://epsg.io

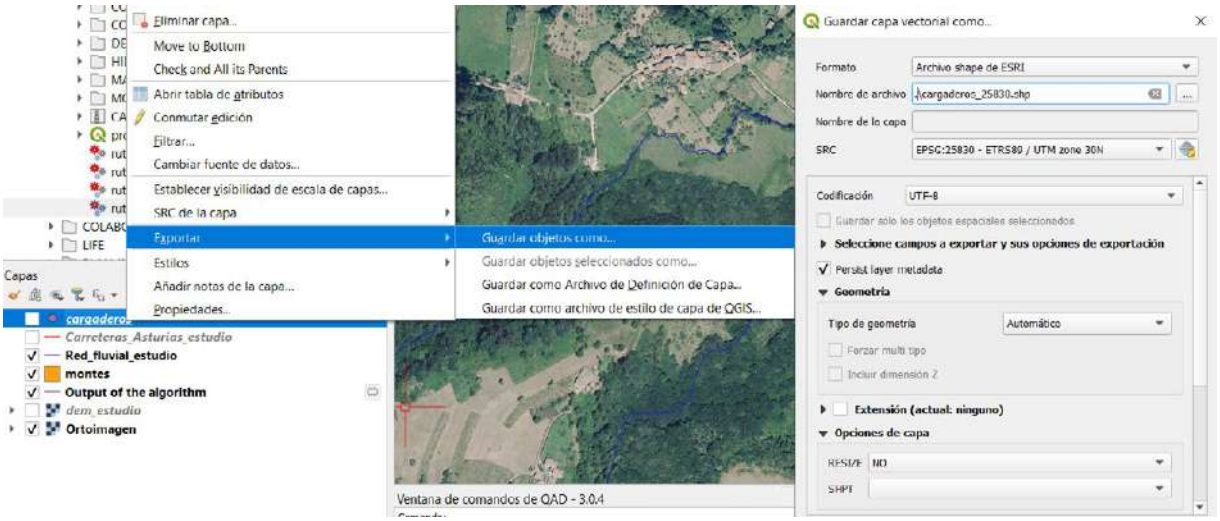


Figura 4. Exportar capa vectoria (I).

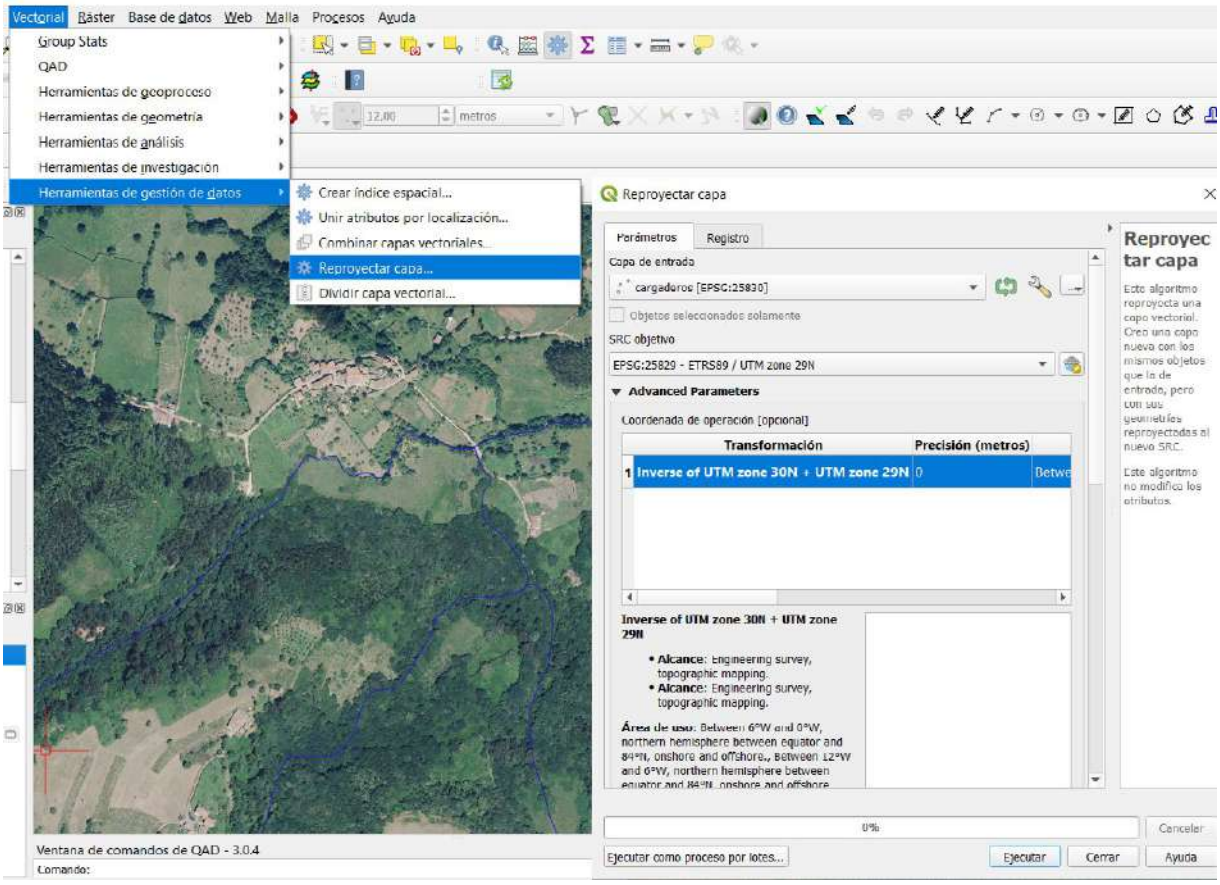


Figura 5. Reproyectar capa vectorial(II).

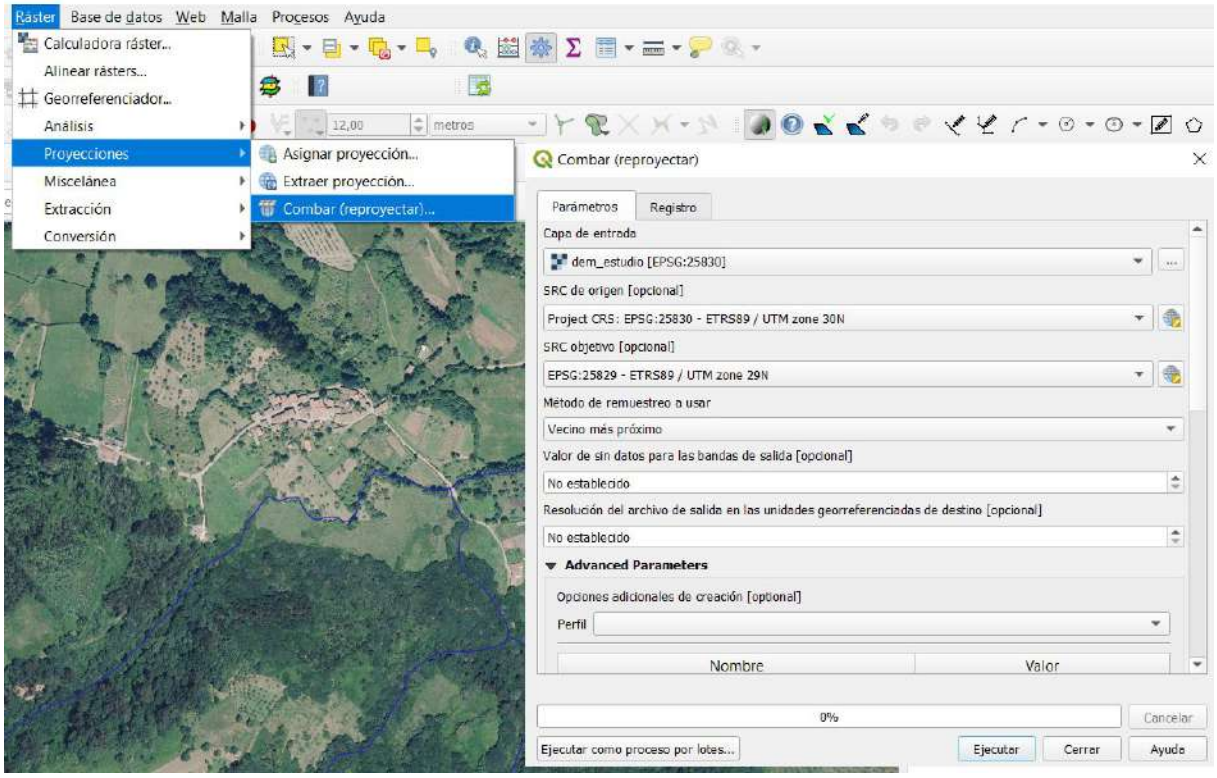


Figura 6. Reproyectar capa ráster.

2.3.3. Generar campos para rasterizar los archivos vectoriales

A menudo, las tablas de atributos de las capas vectoriales que se descargan están repletas de información que no tiene mayor interés para el análisis que se pretende desarrollar. En el caso de que la capa a utilizar no tenga un campo que pueda ser de utilidad a efectos de clasificación, (generalmente que sea un campo discreto de 0 a n), para el desarrollo de este caso práctico, se generará el campo “CLASE”, para las capas red viaria e hidrográfica a través de la calculadora de campos (figura 7).

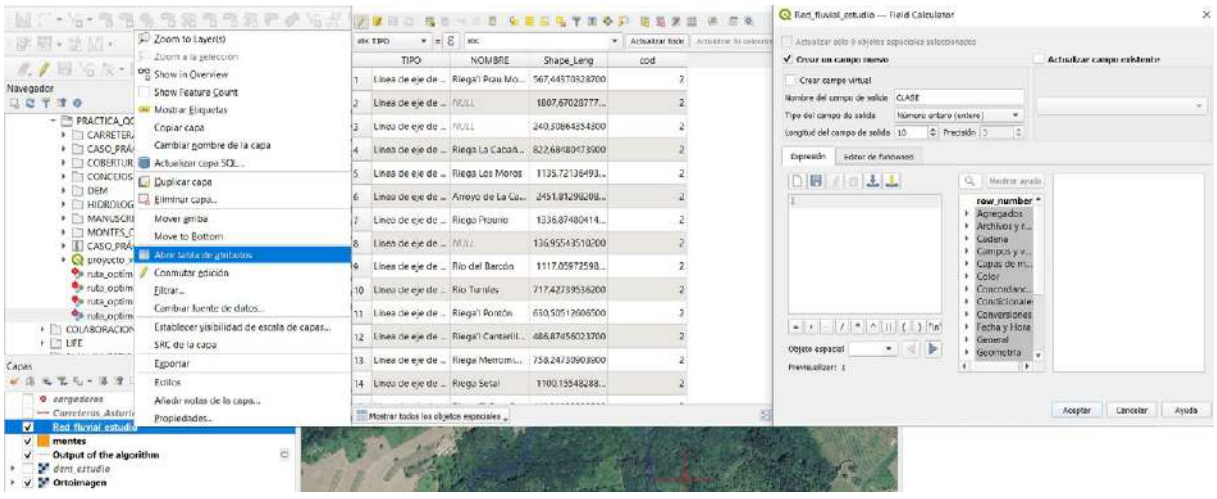


Figura 7. Crear campo nuevo CLASE en capa vectorial.

2.4. Model Designer

A continuación, se presenta la herramienta de modelado de procesos **Model Designer** de QGIS® que permite generar modelos espaciales complejos a partir de una interfaz gráfica simple y fácil de usar mediante la concatenación de diferentes procesos espaciales (geoprocesos) para generar un producto concreto. Se puede guardar como una herramienta propia de QGIS®, y posteriormente ejecutarla tantas veces como sea necesario. Además, es posible exportarla a archivos de lenguaje de programación Python.

Desde la barra de herramientas principal, en el menú **Procesos**, se abre la **Caja de herramientas**; también se puede disponibilizar mediante la siguiente combinación de teclas: **Control + Alt + T** (figura 8).

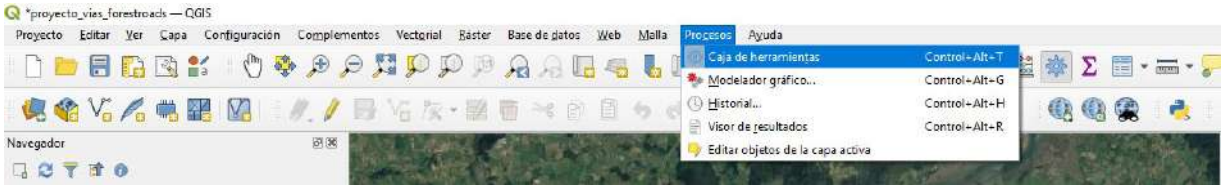


Figura 8. Caja de herramientas de geoprocesos QGIS®.

En la **Caja de herramientas de Procesos** se dispone de una serie de algoritmos que permiten su ejecución de manera individual (figura 9). Además de las herramientas propias de QGIS®, se incluyen otras herramientas pertenecientes a las librerías de geoprocesamiento como GRASS®, SAGA® y GDAL®. Todas estas herramientas estarán disponibles para ser utilizadas desde **Model Designer**.

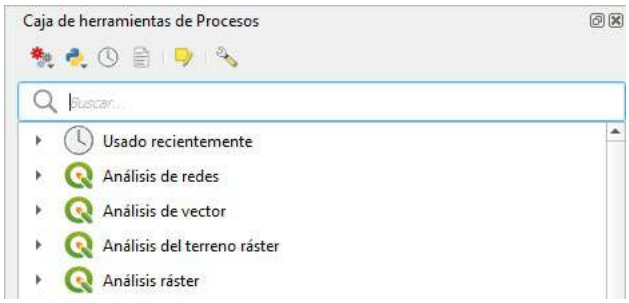


Figura 9. Caja de herramientas de Procesos.

En la parte superior de la **Caja de herramientas de Procesos**, se observa un primer desplegable con la opción **Crear modelo nuevo** (figura 10). Una forma más rápida de acceder a esta herramienta es a través del menú **Procesos>Modelador Gráfico** (figura 8) o bien mediante la combinación de teclas: **Control + Alt + G**.

Una vez ejecutado el Model Designer, se mostrará una pantalla que se estructura en las siguientes secciones: (i) área de trabajo en donde se construirá el modelo gráfico de procesado

(figura 11, nº 2); (ii) área que contiene los algoritmos de geoproceso (figura11, nº 1); (iii) variables de entrada (figura11, nº 5); (iv) entradas de datos (figura 11, nº 4); y (v) propiedades del modelo (figura 11, nº 3).

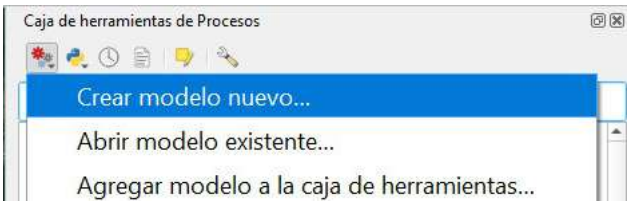


Figura 10. Ventana para acceder al Model Designer.

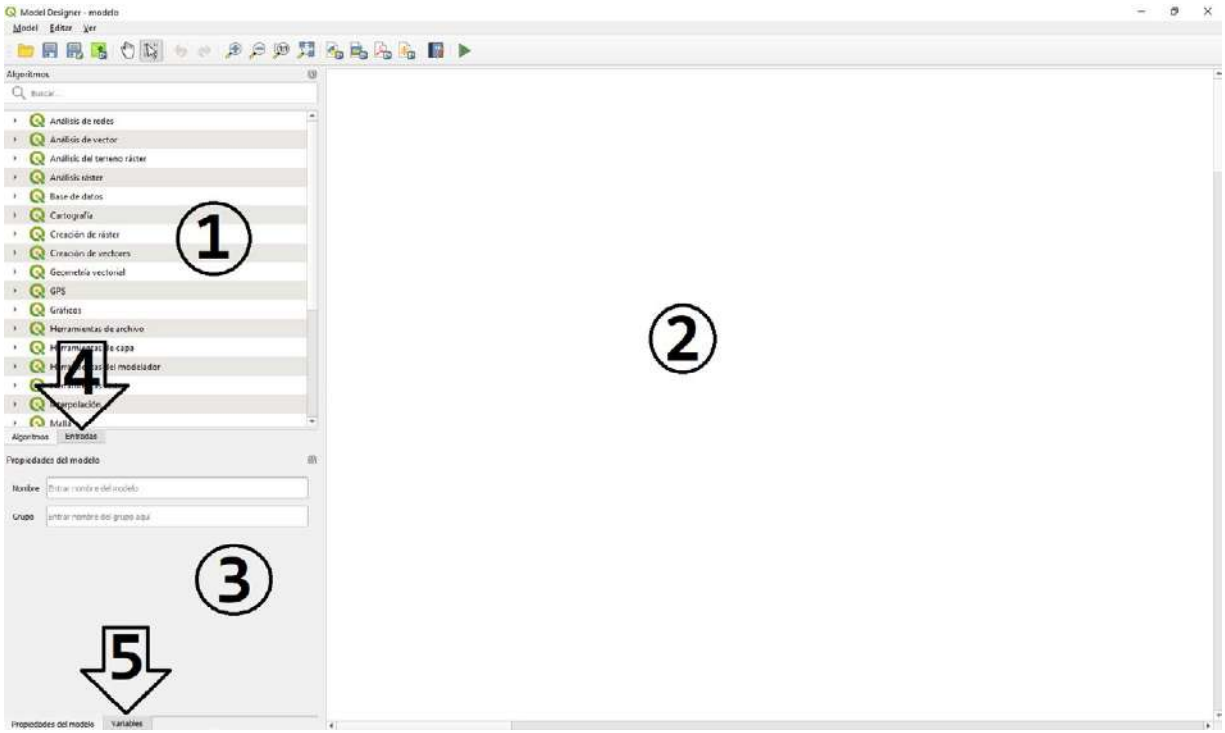


Figura 11. Model Designer.

Al iniciar la construcción de un modelo se le debe dar un nombre, existiendo la opción de guardarlo en un grupo. Un grupo es una carpeta que almacena una serie de modelos que presentan una temática en común. Guardar los modelos permitirá posteriormente acceder a ellos desde la Caja de herramientas y ejecutarlos en QGIS®.

En este caso práctico, se utilizó el Nombre: **ruta_optima** y el Grupo: **aprovechamientos_forestales**.

3. Procedimiento de análisis del modelo de optimización de vías forestales

Con el propósito de que el procedimiento de análisis que se muestra a continuación pueda ser replicado y también extrapolable a nuevos datos de entrada, se exponen pormenorizadamente los procesos utilizados para el desarrollo del caso práctico.

3.1. Diagrama de procesos

En la figura 12, se presenta el diagrama de procesos del modelo a desarrollar. En él, se muestran las variables de entrada, algoritmos de geoproceso, las relaciones establecidas entre ellos y las variables de salida.

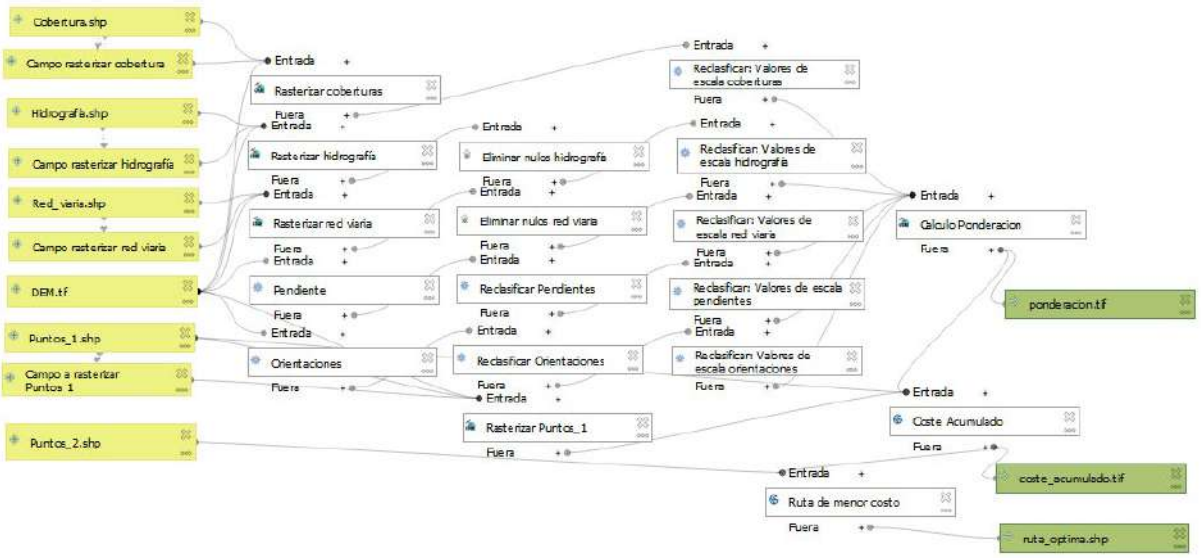


Figura 12. Diagrama de procesos desarrollado en Model Designer de QGIS®.

3.2. Variables de entrada

La construcción del modelo gráfico en Model Designer de QGIS® se inicia con la definición de las variables de entrada para los modelos de datos vectorial y ráster.

El caso práctico que se presenta a continuación, parte de las siguientes variables de entrada:

1. Capa vectorial (shp) de coberturas o usos del suelo (tipo de geometrías: polígono).

2. Capa vectorial (shp)de red hidrográfica (línea).

3. Capa vectorial (shp)de red viaria (línea).

4. Capa vectorial (shp)de punto de inicio de ruta (punto).

5. Capa vectorial (shp) de punto de destino de ruta (punto).

6. Archivo ráster (tif) correspondiente al Modelo Digital del Terreno (MDT).

En primer lugar, se accede a la pestaña **Entradas** de Model Designer (figura 11, nº 4) y, a continuación, se selecciona el tipo de entrada: **Capa Vectorial/Capa Ráster** en función del modelo de datos a utilizar (figura 13 y 14). Dentro de esta ventana, se puede asociar un nombre a la capa, definir el tipo de geometría e indicar si es obligatoria (el modelo no se podrá ejecutar sin ella) u opcional.

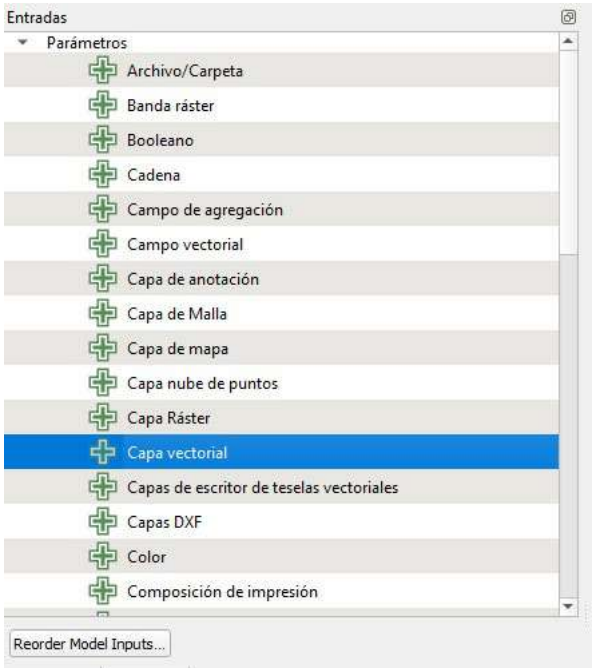


Figura 13. Tipos de entradas I.

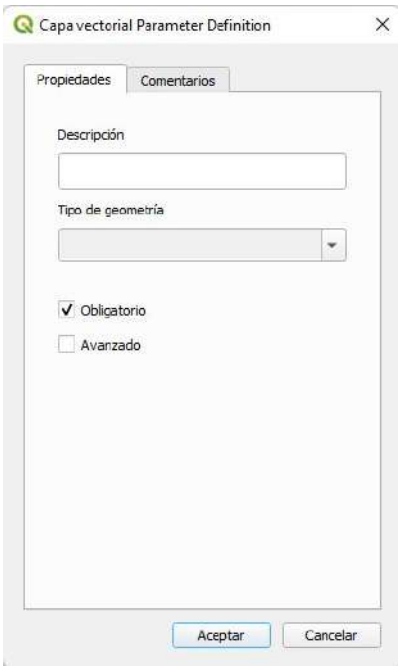


Figura 14. Definición de capa vectorial (I).

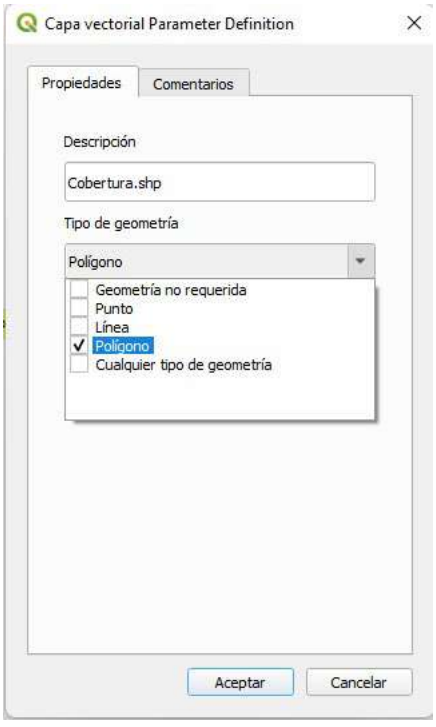


Figura 15. Definición de capa vectorial (II) (polígonos).

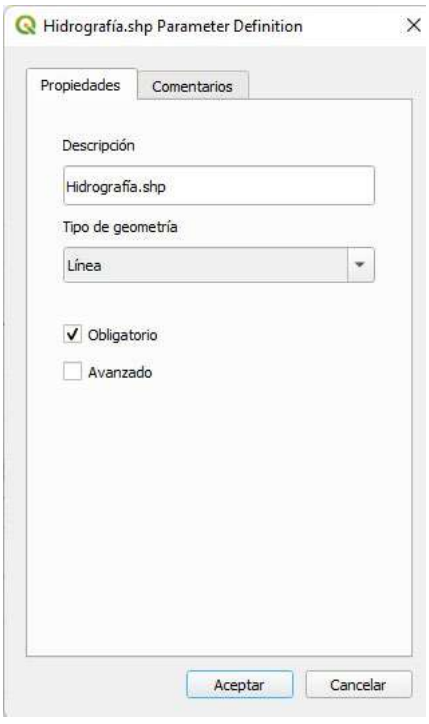


Figura 16. Definición de capa vectorial (III) (líneas).

En la figura 15, se presenta la configuración de la capa vectorial de coberturas o usos del suelo: el nombre y el tipo de geometría asociada (tipo polígono).

En el caso de la capa correspondiente a la red hidrográfica se seleccionará la geometría de tipo línea (figura 16). El resto de las capas vectoriales se definen de manera análoga a las anteriores.

Una variable de entrada interesante en el momento de crear el modelo es **Campo vectorial**. Esta variable permite seleccionar el atributo de la capa que debe utilizar el modelo. Como se verá más adelante, esta acción es de suma importancia en el momento de rasterizar las capas vectoriales, puesto que podemos tener capas de tipo vectorial con múltiples campos; definiendo el **Campo Vectorial** (figura 17) cada píxel contendrá la información del atributo seleccionado.

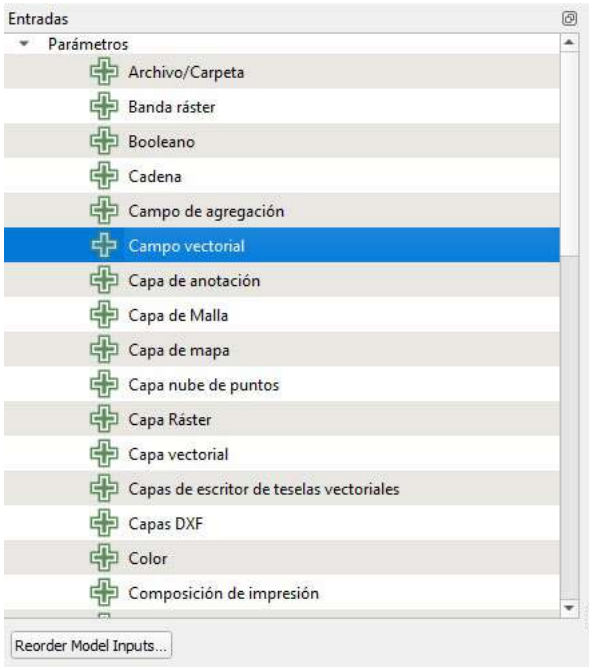


Figura 17. Tipos de entradas II.

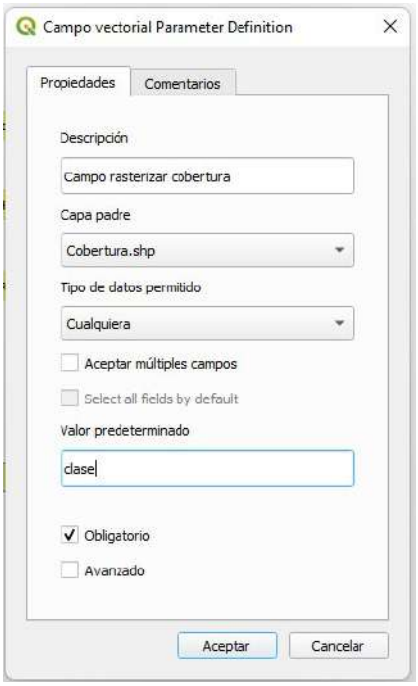


Figura 18. Definición de campo vectorial.

Cada **Campo Vectorial** se define seleccionando la capa a la que pertenecen, el tipo de datos admitido y el valor predeterminado. Para la capa de coberturas se presenta su definición en la figura 18.

En el caso de la variable de entrada de tipo ráster (figura 19) es más sencilla de definir; dado que únicamente se debe introducir un nombre/descripción y si es obligatoria o no (figura 20).

En la figura 21 se observa el conjunto de variables de entrada (**Inputs**) con sus correspondientes campos asociados, mientras que en la tabla 2, se muestra un resumen de las variables de entrada utilizadas en el modelo.

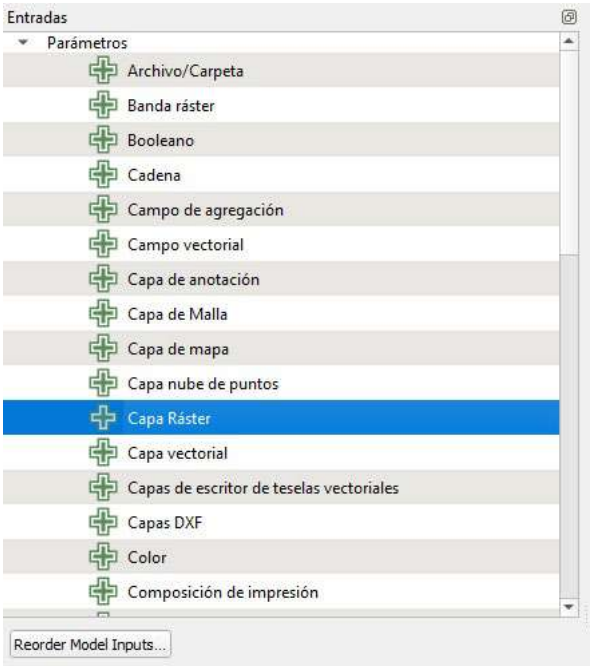


Figura 19. Tipos de entradas III.

Figura 20. Definición de capa ráster.

Figura 21. Conjunto de variables de entrada con sus campos asociados.

En el momento de ejecutar el modelo resulta más intuitivo si las capas y variables de entrada se disponen bien organizadas. Esta reorganización se realiza en la ventana **Reorder Model Inputs** (figura 22 y 23).

Tabla 2. Resumen de las Variables de entrada del modelo.

Nombre de la capa	Modelo de datos	Tipo de geometría	Campo asociado
Cobertura	Vectorial	Polígono	Clase
Red hidrográfica	Vectorial	Línea	cod
Red viaria	Vectorial	Línea	cod
MDT – DEM	Raster	-	-
Punto inicio de ruta	Vectorial	Punto	id
Punto destino de ruta	Vectorial	Punto	-

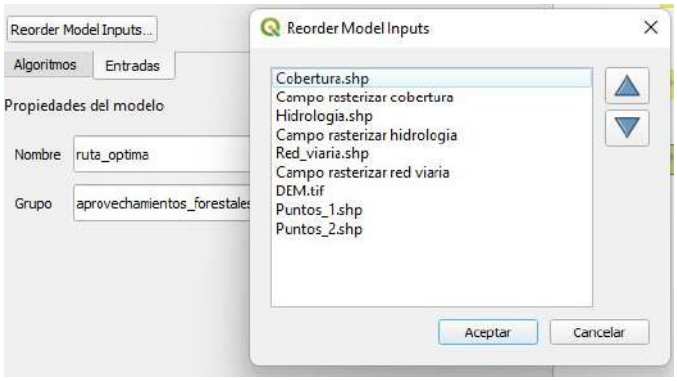


Figura 22. Reordenar variables de entrada (Model Inputs).

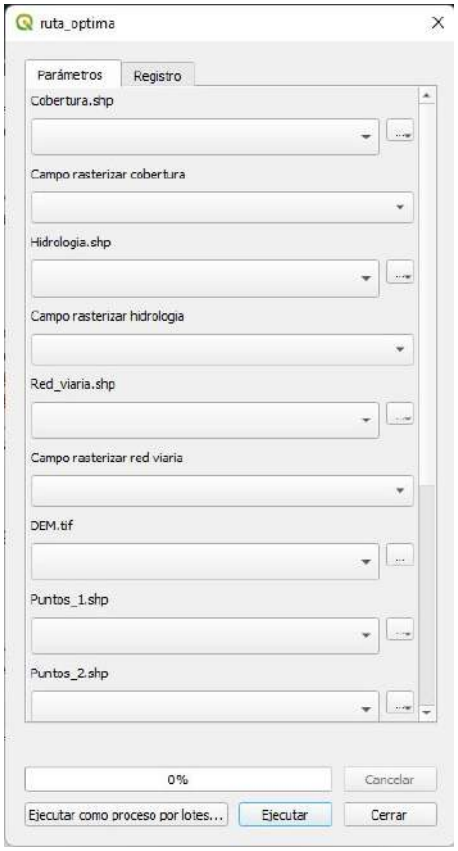


Figura 23. Variables de entrada ordenadas en la ventana de ejecución del algoritmo.

3.3. Algoritmos de geoproceso

La tabla 3 muestra los diferentes algoritmos de geoproceso a utilizar en el desarrollo del modelo y la biblioteca a la que pertenecen.

Tabla 3. Resumen de Algoritmos de geoproceso utilizados en el modelo.

Nombre	Biblioteca
Rasterizar	GDAL®
r.null	GRASS®
Pendiente	QGIS®
Aspecto	QGIS®
Reclasificar	QGIS®
Calculadora Ráster	QGIS®
Acumulated Cost	SAGA®
Least path cost	SAGA®

Una vez configuradas las variables de entrada en el modelo, a continuación se deben seleccionar los algoritmos de geoproceso a emplear ubicados en la pestaña **Algoritmos** (figura 24).

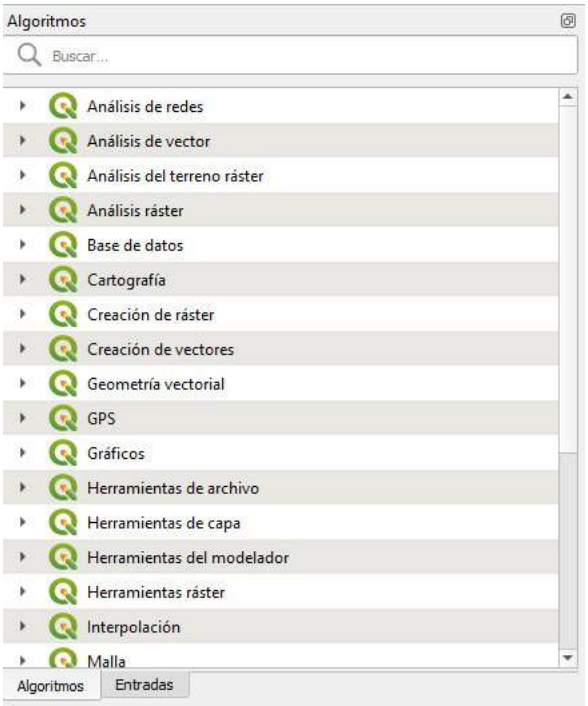


Figura 24. Algoritmos de geoproceso.

A continuación, se explican unos fundamentos básicos sobre los algoritmos de geoproceso y que, a su vez, sirven para todos los utilizados en la generación del modelo.

Existen cuatro tipos de formas de introducir las variables de entrada a un algoritmo de geoproceso: **Valor**, **Valor Precalculado**, **Entrada del modelo** y **Salida del algoritmo**. Cada algoritmo de geoproceso permite una **Descripción** editable del mismo. A efectos de poder identificar a qué algoritmo de geoproceso hace referencia, se recomienda asignar un nombre diferente al que utiliza por defecto. En las figuras presentadas correspondientes a cada algoritmo se propone el nombre que se utiliza para generar el modelo. Cada algoritmo de geoproceso tiene la posibilidad de guardar la capa que genere. En el caso de que la capa generada por el algoritmo de geoproceso pueda ser de interés, se le asignará un nombre; tal y como se observa en la figura 25. En el momento de la ejecución del modelo, se deberá introducir la ruta en donde se quiere guardar la capa de salida. En el caso de dejar el campo vacío, se almacenará de forma temporal en nuestro ordenador; únicamente para servir de variable de entrada a los algoritmos de geoproceso siguientes.

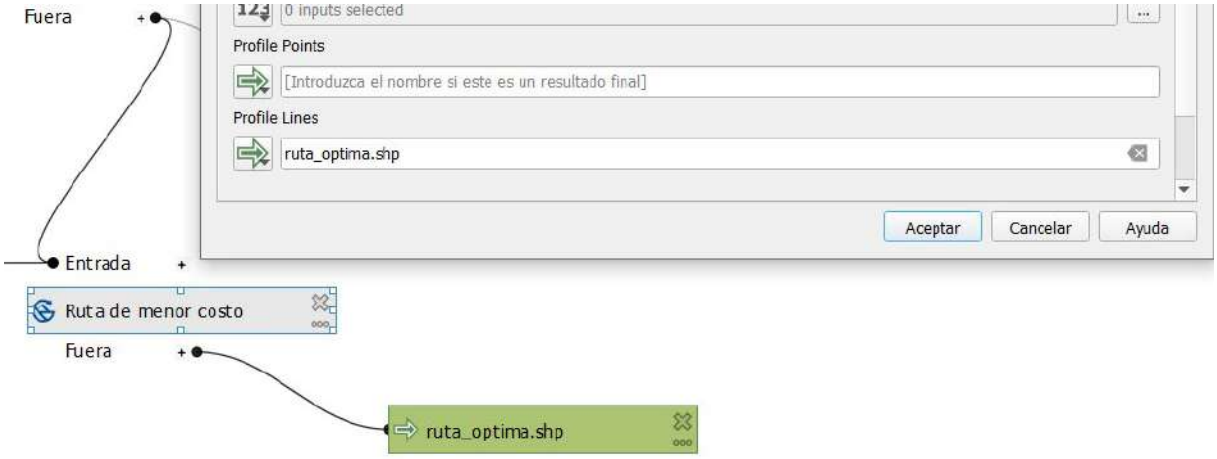


Figura 25. Guardando capas de interés.

3.3.1. *Rasterizar*

El algoritmo **Rasterizar** (figura 26) permite transformar una capa vectorial en una capa ráster mediante la configuración de los siguientes parámetros: (i) campo a rasterizar (valor del atributo de la vectorial que tomará cada píxel); (ii) tamaño de píxel; y (iii) extensión de la capa de salida, entre otros (figura 27).

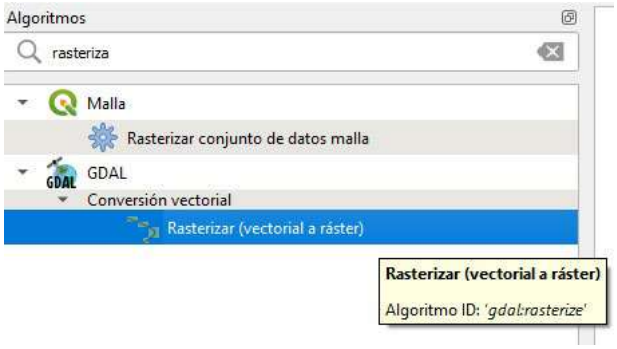


Figura 26. Algoritmo rasterizar en el listado de algoritmos de geoproceso.

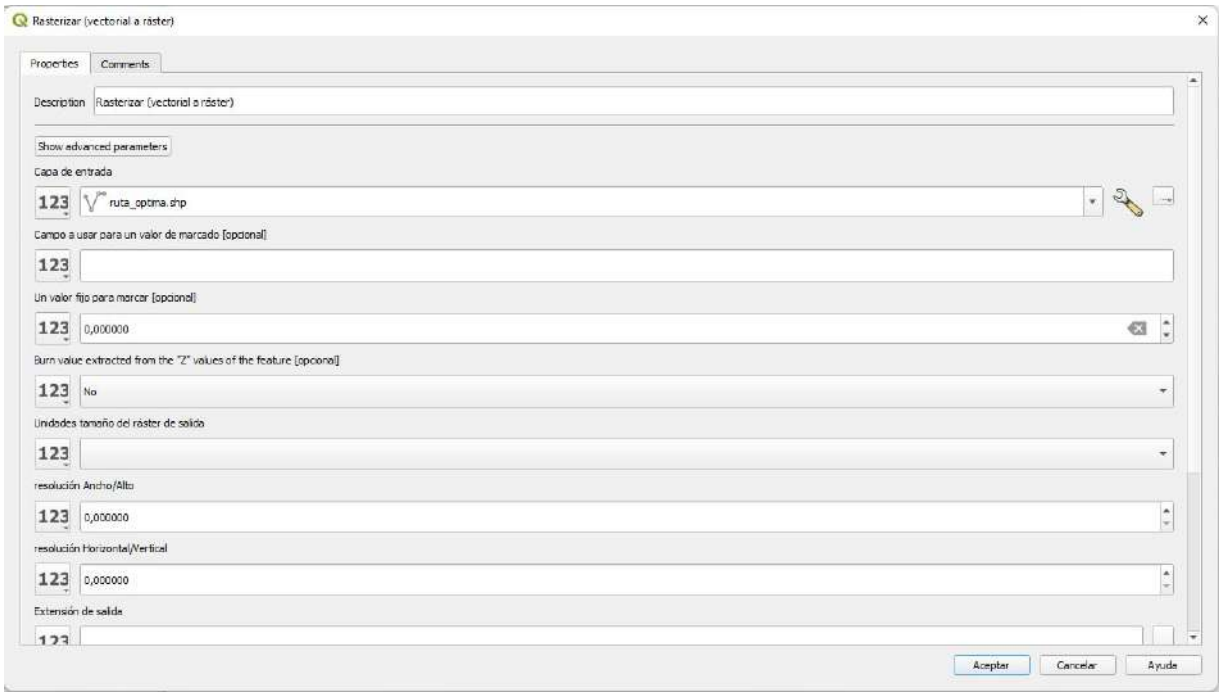


Figura 27. Configuración del algoritmo rasterizar.

Para configurar correctamente el algoritmo, se deberá introducir las variables de entrada como **Entrada del modelo** (figura 28). Seleccionando esta opción se podrá elegir como capa de entrada cualquiera de las capas vectoriales descritas con anterioridad (figura 29).

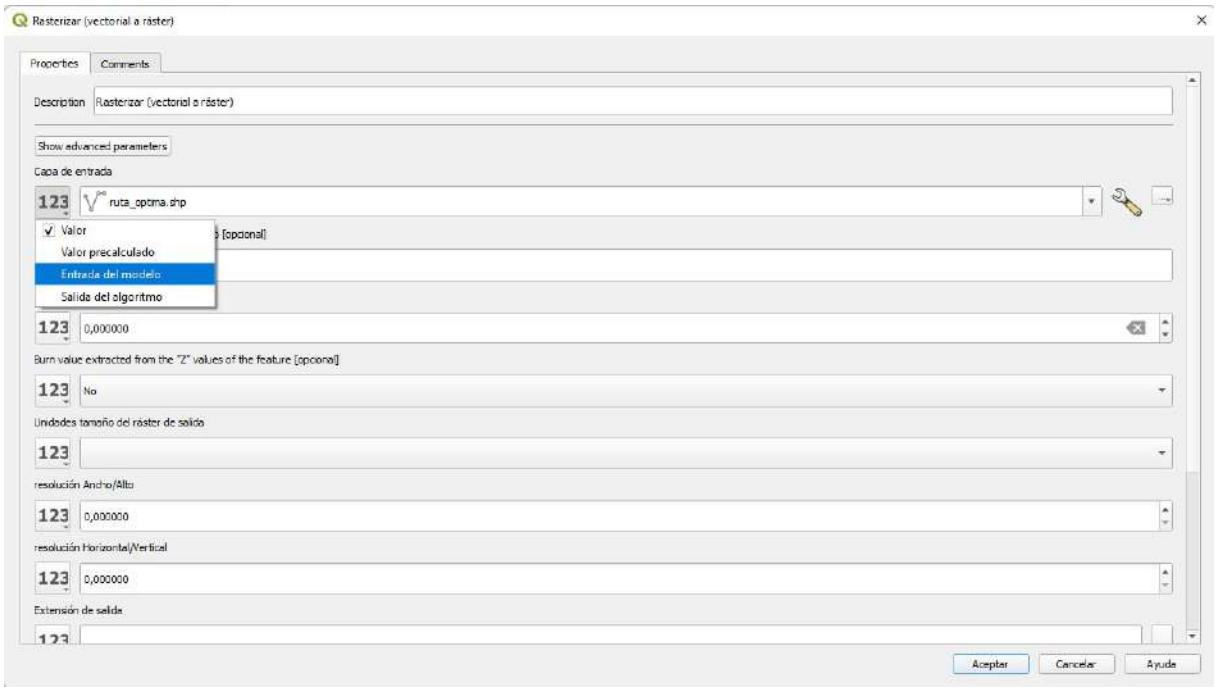


Figura 28. Capa vectorial de entrada: Entrada del modelo.

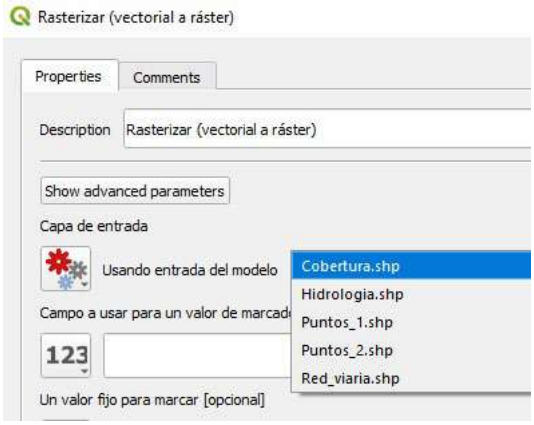


Figura 29. Detalle de entrada del modelo.

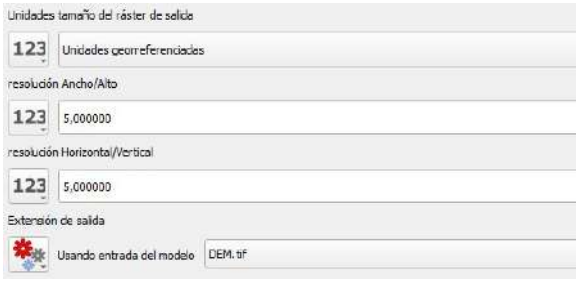


Figura 30. Detalle de la parametrización del algoritmo.

En las operaciones con archivos ráster es de gran importancia que los píxeles que contienen la información se encuentren espacialmente superpuestos presentando la misma resolución espacial. Para ello, se utiliza como capa de referencia la capa ráster correspondiente al Modelo Digital del Terreno (MDT); en este caso, con resolución espacial de 5 m/píxel (figura 30).

A continuación, se muestran las configuraciones de los parámetros utilizados para rasterizar las capas vectoriales de coberturas (figura 31), red hidrográfica (figura 32) y red viaria (figura 33).

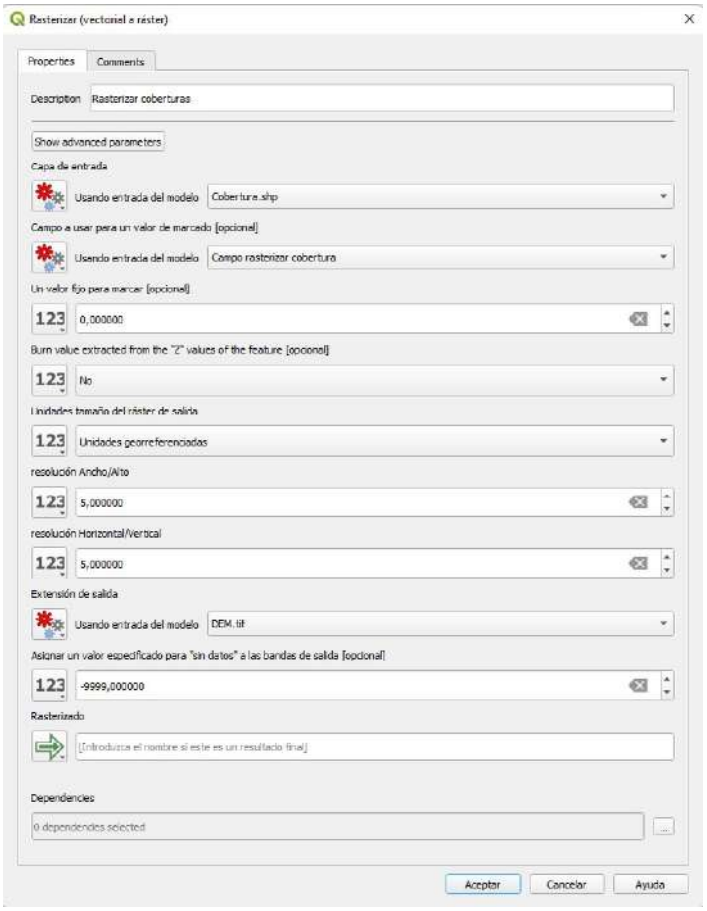


Figura 31. Configuración de parámetros para rasterizar la capa vectorial de coberturas.

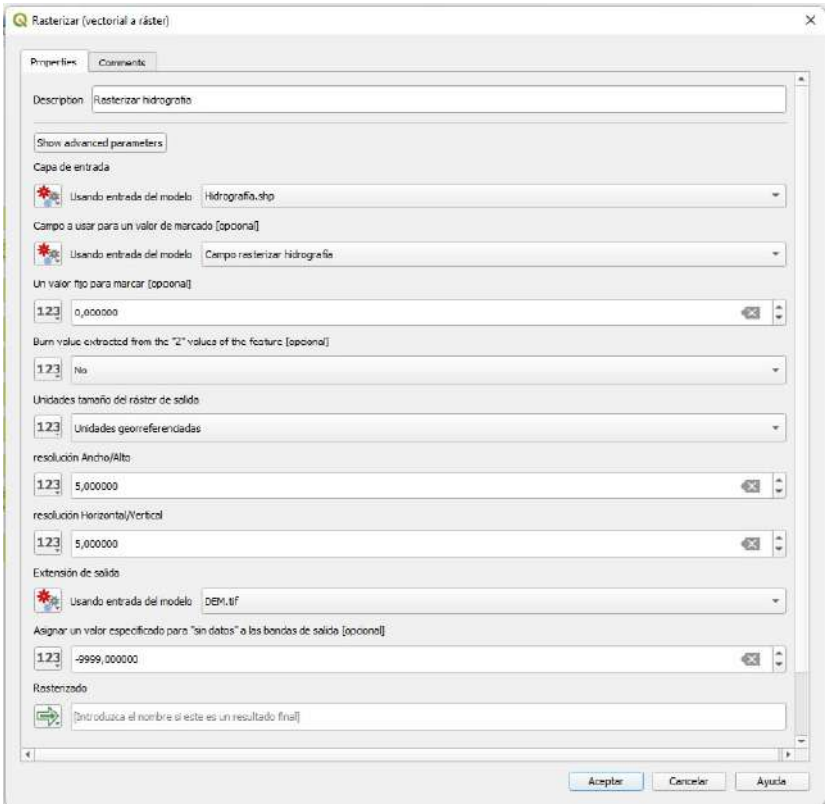


Figura 32. Configuración de parámetros para rasterizar la capa vectorial de la red hidrográfica.

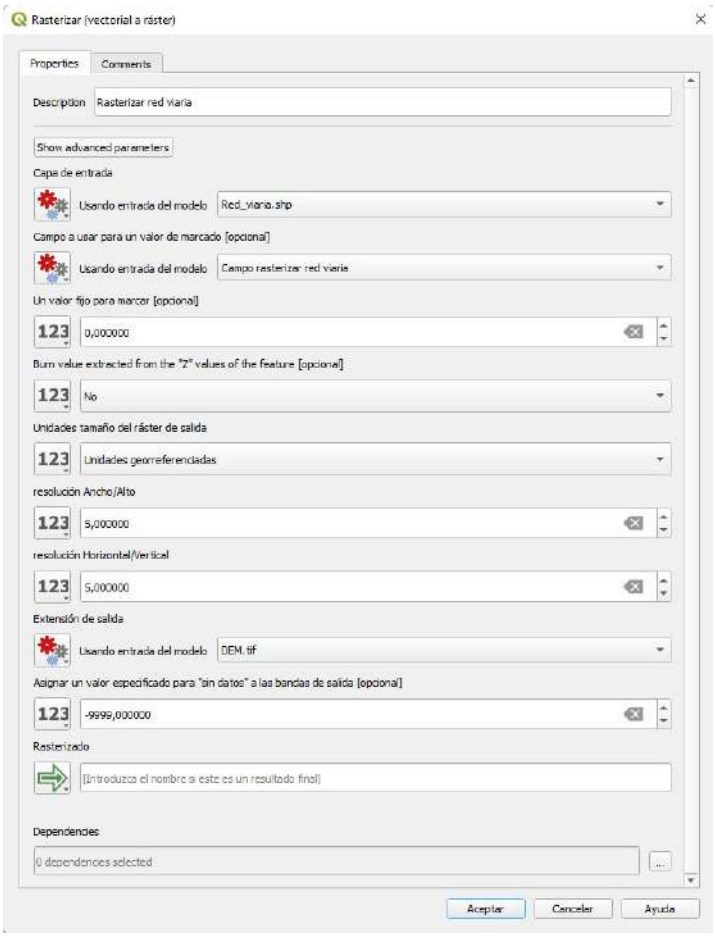


Figura 33. Configuración de parámetros para rasterizar la capa vectorial de la red viaria.

3.3.2. *Valores nulos*

La existencia de valores nulos asociados a los píxeles impide la realización de determinadas operaciones de cálculo. Por lo tanto, al rasterizar las capas vectoriales de la red hidrográfica y la red viaria, los píxeles en los que no existen geometrías tipo línea asociadas son clasificados como valores nulos (generalmente, con el valor -9999.00). En este caso, las posteriores operaciones asociadas a la implementación del algoritmo de geoproceso correspondiente al cálculo del coste acumulado requieren de la aplicación previa del algoritmo de geoproceso **r.null** (figura 34) para toda la extensión del área de estudio.

Este algoritmo de geoproceso convierte los valores nulos en un valor fijo definido por el usuario. En este caso, se asignó el valor **10**; ya que se encuentra fuera del rango de valores asociados a los campos a rasterizar.

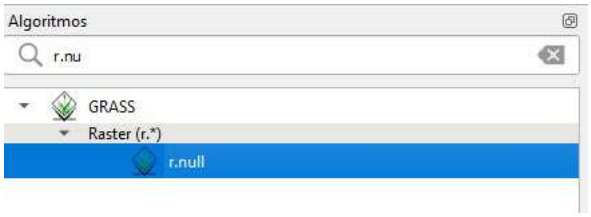


Figura 34. Algoritmo de geoproceso r.null en la lista de algoritmos de la biblioteca GRASS.

En este caso no se debe alimentar al algoritmo con una Entrada del modelo, ya que ni las capas de la red hidrográfica ni de la red viaria se introducen en formato ráster. Por lo tanto, se utilizará la Salida del algoritmo para introducir las salidas del algoritmo Rasterizar (figura 35).

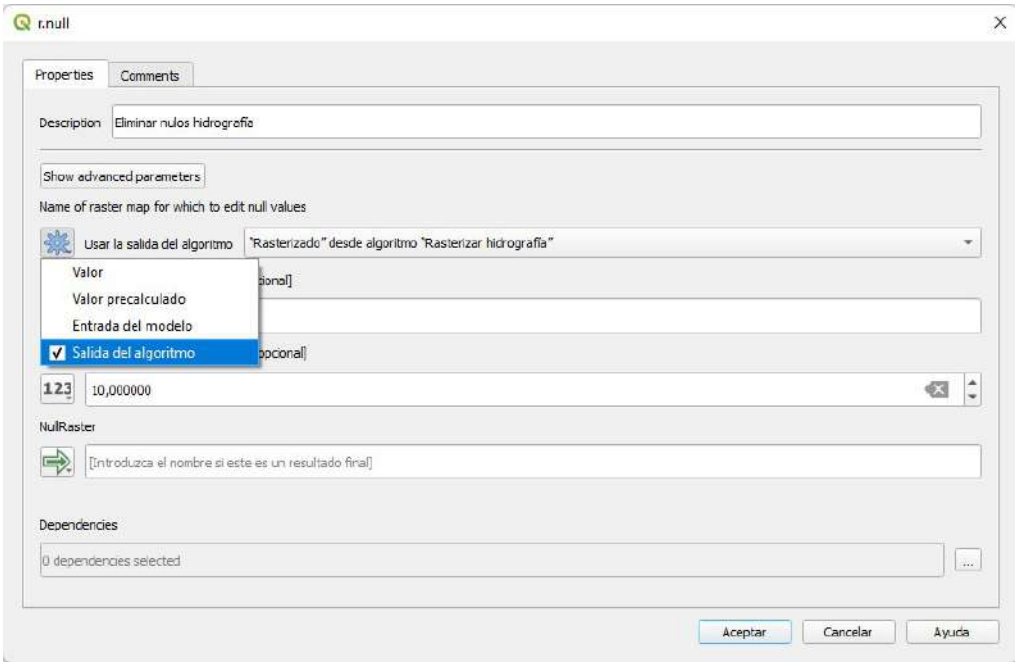


Figura 35. Configuración de las variables de entrada del algoritmo de geoproceso r.null.

Las variables de entrada y los parámetros de configuración del algoritmo **r.null** se presentan en la figura 35. Los parámetros de la capa vectorial correspondiente a la red hidrográfica se presentan en la figura 36. Con la capa vectorial correspondiente a la red viaria se procede de forma análoga.

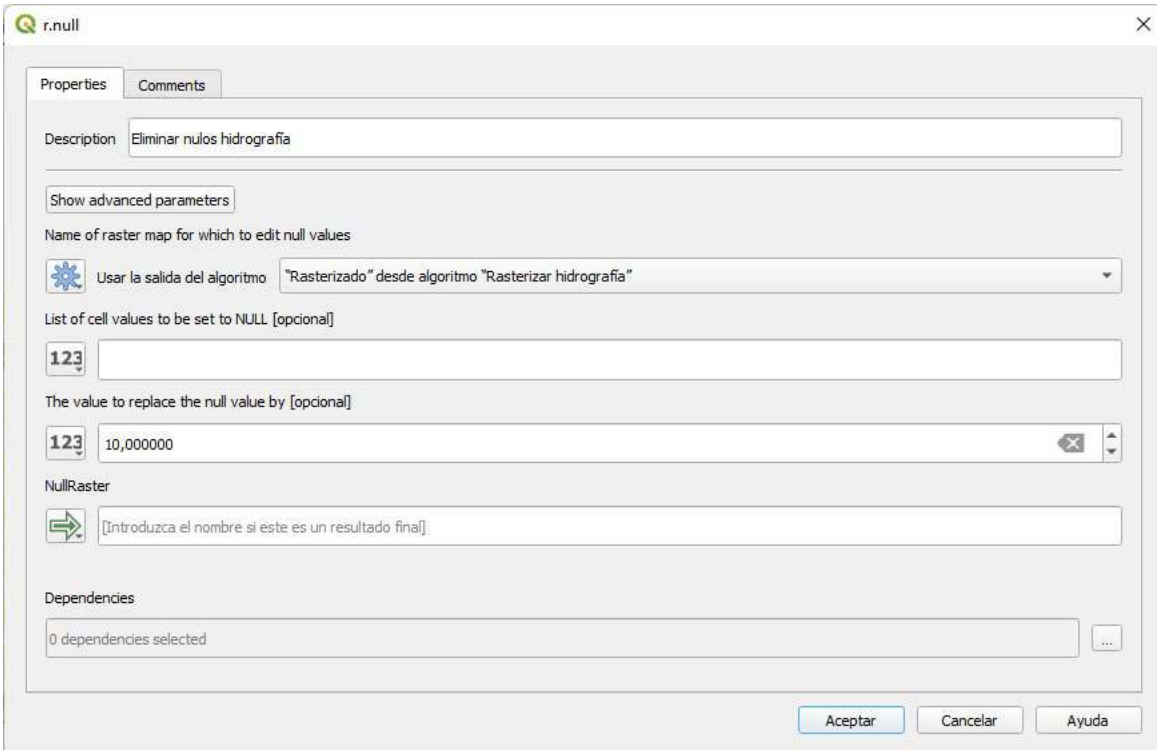


Figura 36. Configuración de parámetros del algoritmo de geoproceso r.null asociado a la capa vectorial de la red hidrográfica.

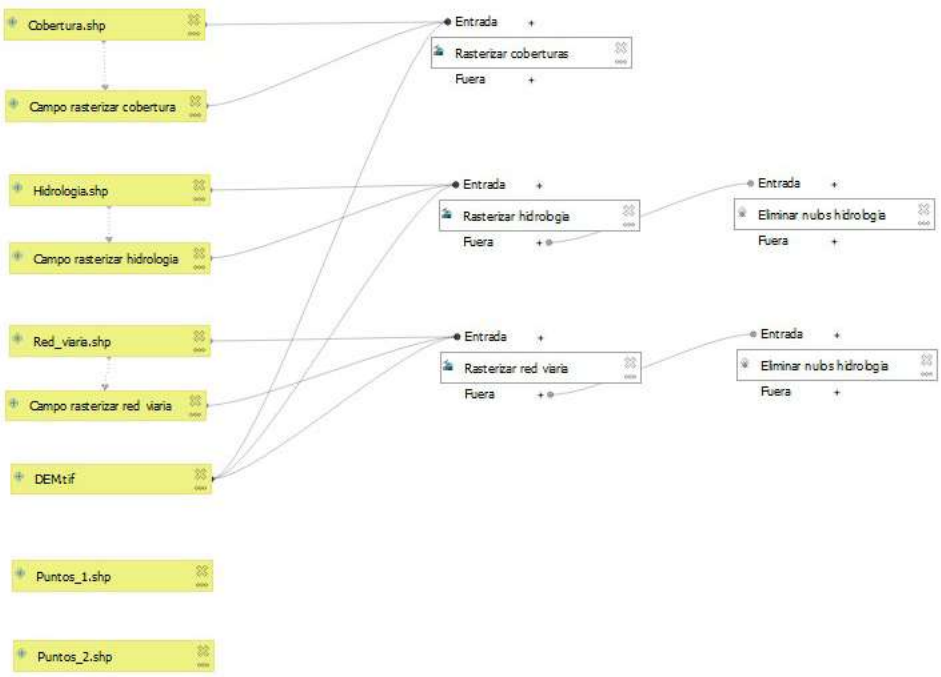


Figura 37. Modelo gráfico con las variables de entradas, algoritmos de geoproceso y relaciones establecidas.

3.3.3. Pendiente y Orientación

A partir de un Modelo Digital del Terreno (MDT) es posible calcular la pendiente y la orientación asociados al mismo. Esta información es de gran interés para todo tipo de estudios técnicos, incluido el trazado y optimización de vías forestales. El algoritmo correspondiente a la **Pendiente** aparece listado en dos bibliotecas: **Native** de **QGIS®**, y **GDAL®** (figura 38). Se utilizó el primero para el desarrollo del caso práctico. Los parámetros asociados a dicho algoritmo de geoproceso se presentan en la figura 39.

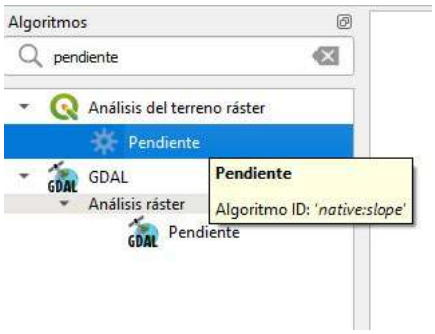


Figura 38. Algoritmo de Pendiente en el listado de algoritmos.

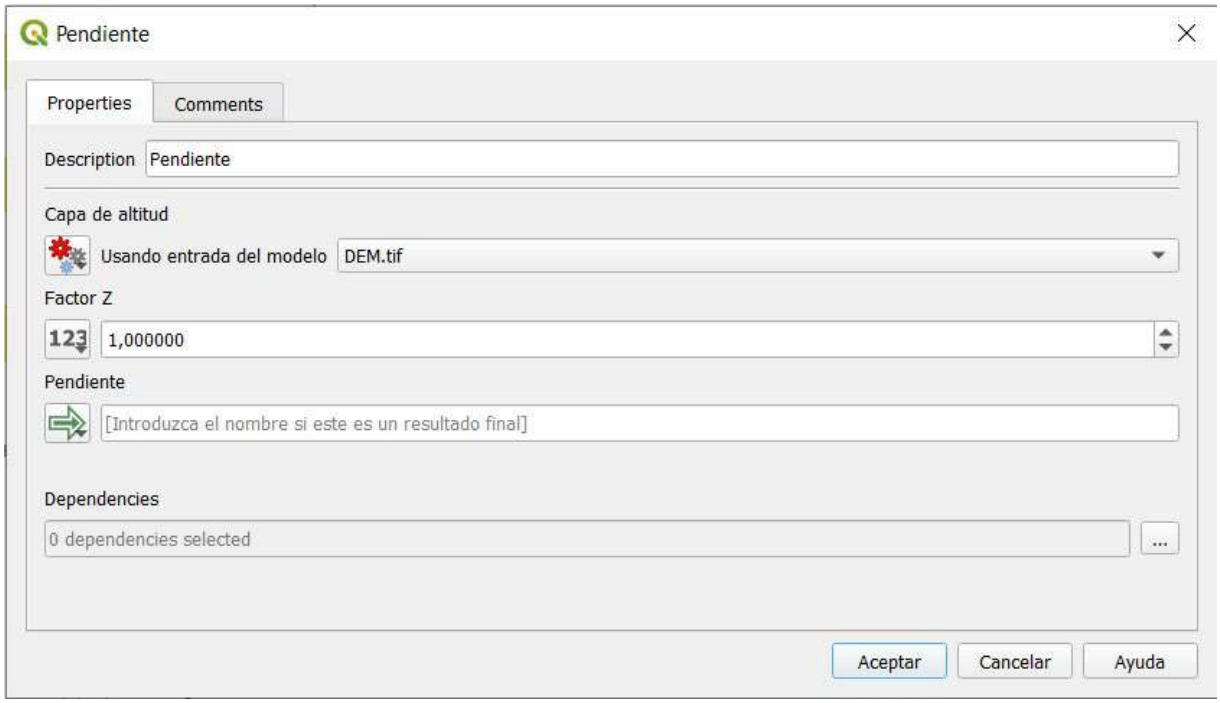


Figura 39. Configuración de parámetros del algoritmo de Pendiente.

En el caso del algoritmo de **Aspecto** (Orientaciones), también aparece listado en las bibliotecas anteriormente mencionadas. Se selecciona la primera de las opciones correspondiente a la biblioteca **Native** de **QGIS®** y se configuran los parámetros asociados (figura 40); que en este caso son únicamente la capa correspondiente al MDT como variable de **Entrada del modelo** (figura 41).

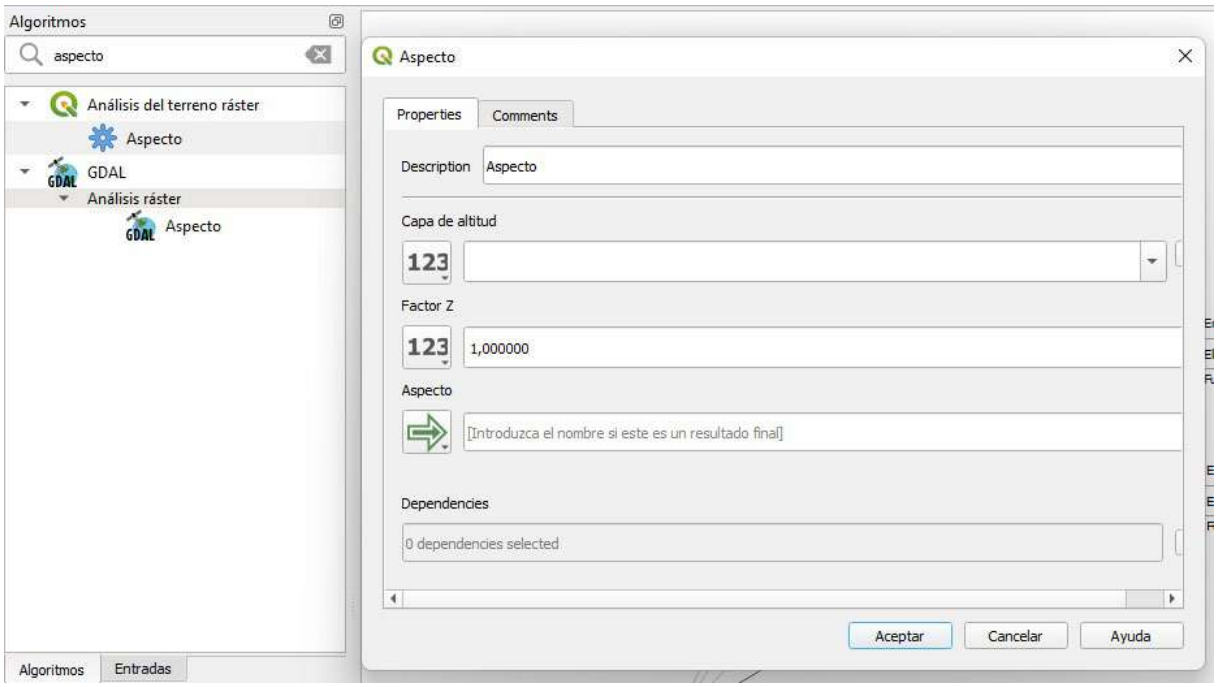


Figura 40. Algoritmo de Orientaciones en el listado de algoritmos.

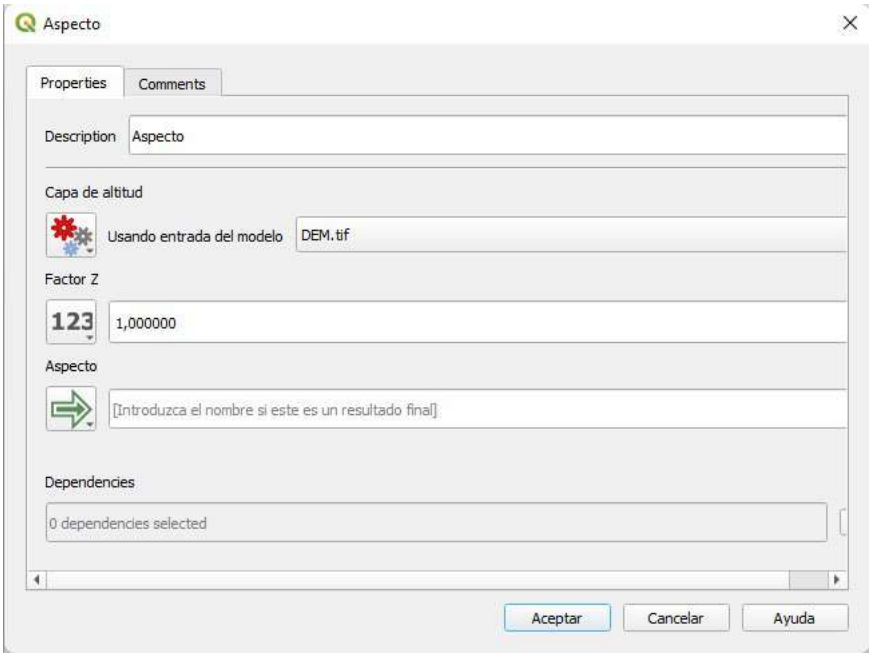


Figura 41. Configuración de parámetros del algoritmo de Orientación.

En este punto del diagrama de procesos, el modelo gráfico presenta la siguiente configuración de variables de entrada, algoritmos de geoproceso y relaciones establecidas (figura 42).

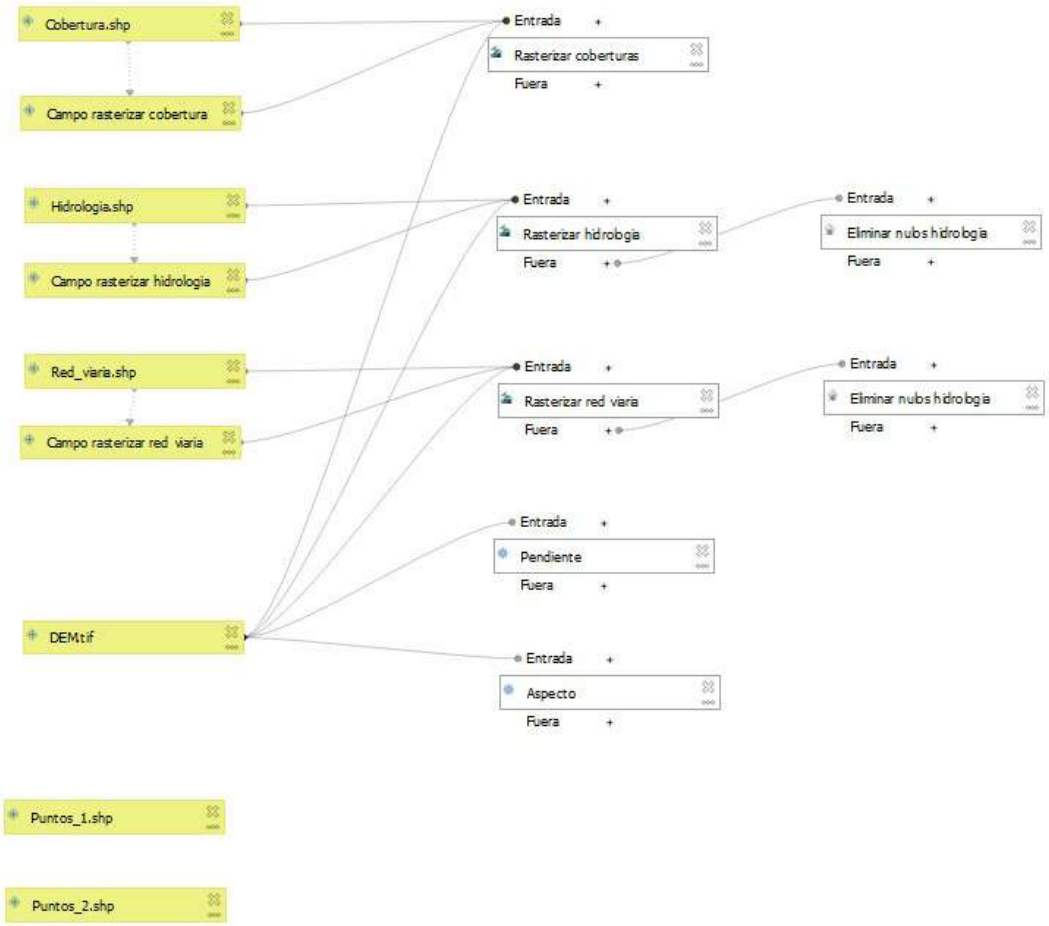


Figura 42. Configuración de las variables de entrada, algoritmos de geoproceso y relaciones establecidas en el modelo gráfico de Model Designer de QGIS®.

3.3.4. Reclasificar

Dentro de la caja de herramientas de QGIS® existen algoritmos de geoproceso que permiten realizar diferentes reclasificaciones. Este apartado se centrará, en un primer momento, en el paso de variables continuas a categóricas (valores discretos) y, posteriormente, en la reclasificación de estas últimas.

Para su desarrollo, se utiliza el algoritmo de geoproceso **Reclasificar por tabla** para introducir los diferentes intervalos asociados a las clases establecidas. Para ello, se selecciona la **Capa ráster** como una **Salida del algoritmo** y se configura la **Tabla de reclasificación** (figura 43).

Para editar la tabla de reclasificación e introducir las filas con la definición de intervalos de clase, se dispone de una serie de botones asignados a tal efecto.

Tal y como se observa en la figura 44, pulsando el botón **Show advanced parameters**, permite seleccionar los **Límites de rango** asociados a la definición de los intervalos de clasificación a introducir en la tabla.

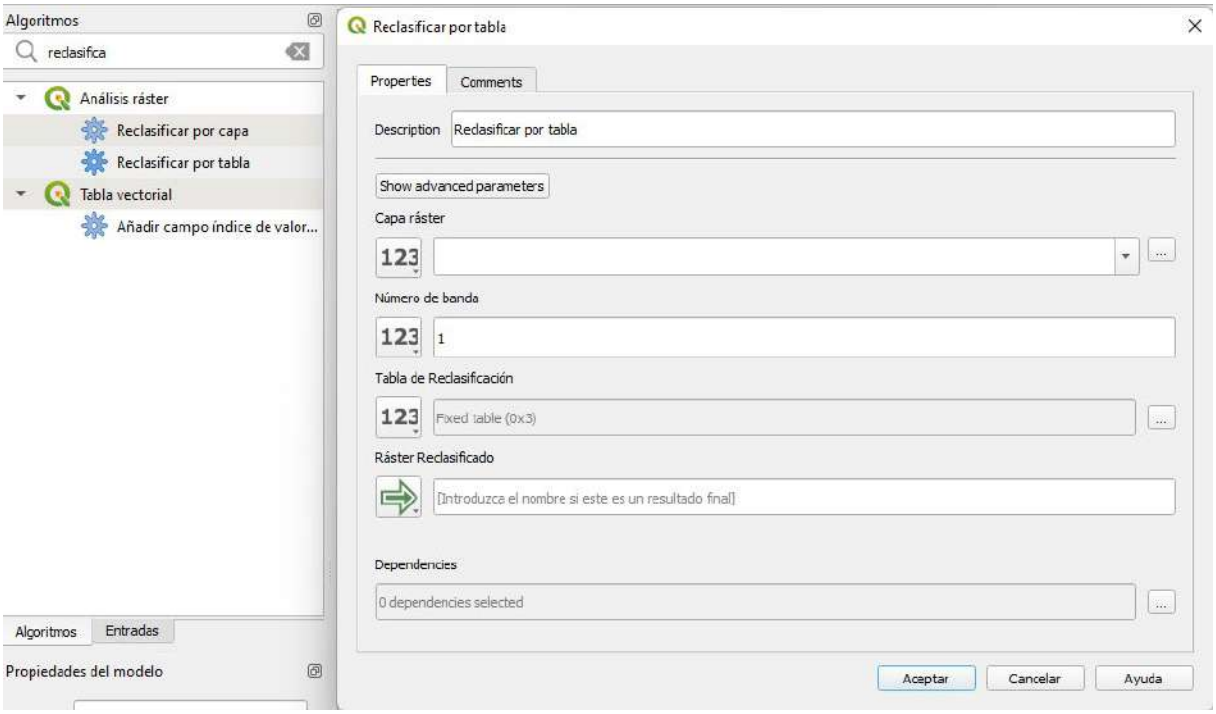


Figura 43. Configuración del algoritmo Reclasificar por tabla.

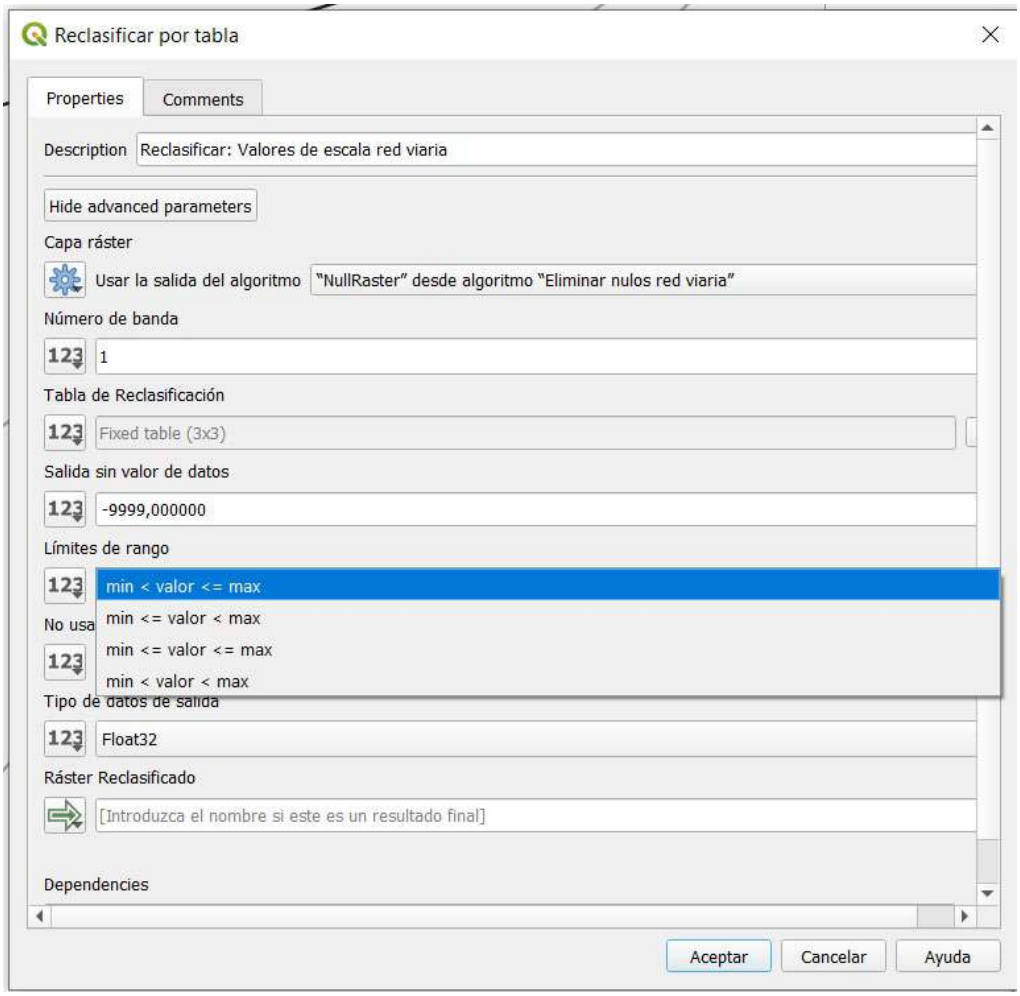


Figura 44. Visualización de los parámetros avanzados del algoritmo de Reclasificar por tabla.

3.3.4.1. *Reclasificar: Valores continuos a discretos (categóricos)*

Es posible reclasificar los valores continuos asociados a una capa ráster en valores discretos en base a unos intervalos previamente definidos por el usuario. Para el desarrollo del caso práctico se proponen los intervalos que se describen a continuación; cabe destacar que los intervalos que se proponen a continuación son susceptibles de ser modificados a criterio del usuario.

La primera reclasificación realizada transforma las variables continuas, pendiente (figura 45 y tabla 7) y orientación (figura 46 y tabla 8), en discretas a partir de la definición de los intervalos.

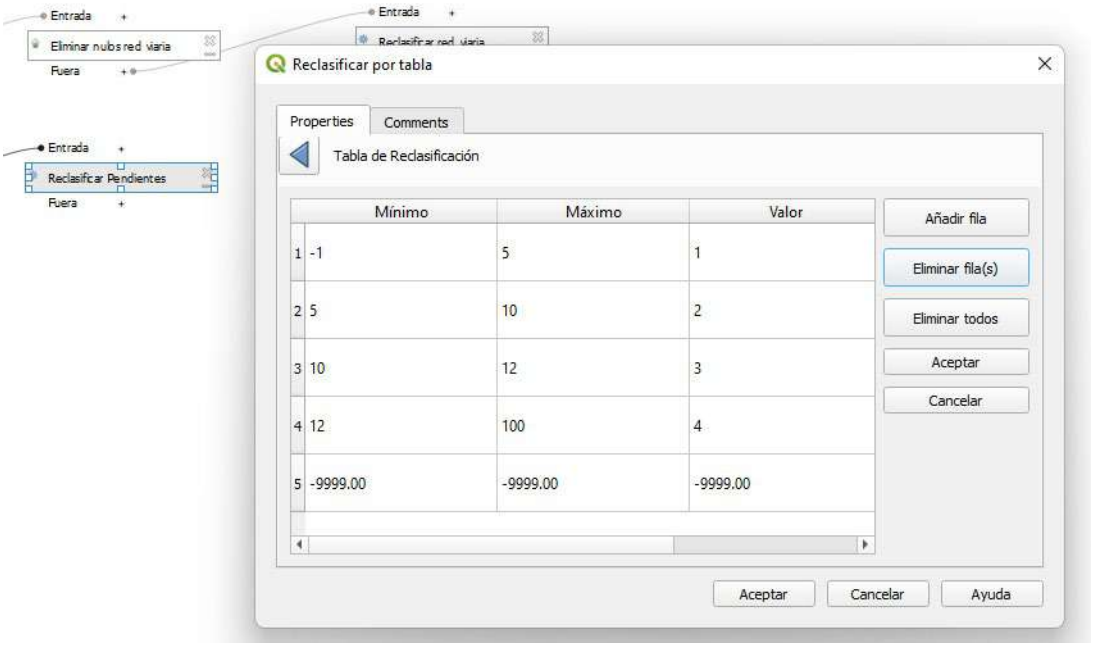


Figura 45. Configuración de la Tabla de Reclasificación de la capa ráster de Pendientes.

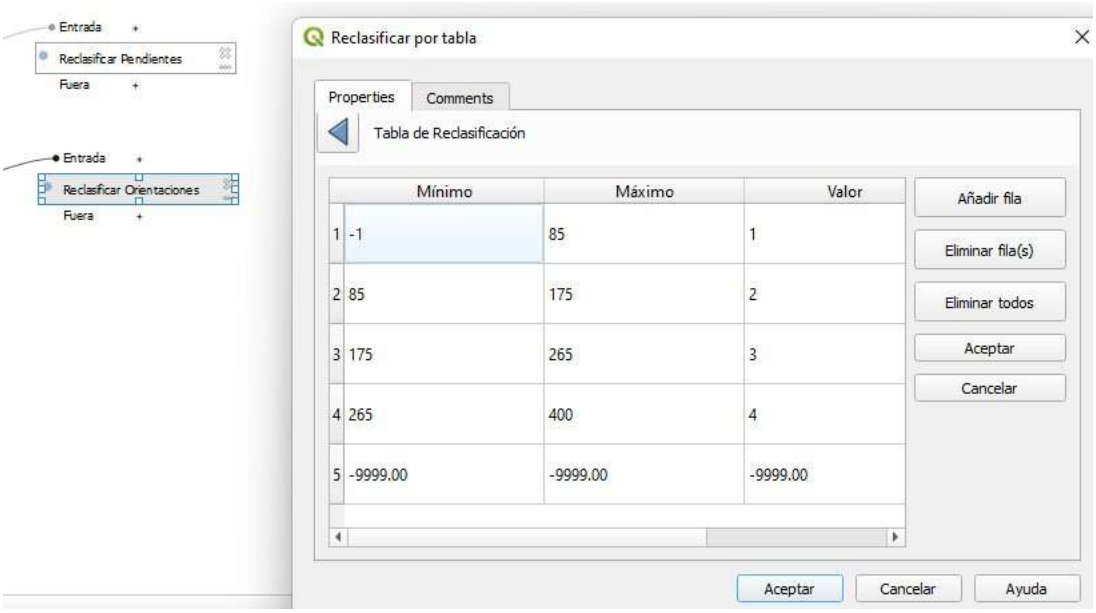


Figura 46. Configuración de la Tabla de Reclasificación de la capa ráster de Orientaciones.

3.3.4.2. Reclasificar: Valores categóricos

Se utiliza el algoritmo de geoproceso **Reclasificar por tabla** para introducir los diferentes intervalos establecidos a las capas ráster de cobertura, red hidrográfica, red viaria, pendientes y orientaciones.

Se reclasifican las diferentes capas ráster siguiendo unos **Valores de escala**, lo que permite asignar mayor o menor valor a los píxeles según su mayor o menor coste al desplazamiento.

Para el caso de la capa de coberturas, el coste al desplazamiento es bajo cuando se trace la vía por una zona urbana o una zona de cultivo, es algo superior si la zona es forestal y es muy elevada, o incluso no permitido, en el caso de tener que cruzar cuerpos de agua (tabla 4). Cabe destacar que incluso podrían aparecer clases correspondientes a áreas de patrimonio protegido, reservar naturales, etc.; asignándoles en este caso valores de escala altos o incluso valores nulos (-9999.00) si el trazado de la vía forestal fuese legalmente o físicamente imposible. Cabe destacar que la clase 10 es la creada para sustituir los valores nulos.

Tabla 4. Clases de coberturas.

Nombre	Clase	Rango	Valor de escala
Urbano	1	0-1	2
Agrícola	2	1-2	3
Forestal	3	2-3	1
Aguas continentales	4	3-4	10
Aguas marítimas	5	4-5	10

Las clases de 1 a 7 de la capa de la red hidrográfica reflejan los diferentes tipos de aguas que se pueden encontrar (margen de cauce, eje de río, etc.). En caso de conocer la legislación vigente de la zona estos valores de escala pueden modificarse; siendo más permisivos con clases como “canal artificial” o “acequia” (tabla 5). También es posible realizar este proceso previamente en la calculadora de campos de QGIS® generando directamente un campo que contenga el valor de escala de la capa.

Tabla 5. Clases de red hidrográfica.

Nombre	Clase	Rango	Valor de escala
Margen de cauce	1	0-7	10
Eje de río	2	0-7	10
Cauce fluvial oculto	3	0-7	10
Margen de cauce oculto	4	0-7	10
Canal artificial	5	0-7	10
Acequia	6	0-7	10
Canal o acequia oculta	7	0-7	10
Zonas fuera de la red hidrográfica	10	9-10	1

En la tabla 6 se observan las diferentes clases establecidas para la capa de la red viaria; añadida la clase 10 para las zonas sin red viaria (valores nulos). A partir del algoritmo de geoproceso de reclasificar, se pasará de 10 clases a únicamente 2. Dependiendo del vehículo a utilizar (circulación permitida o no por autopistas), o de la normativa local para la corta y desembosque de madera, estos **Valores de escala** pueden sufrir modificaciones. También es posible realizar este proceso previamente en la calculadora de campos de QGIS® generando directamente un campo que contenga el valor de escala de la capa.

Tabla 6. Clases de red viaria.

Nombre	Clase	Rango	Valor de escala
Autopistas	1	0-9	1
Nacional	2	0-9	1
Regional	3	0-9	1
Comarcal	4	0-9	1
Local 1º orden	5	0-9	1
Local 2º orden	6	0-9	1
Municipal	7	0-9	1
Trazado antiguo	8	0-9	1
Ramales	9	0-9	1
Zona sin vías	10	9-10	10

En la capa de pendientes (tabla 7), la primera reclasificación lleva a cabo el paso de los valores del intervalo a la clase mientras que, en el segundo paso, se reclasifican esas clases con sus valores de escala. Para pendientes inferiores al 12 %, el valor de escala asociado es 1, mientras que pendientes con valores superiores reciben un valor de escala de 9. Esta asignación está relacionada con el menor volumen de material que será necesario mover en caso de acometer el trazado por esa zona, o incluso, en función del tipo de vía que se diseñe o a la posibilidad de tránsito de la maquinaria en el sentido de las curvas de nivel.

Tabla 7. Clases de pendientes.

Intervalo (1ª reclasificación)	Clase	Rango	Valor de escala
-1 - 5	1	0-3	1
5 - 10	2	0-3	1
10 - 12	3	0-3	1
12 - 100	4	3-4	9

En el caso de la capa orientaciones (tabla 8), los intervalos de clase se reclasificarán a valores de escala de igual modo que en el caso anterior. Estos valores se definen por la orientación de cada píxel, de manera que sea más favorable el trazado por zonas con exposición Sur, en detrimento

de los que presentan exposición Norte; al tratarse de zonas más sombrías, que reciben menos luz solar, en donde la circulación suele entrañar mayores dificultades o riesgos.

Tabla 8. Clases de orientaciones.

Intervalo (1ª reclasificación)	Clase	Rango	Valor de escala
-1 - 85	1	0-1	9
85 - 175	2	1-3	1
175 – 265	3	1-3	1
265 – 400	4	3-4	9

Las siguientes figuras presentan la configuración de las tablas de reclasificación implementadas en el algoritmo de geoproceso para las diferentes capas empleadas: coberturas (figura 47); hidrografía (figura 48); red viaria (figura 49); pendiente (figura 50) y orientaciones (figura 51).

Figura 47. Configuración de la tabla de Reclasificación para la capa de Coberturas.

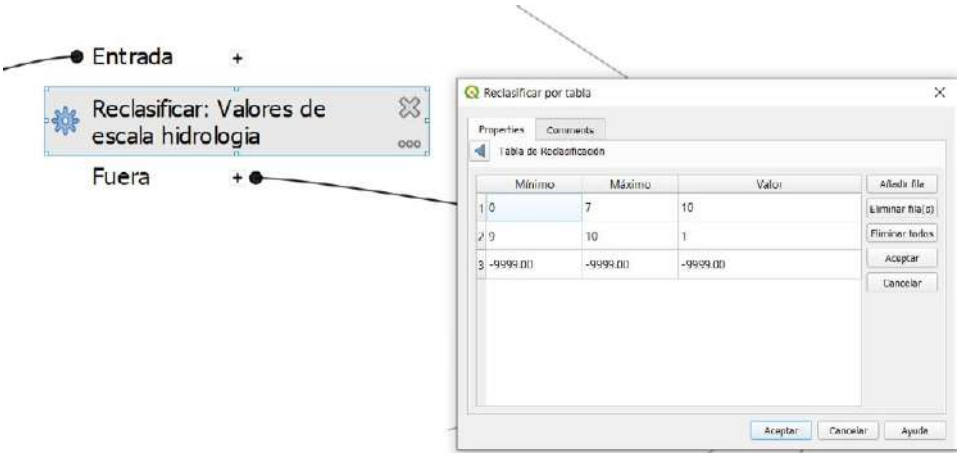


Figura 48. Configuración de la tabla de Reclasificación para la capa de Red hidrográfica.

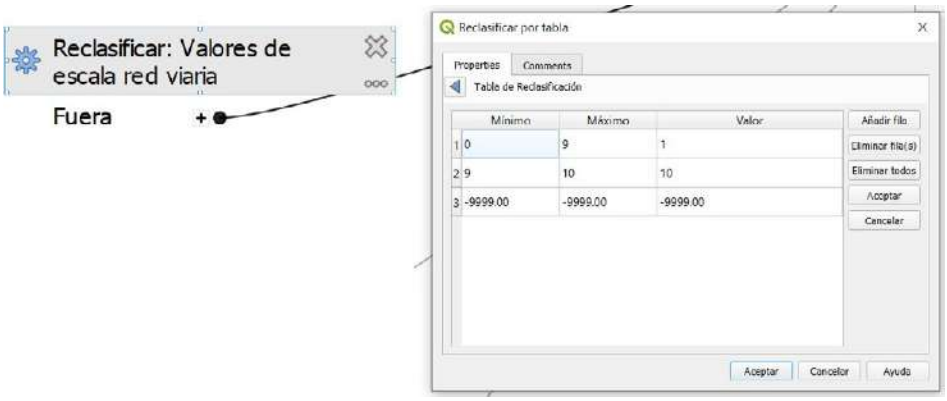


Figura 49. Configuración de la tabla de Reclasificación para la capa de Red viaria.

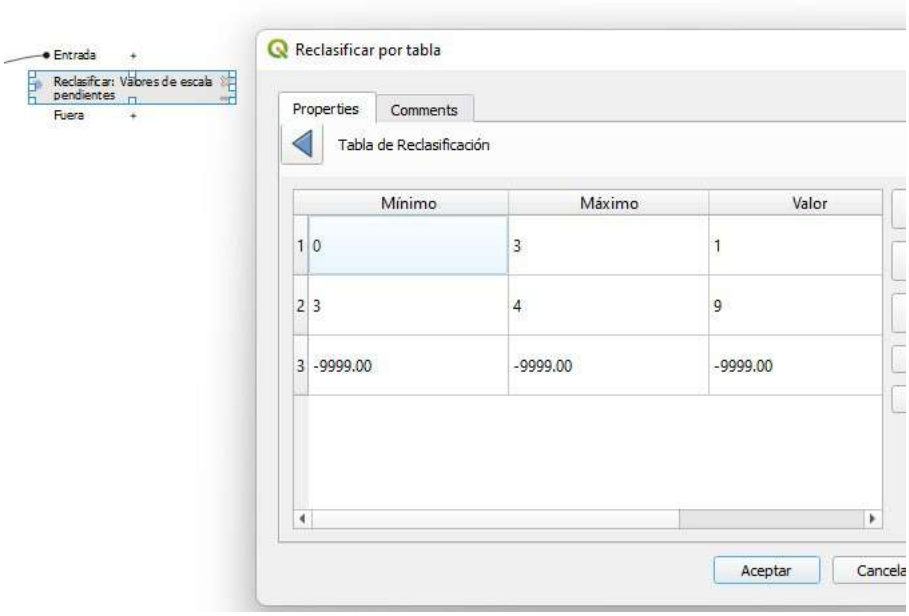


Figura 50. Configuración de la tabla de Reclasificación para la capa de Pendientes.

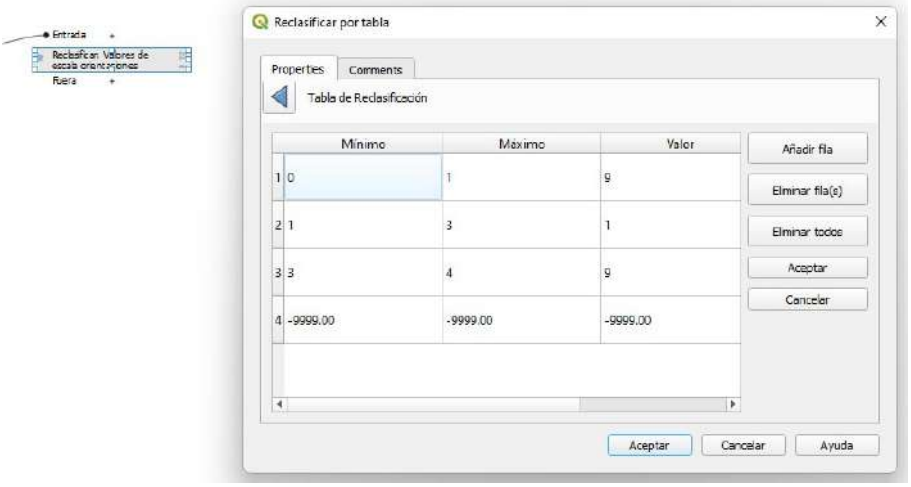


Figura 51. Configuración de la tabla de Reclasificación para la capa de Orientaciones.

A la finalización de esta sección, el modelo gráfico construido con Model Designer de QGIS® presenta el siguiente diagrama de procesos (figura 52).

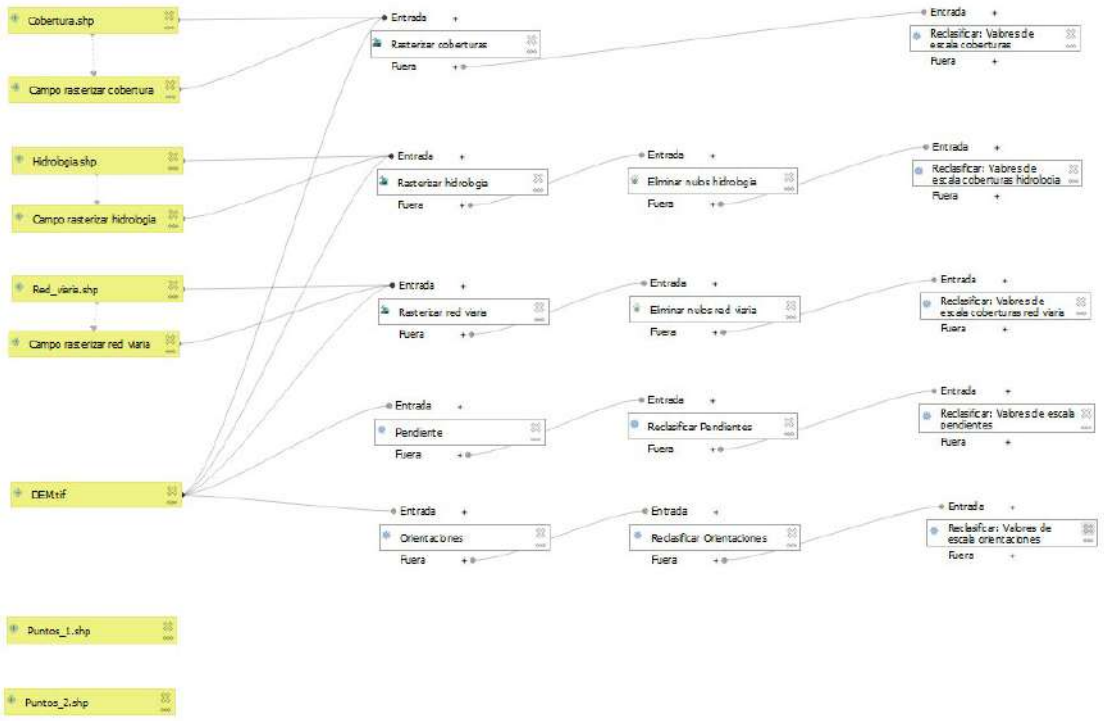


Figura 52. Modelo gráfico de Model Designer con variables de entradas, algoritmos y relaciones.

3.3.5. Análisis multicriterio mediante algebra de mapas

El algoritmo de geoproceso correspondiente a la **Calculadora ráster** (figura 53) permite realizar operaciones de álgebra de mapas a partir de diferentes capas ráster. En este caso, se utiliza para realizar un análisis multicriterio previo paso al cálculo de dificultad de coste acumulado por desplazamiento asociado al trazado de la vía mediante la asignación de coeficientes de ponderación a cada una de las capas de entrada empleadas en el modelo gráfico con el objetivo final de poder obtener una capa de coste de desplazamiento ponderado a nivel píxel.

A modo de ejemplo, destacar que no genera el mismo coste de desplazamiento la capa de pendientes que la de orientaciones, además debe tenerse en cuenta los cauces asociados a la red hidrográfica por si cruzarlos incrementa los costes de dificultad al desplazamiento. Por otro lado, utilizar la red viaria ya existente supone una reducción al máximo del coste de desplazamiento, por lo que deberá quedar reflejado en los coeficientes de ponderación asociados a las diferentes capas.

Cabe destacar que, en todo caso, los coeficientes de ponderación asociados al análisis multicriterio son completamente modificables por parte del usuario, pudiendo asignar un mayor o menor peso a cada una de las capas de entradas utilizadas en la ecuación de cálculo a efectos

de incrementar o disminuir el coste de desplazamiento. A continuación, se muestra un ejemplo en base a las capas consideradas en el desarrollo del caso práctico propuesto (ecuación 1).

Ecuación 1. Ecuación de cálculo con entradas, algoritmos y relaciones.

$$0.2 * A + 0.35 * D + 0.15 * E + 0.3 * B + 1 * C$$

Donde:
A = Valores de salida de escala asociados a la capa ráster de coberturas.
B = Valores de salida de escala asociados a la capa ráster de la red hidrográfica.
C = Valores de salida de escala asociados a la capa ráster de la red viaria.
D = Valores de salida de escala asociados a la capa ráster de pendientes.
E = Valores de salida de escala asociados a la capa ráster de orientaciones.

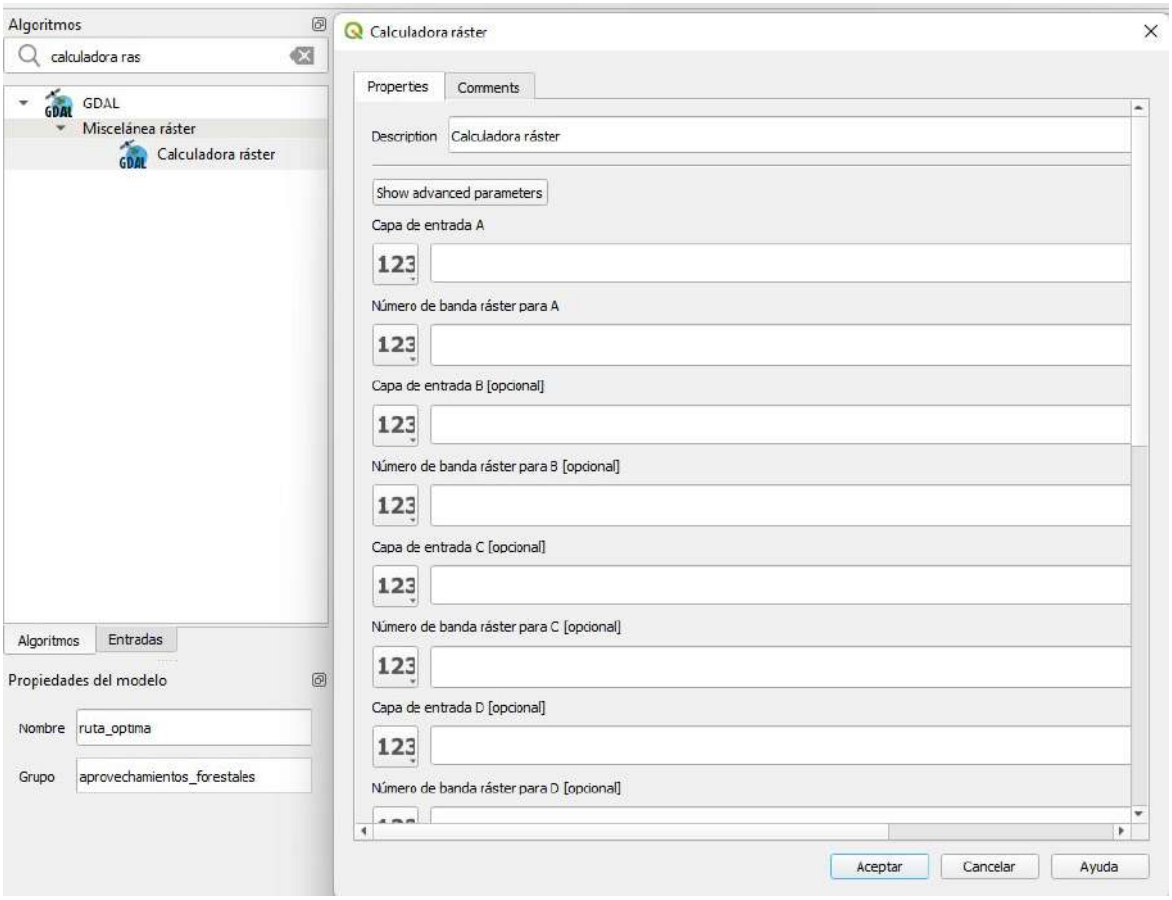


Figura 53. Configuración de parámetros de la Calculadora ráster I.

En la figura 54 se presenta la configuración de las variables de entrada correspondientes a las capas ráster del algoritmo de geoproceso y el número de bandas utilizado en cada caso (todas ellas son capas ráster que presentan una única banda, por lo que el valor introducido es “1”). En la figura 55 se muestra la ecuación de cálculo asociada al análisis multicriterio y el nombre asignado a la capa ráster de salida.

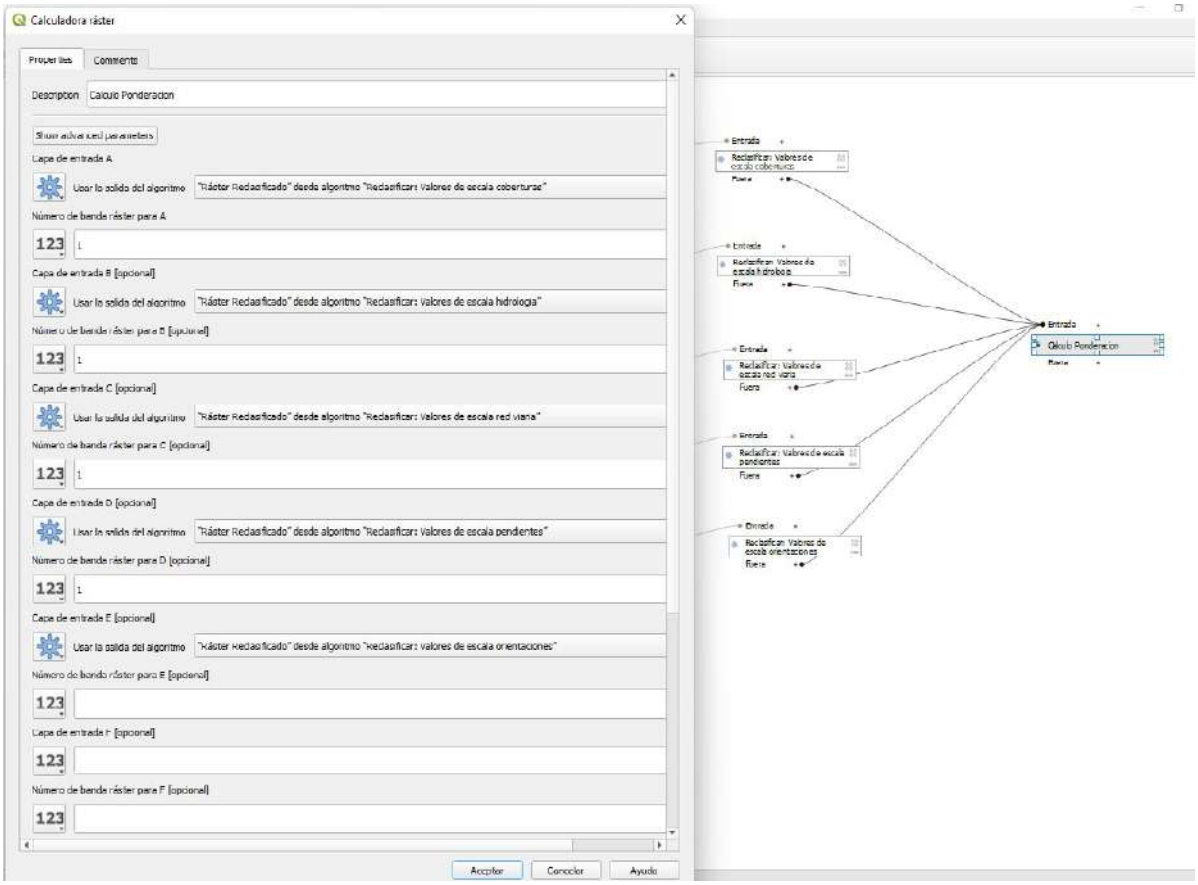


Figura 54. Configuración de parámetros de la Calculadora ráster II.

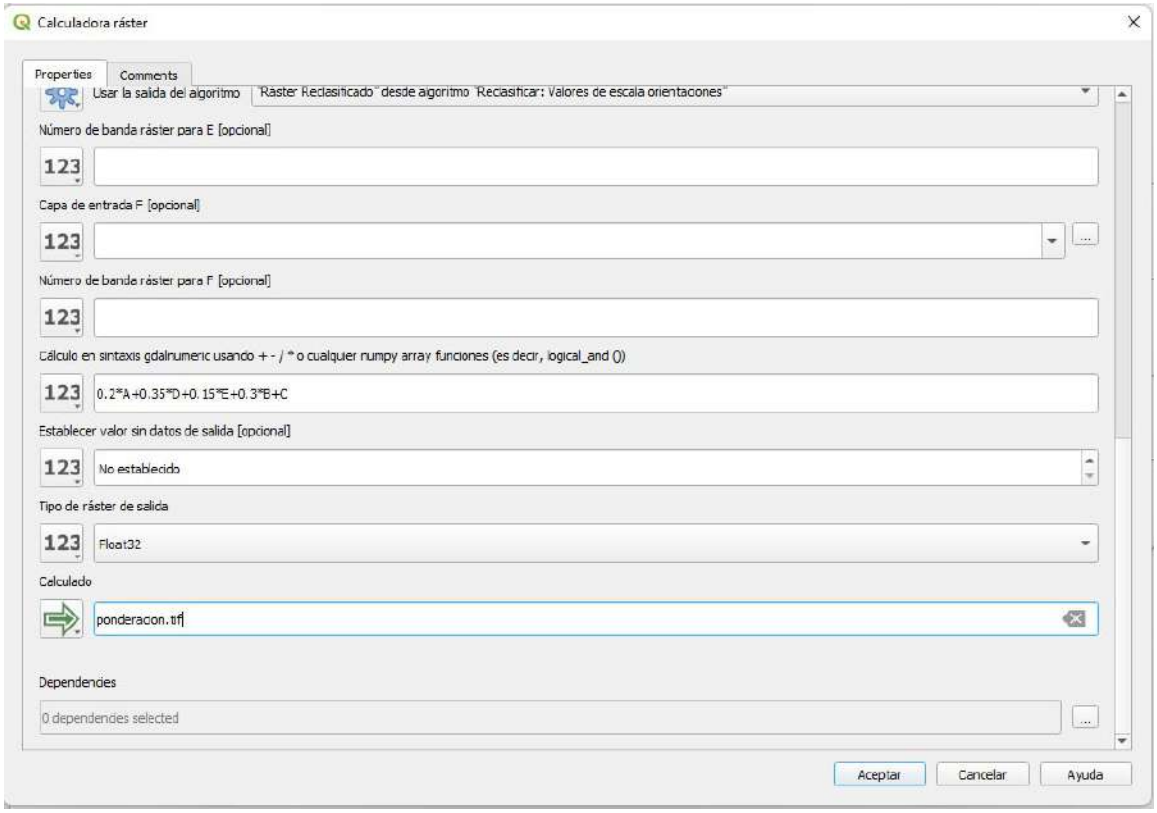


Figura 55. Configuración de parámetros de la Calculadora ráster III.

3.3.6. Coste acumulado de desplazamiento

La herramienta de la biblioteca SAGA®, **Accumulated Cost**, permite calcular el coste acumulado de desplazamiento entre un punto de inicio y un punto de destino a partir de una capa ráster derivada del análisis multicriterio previo. En la figura 56, se presenta la configuración del correspondiente algoritmo de geoproceso.

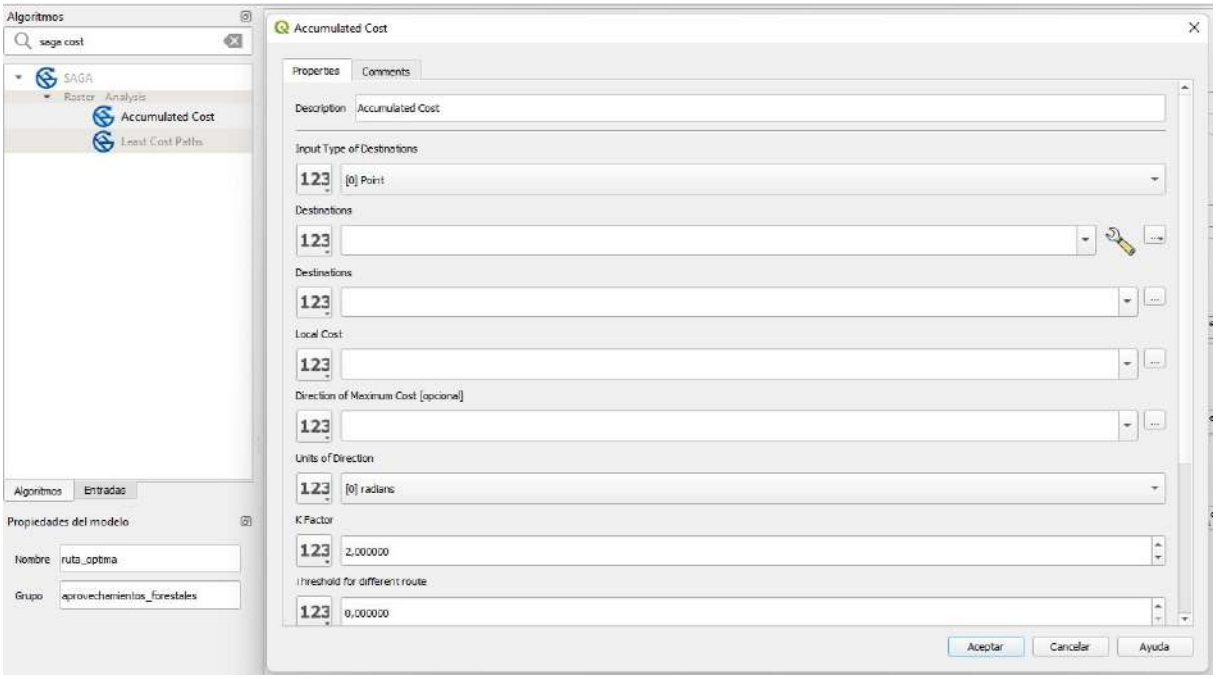


Figura 56. Configuración del algoritmo Accumulated Cost.

El punto de destino debe introducirse tanto en formato vectorial como ráster. Para ello, será necesario transformar la capa vectorial en ráster siguiendo los pasos descritos en el apartado Rasterizar (figura 57).

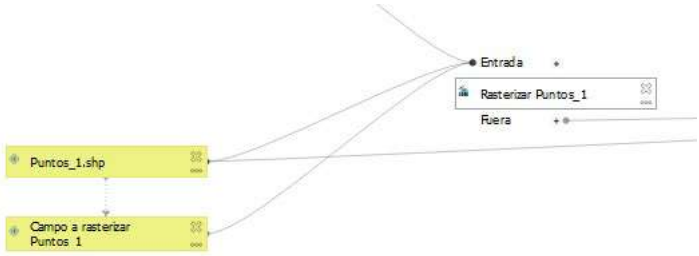


Figura 57. Esquema del modelo gráfico para rasterizar el punto de destino.

Una vez asignadas las variables de entrada del algoritmo, se completa la configuración de parámetros del modelo tal y como se muestra en la figura 58.

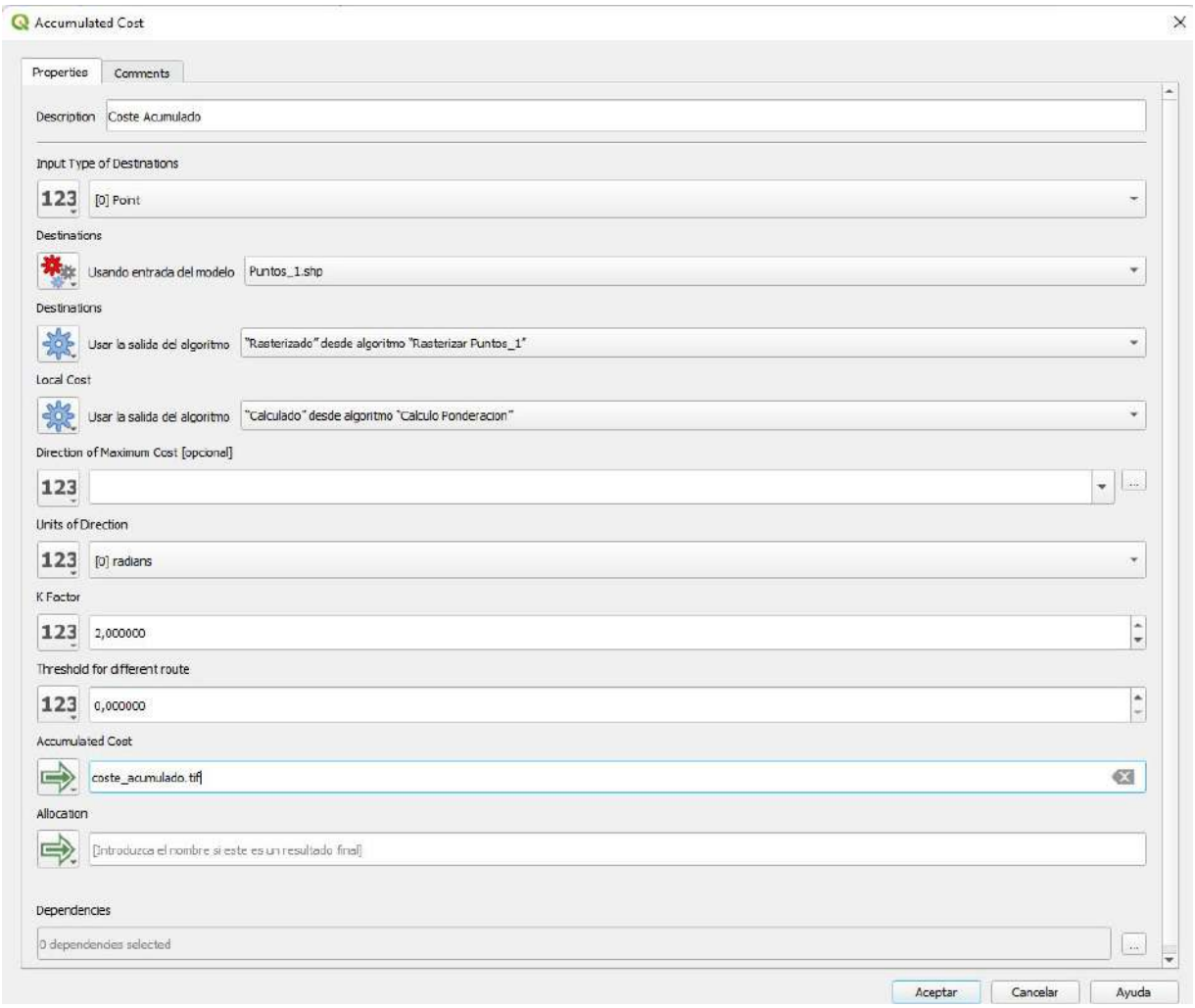


Figura 58. Configuración de parámetros del algoritmo Accumulated Cost.

3.3.7. Ruta de menor coste de desplazamiento

El último algoritmo de geoproceso, **Least Cost Paths** (biblioteca SAGA®), implementado en el modelo gráfico calcula la ruta de menor coste de desplazamiento a partir de una capa de entrada de coste acumulado. Para ello, se introduce el punto de inicio y el algoritmo de geoproceso devolverá la ruta de menor coste de desplazamiento en formato vectorial (figura 59).

En cuanto a la configuración de los parámetros asociados al algoritmo **Least Cost Paths** (figura 60), considera las siguientes variables de entrada: (i) la capa de punto de destino (debe ser de tipo vectorial); (ii) la capa de coste acumulado generada por el algoritmo **Accumulated Cost** calculada en el apartado anterior. Como variable de salida se obtiene la ruta de menor coste de desplazamiento (en formato vectorial y geometría tipo línea).

Al final de esta sección, el diagrama de procesos del modelo gráfico es similar al que se presenta en la figura 62, estando en disposición de poder ejecutarlo desde Model Designer de QGIS®.

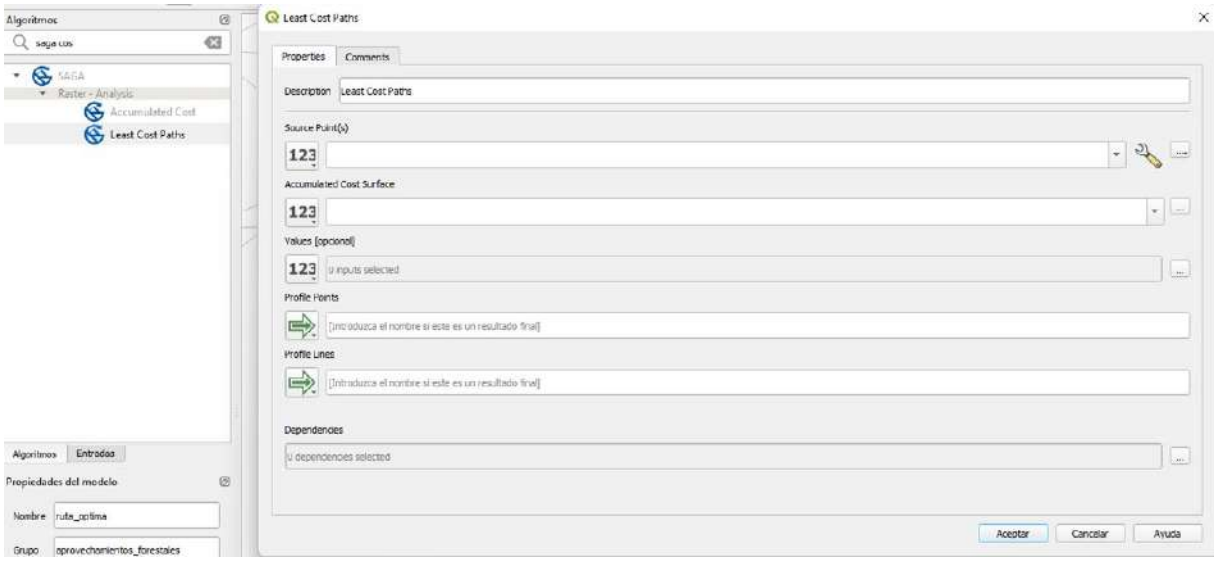


Figura 59. Configuración del algoritmo Least Cost Paths I.

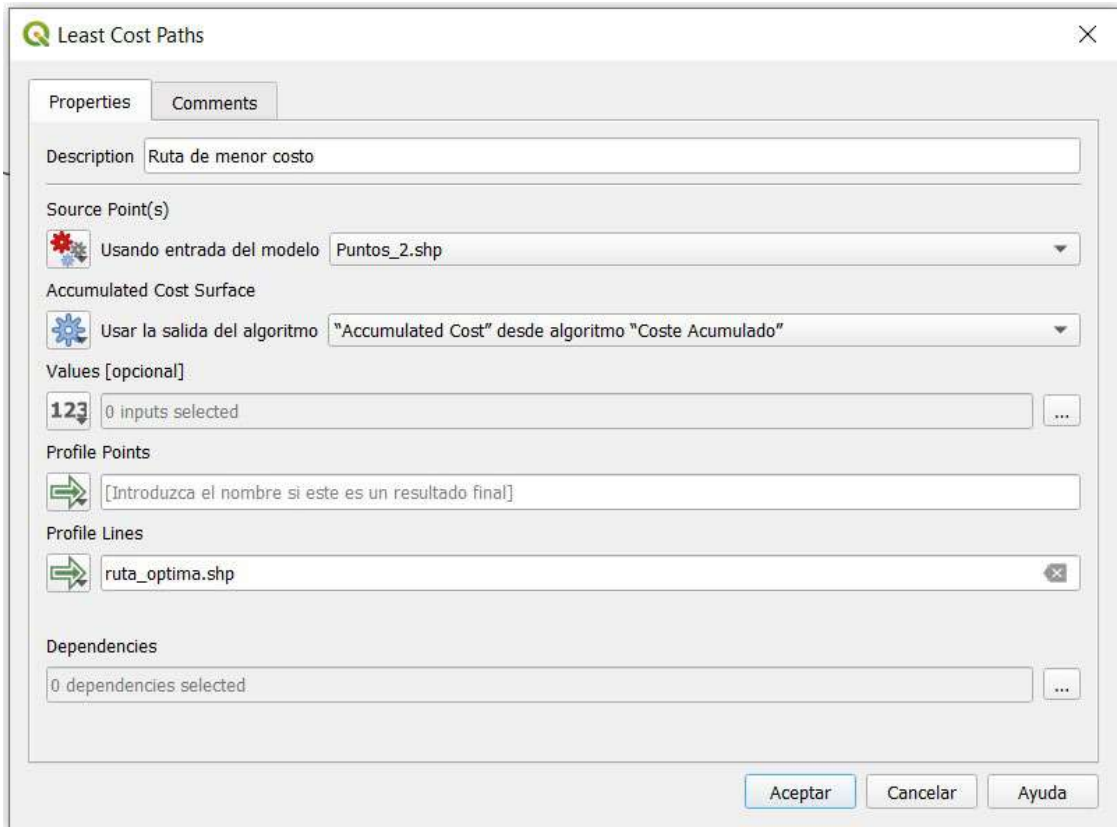


Figura 60. Configuración del algoritmo Least Cost Paths II.

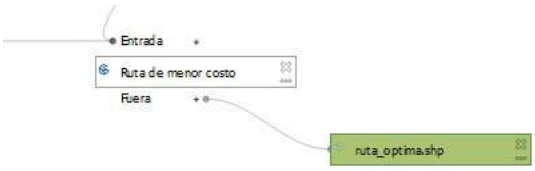


Figura 61. Modelo gráfico correspondiente al algoritmo Least Cost Paths.

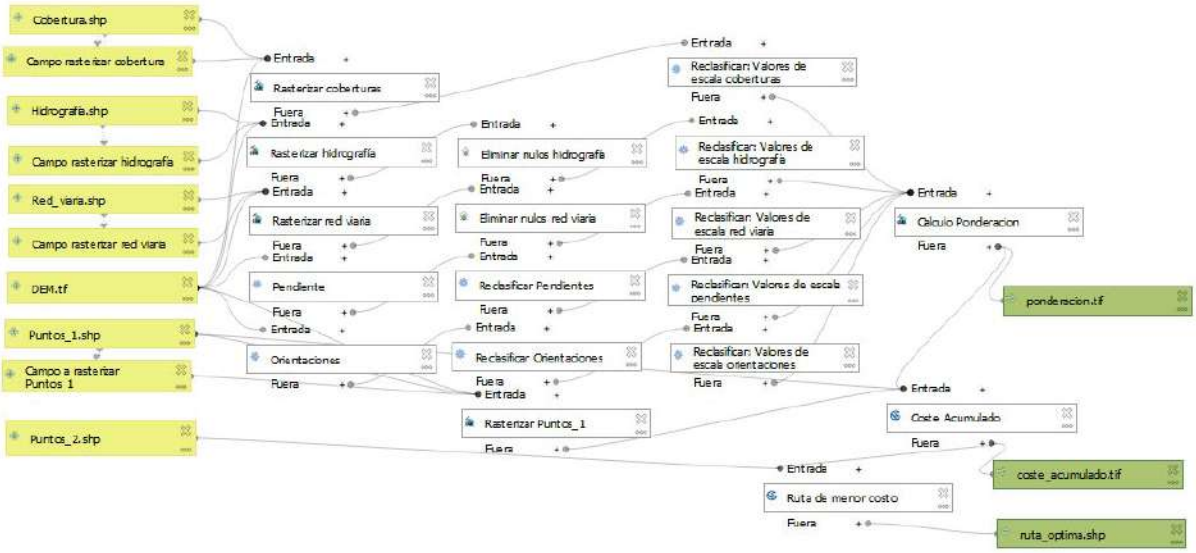


Figura 62. Diagrama de procesos final del modelo gráfico generado mediante la herramienta Model Designer de QGIS®.

3.4. Ejecución del modelo

Una vez concluido el diseño del modelo gráfico mediante Model Designer, y previo paso a su ejecución, se deberá guardar el modelo. Para ello, se seleccionará la carpeta que por defecto ofrece QGIS® (figura 63), si queremos incorporarlo a la **Caja de Herramientas de Procesos** (figura 64). También se puede guardar en una ubicación diferente para su posterior ejecución desde el explorador de archivos (figura 65).

Desde la ventana de **Model Designer** es posible ejecutar el modelo, bien pulsando el botón **Ejecutar modelo** (Triangulo verde), o mediante la tecla **F5** en la barra de herramientas superior (figura 66).

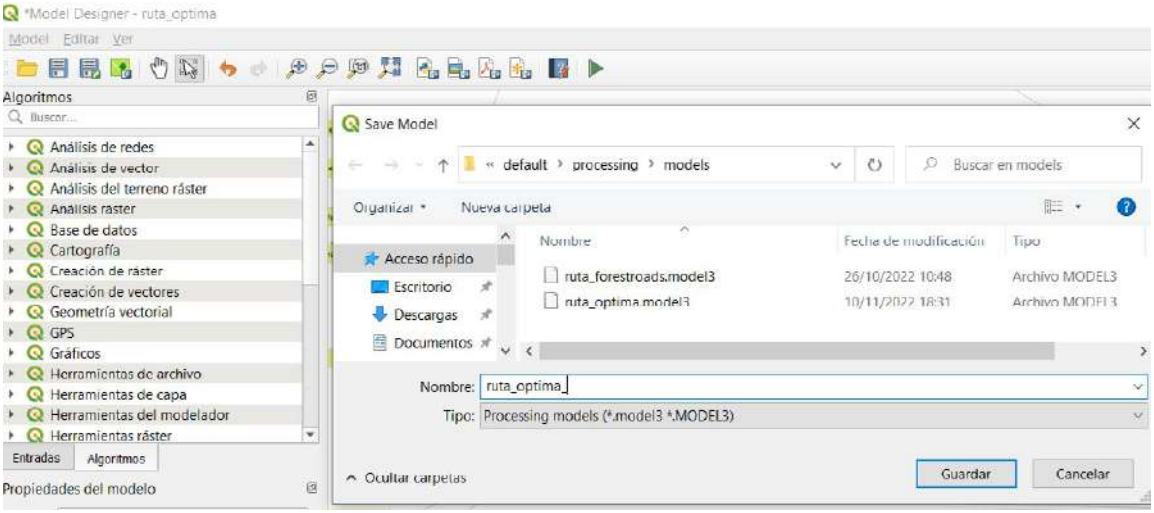


Figura 63. Guardar modelo en QGIS®.

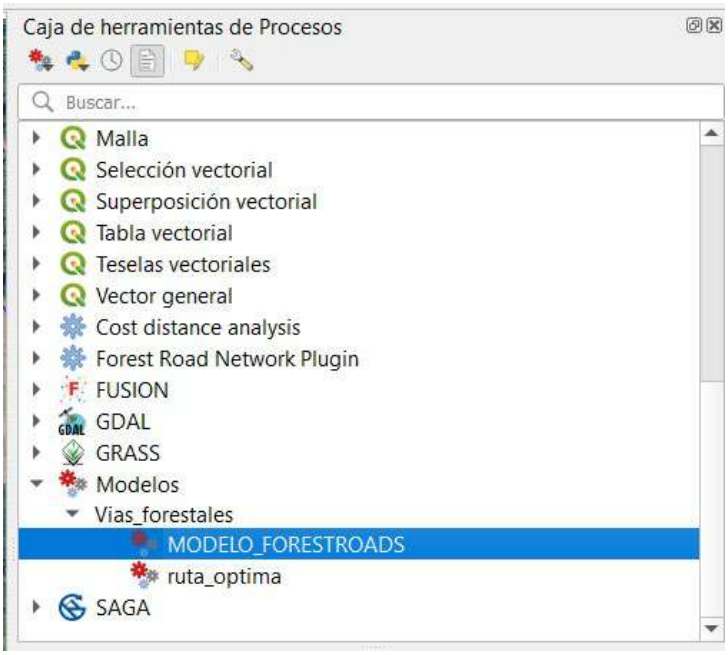


Figura 64. Visualización de la caja de herramientas de Procesos de QGIS®.

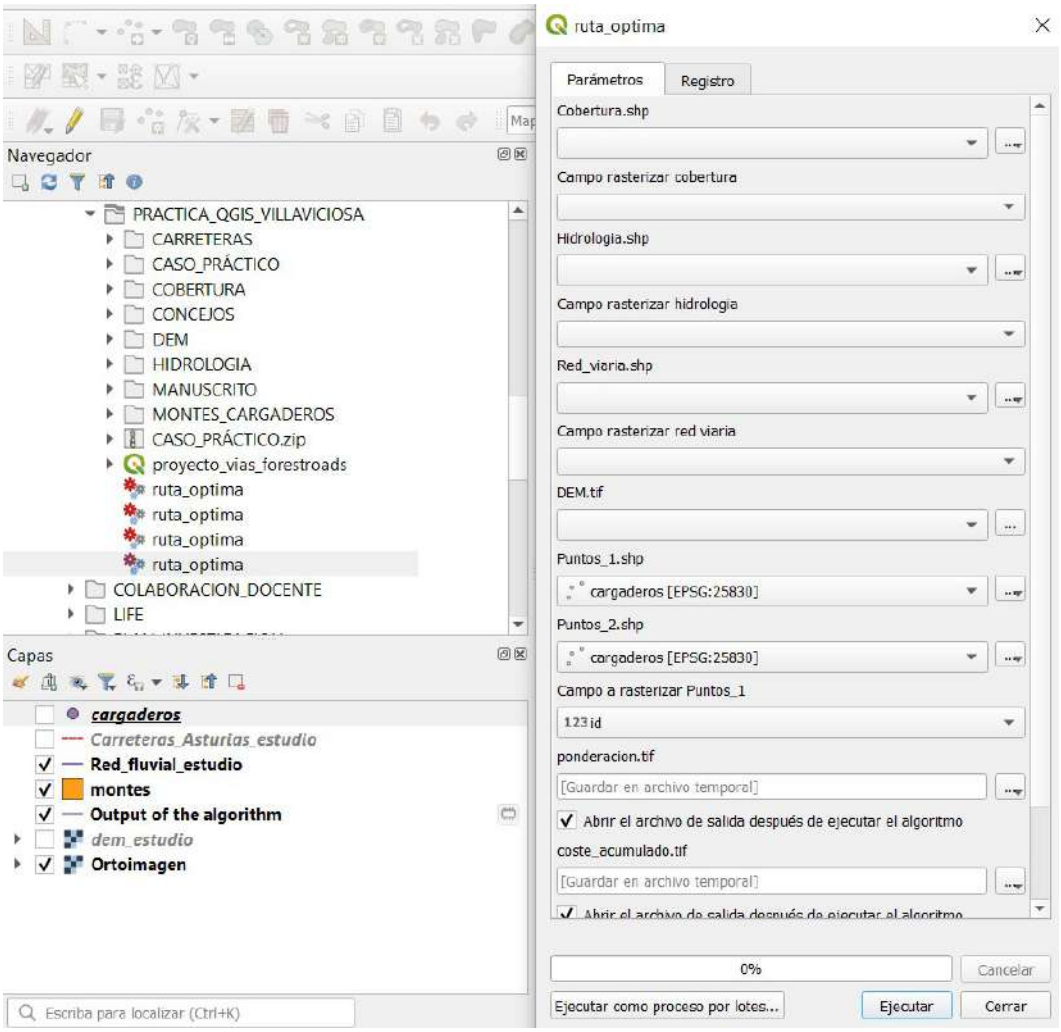


Figura 65. Configuración de la ventana de ejecución del modelo desde el Navegador de QGIS®.

Figura 66. Visualización del botón Ejecutar modelo en la barra de herramientas de Model Designer.

Finalmente, para llevar a cabo la ejecución global del modelo de optimización de vías forestales, se seleccionan las capas correspondientes a las variables de entrada y, a continuación, se definen las rutas donde se desean guardar los archivos de salida del modelo (Outputs) (figura 67).

A modo informativo, cabe destacar que el tiempo de ejecución del modelo dependerá de las características técnicas del equipo informático utilizado. Para la realización del modelo desarrollado en este caso práctico[3], se utilizó un ordenador con procesador 11th Gen Intel(R) Core(TM) i7-1165G7 @ 2.80GHz, 16 GB de memoria RAM y disco duro SSD, siendo el tiempo de cómputo requerido de unos 12 minutos.

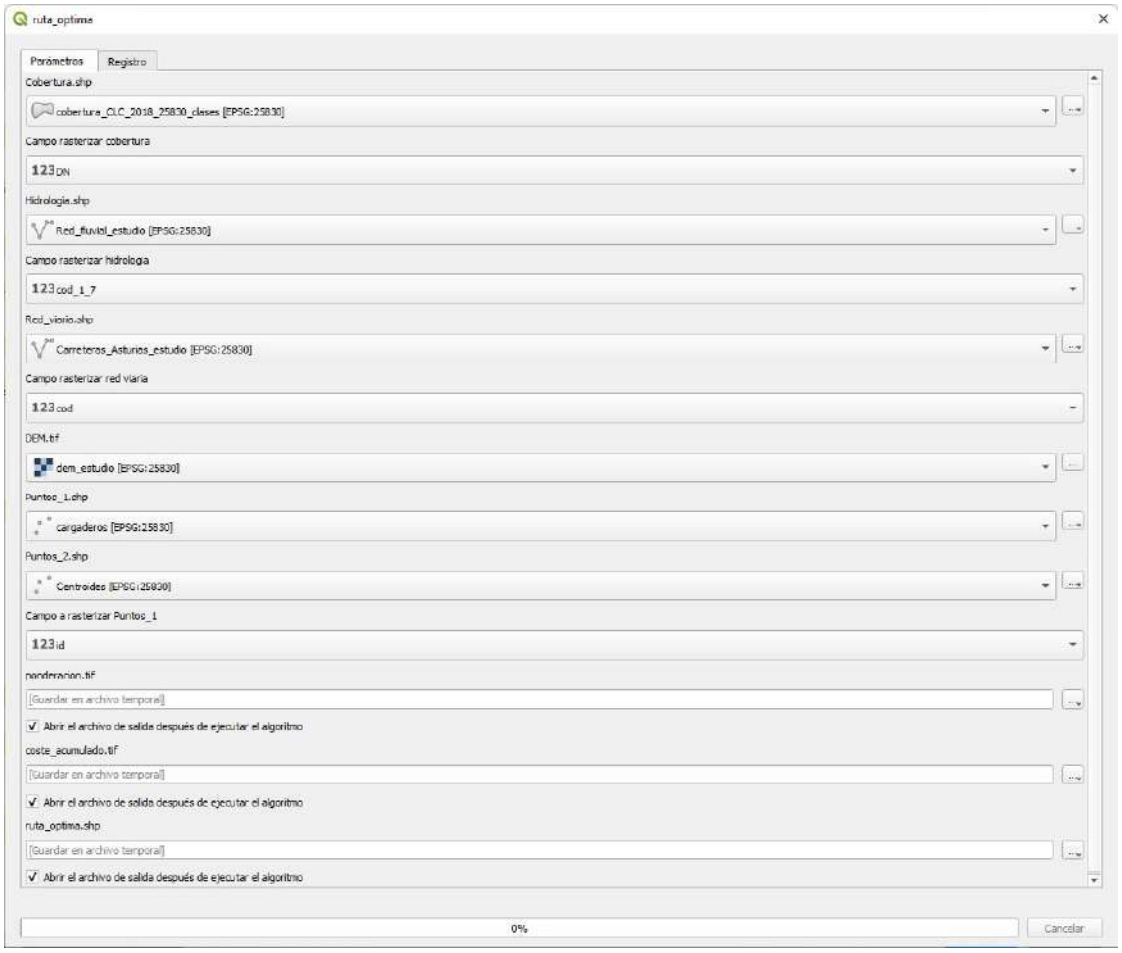


Figura 67. Configuración del modelo generado en QGIS®.

3. https://www.mediafire.com/file/1d6gagy080kpiz8/CasoPractico_OptimizacionViasForestales.zip/file

A continuación, se muestran una serie de presentaciones con los resultados derivados de la ejecución del modelo de optimización de vías forestales (figuras 68, 69, 70).

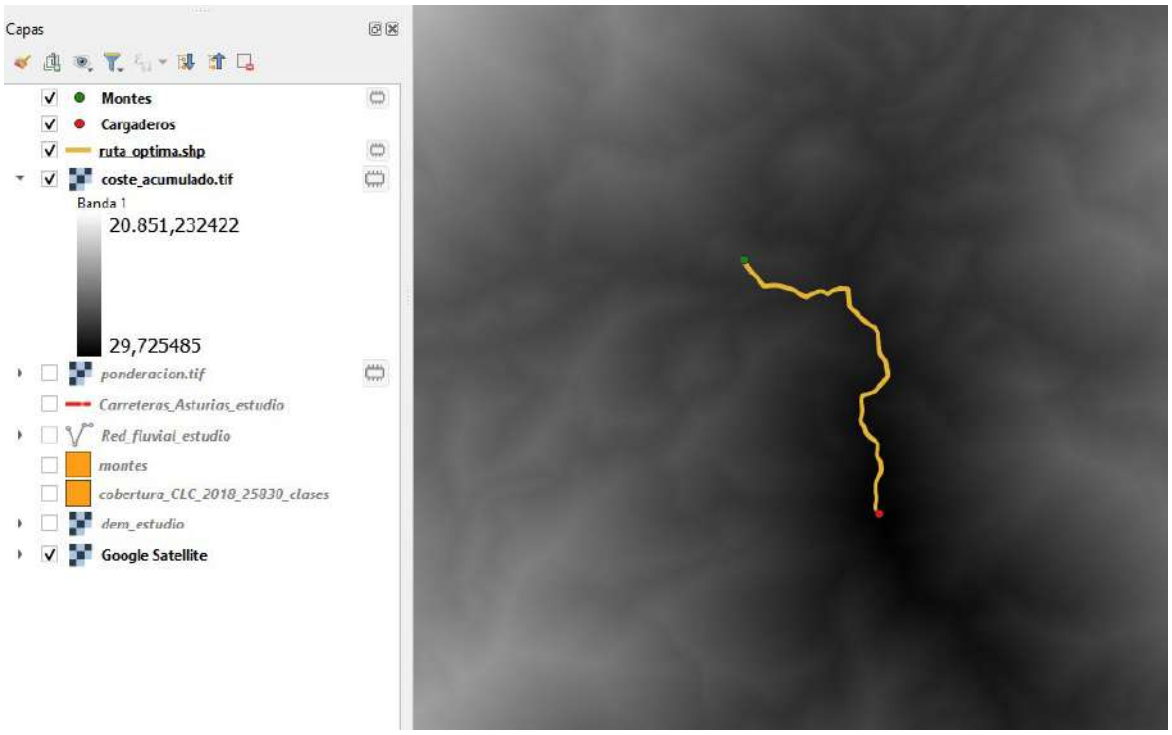


Figura 68. Presentación de resultados del modelo sobre la capa de coste de desplazamiento acumulado.

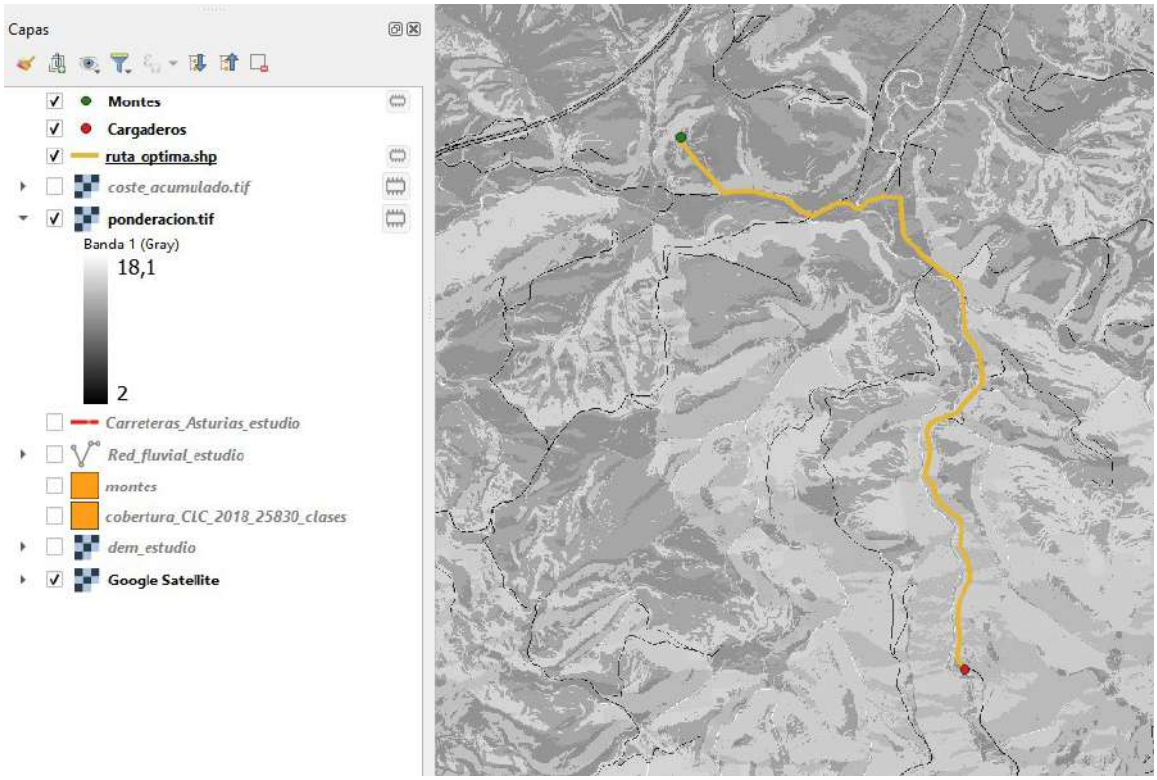


Figura 69. Presentación de resultados del modelo sobre la capa correspondiente a los coeficientes de ponderación derivados del análisis multicriterio.

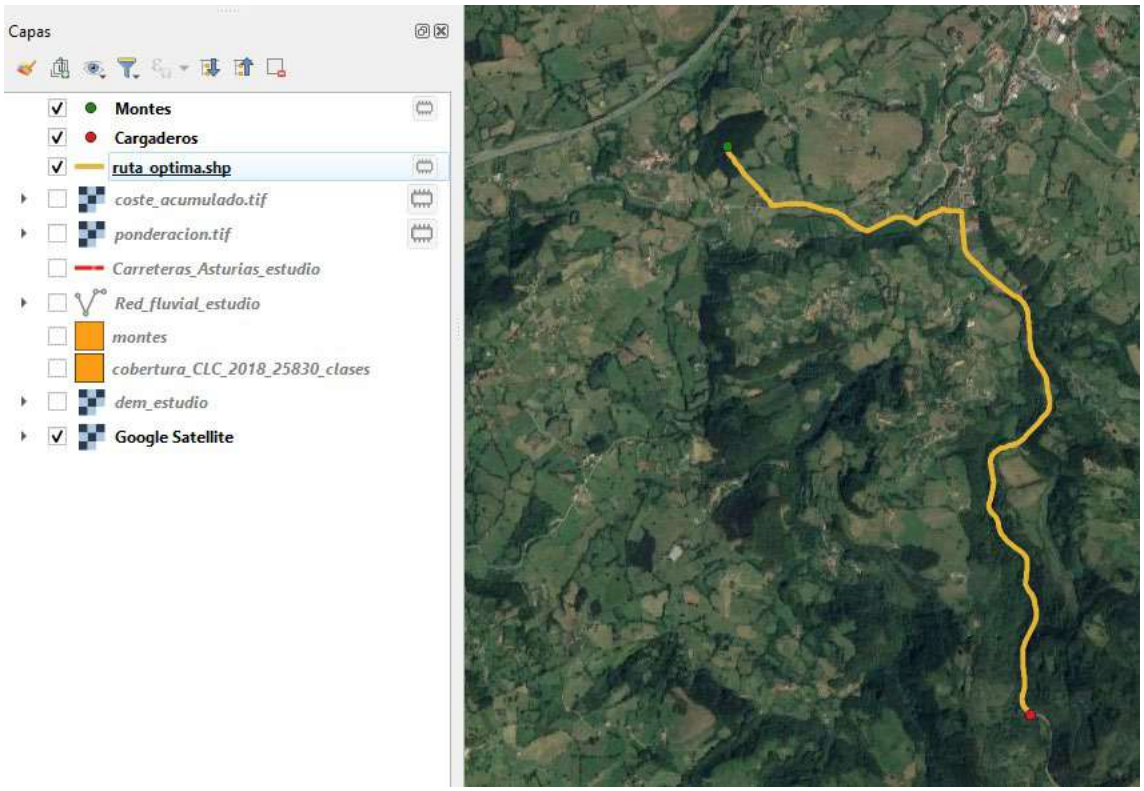


Figura 70. Presentación de resultados del modelo de trazado y optimización de vías forestales sobre imagen satélite.

Las figuras 71 y 72 muestran el detalle de la ruta óptima emplazada sobre la red viaria existente y sobre terreno agrícola y forestal.

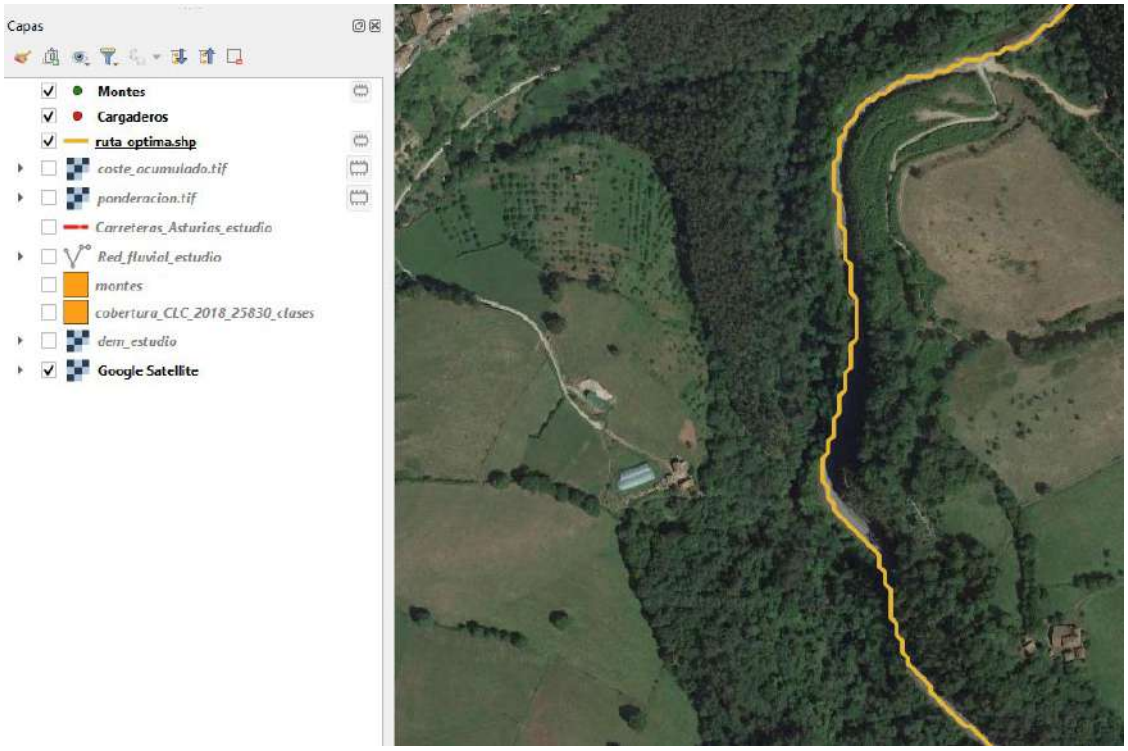


Figura 71. Detalle del trazado generado por el modelo sobre la red viaria preexistente.

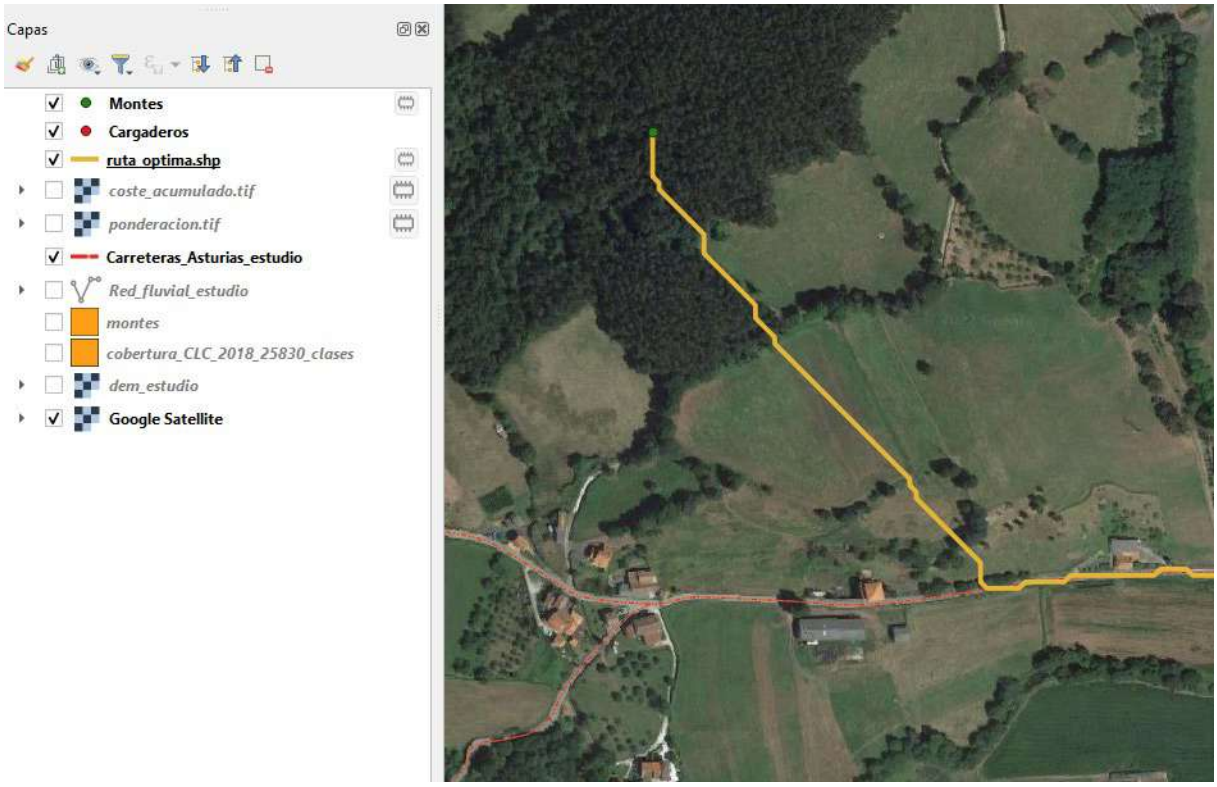


Figura 72. Detalle del trazado generado por el modelo sobre terreno forestal y agrícola.

4. Anexos

4.1. Anexo I: Exportación del modelo a lenguaje de programación Python

Puede resultar de interés conocer el conjunto de instrucciones (código) que se encuentra detrás del modelo desarrollado. Para ello, es posible exportar el modelo a lenguaje de programación Python para posteriormente poder visualizarlo o ejecutarlo desde un entorno de desarrollo integrado (IDE) en QGIS® (figuras 73 y 74) o externo (p. ej., PyCharm®).

Tal y como se observa en el script ruta_optima.py (figura 74), el modelo es creado como una clase, **Ruta_optima**, que incluye diversas funciones: **initAlgorithm()**, **processingAlgorithm()**, **name()**, **displayName()**, **group()**, **groupId()** y **createInstance()**. La función **initAlgorithm()**, recopila todos las variables de entrada para el script y crea también las variables de salida definidas en el modelo. La función **processingAlgorithm()**, almacena los parámetros y la sucesión de algoritmos de geoproceso que conforman el modelo. Las restantes funciones aportan información sobre el script.

El uso de este tipo de herramientas permite conocer en mayor detalle y dotar de un mejor aprendizaje del funcionamiento de los mecanismos de programación del modelo desarrollado.

Figura 73. Detalle de la herramienta para exportar el modelo a un script en lenguaje de programación Python.

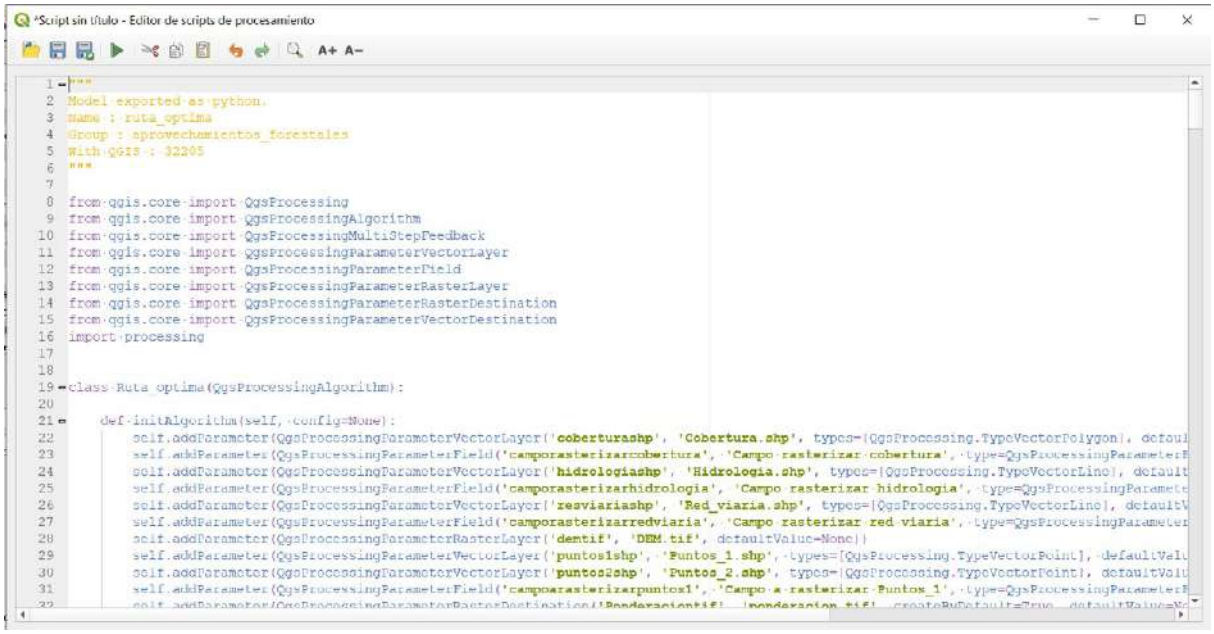


Figura 74. Exportación del modelo a lenguaje de programación Python.

Caso práctico 2. Diseño de una instalación para el desembosque con cable grúa

Nil Bacardit Tudela

1. Planteamiento del caso

El objetivo de este caso es analizar las diferentes alternativas para el diseño de una instalación de desembosque mediante cable grúa utilizando una serie de programas desarrollados por el *USDA Forest Service*:

- *SkylineXL*. Es una hoja de cálculo que se utiliza para analizar perfiles de terreno, análisis de las cargas, tensiones y alturas de líneas con diferentes configuraciones de la instalación.

- *SkylineXL GIS Profile Tool Addin*. Es una extensión desarrollada para el SIG ArcMap que permite obtener el perfil del terreno de una línea a partir del modelo digital del terreno. Sus resultados son importados a la hoja de cálculo donde se realizan los cálculos de la instalación.

Estos programas se pueden descargar en el siguiente enlace:

https://www.fs.usda.gov/detail/r6/landmanagement/resourcemanagement/?cid=fsbdev2_027048

2. Descripción de la masa y el rodal

Un ayuntamiento es propietario de un monte de utilidad pública, el cual cuenta con un Plan de Ordenación Forestal donde, entre otros aspectos, hay contempladas varias actuaciones selvícolas comerciales y no comerciales.

Un rodal del monte en el cual se han previsto trabajos selvícolas con aprovechamiento de madera comercial, cuenta con una orografía compleja (pendiente media entre el 50 y el 60% y una longitud de la ladera de unos 500-600 m, muy irregular y escabrosa, con grandes bloques de piedra). Además, esta zona está ubicada dentro de un Parque Natural, donde hay presencia de urogallo (*Tetrao urogallus*), una especie en peligro de extinción que en los últimos años ha ido en retroceso.

Debido a las anteriores circunstancias, el Plan de Ordenación Forestal no contempla la construcción de más pistas forestales de las que hay actualmente, de forma que el aprovechamiento se tiene que hacer utilizando las infraestructuras existentes. Con este escenario, teniendo en cuenta los condicionantes, se plantea el uso del cable aéreo como único método de desembosque posible (tabla 1, figura 1).

Tabla 1. Características de la masa forestal y físicas del rodal.

Características de la masa	
Especies	*Abies alba*, *Pinus unicnata* y *Pinus sylvestris*
Existencias (m^3 ha^{-1})	300
Área basimétrica (m^2 ha^{-1})	49
Altura media (m)	14
Densidad (pies ha^{-1})	1 000
Diámetro medio (cm)	25
Fracción cabida cubierta arbórea (%)	100
Características físicas del rodal	
Orientación	Noroeste (NO)
Cota mínima (m)	1 720
Cota máxima (m)	1 930
Pendiente media (%)	55
Longitud de la ladera (m)	350 – 400

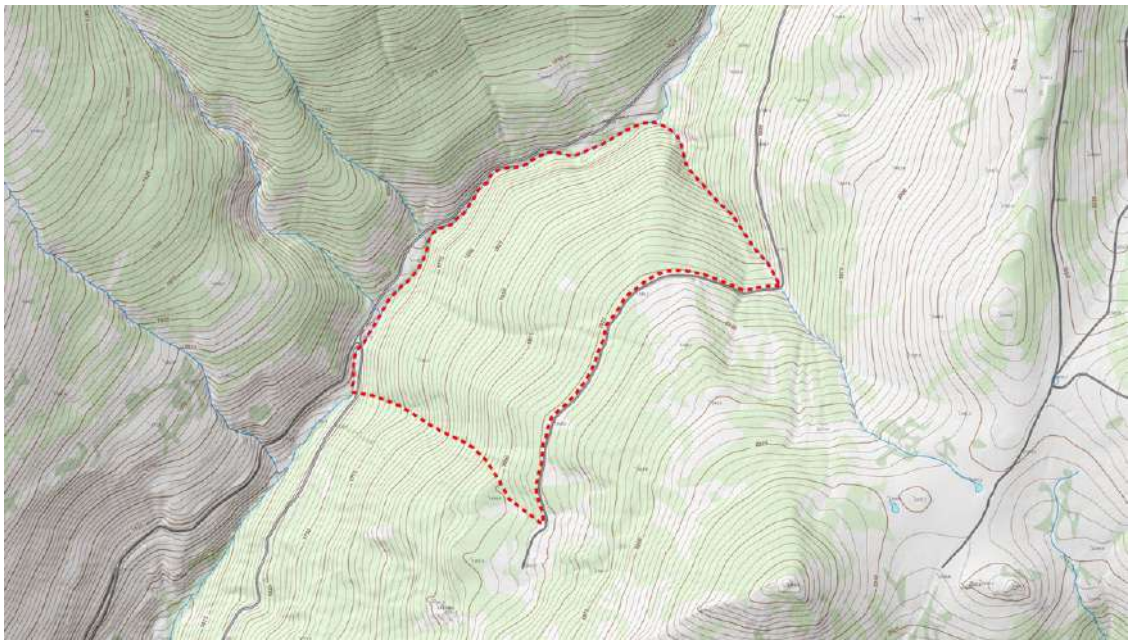


Figura 1. Localización del rodal de estudio.

Teniendo en cuenta las características del rodal antes comentadas, se hacen las siguientes consideraciones:

- Se trata de una ladera convexa donde la parte alta tiene una menor pendiente y va aumentando a medida que desciende por cota. Los perfiles longitudinales obtenidos en estos casos son de los más complejos a nivel de instalación, debido a que se requiere instalar más apoyos intermedios para mantener la altura de la línea.

- Se trata de un valle que en la parte baja es bastante cerrada, lo que nos podría permitir utilizar la vertiente opuesta para situar uno de los extremos de la línea. De esta manera se consigue dar más altura a la línea, reduciendo el número de apoyos intermedios, así como acceder a una anchura de arrastre lateral por cada línea mayor.

- La vertiente no presenta una orientación uniforme, sino que hay zonas de barranco y zonas de divisoria de aguas. Este hecho abre la posibilidad a que sea interesante la disposición de las líneas en abanico, reutilizando los emplazamientos de los extremos para varias líneas, facilitando así la logística.

- El rodal presenta acceso por la parte inferior y por la parte superior, lo que, a priori, nos permite el desembosque de la madera tanto hacia arriba como hacia abajo.

3. Elección del tipo de instalación

Para la elección del tipo de instalación de cable aéreo, en este caso, hay que tener en cuenta varios aspectos:

- En primer lugar hay que prestar atención a la longitud de las líneas. Se trata de líneas de entre 400 y 550 m, por lo tanto, son líneas cortas-medianas donde influye mucho en la rentabilidad de los trabajos el tiempo de montaje y desmontaje de las líneas.

- Otro aspecto a tener en cuenta es la dimensión de la carga a transportar. Teniendo en cuenta las características del arbolado que incluye el rodal, podemos concluir que las dimensiones no serán excesivamente elevadas.

- También hay que valorar la accesibilidad a los puntos de inicio y/o final de línea. En este caso, y teniendo en cuenta el interés que hemos observado al localizar el anclaje inferior de las líneas en la vertiente opuesta, donde no hay acceso rodado, hay que valorar positivamente el acceso rodado por la parte superior de la línea.

Por estos motivos, el tipo de instalación que puede ser más idónea es el de una estación motriz móvil bicable de dimensión mediana. Este tipo de instalaciones ofrecen ya un apoyo de final de línea, así como la posibilidad de regular la tensión del cable portador de manera ágil. Estos aspectos son muy favorables por el tipo de explotación de este caso, puesto que mejoran la rentabilidad de los trabajos y se adaptan al tipo de carga que se tiene que transportar.

La localización de la estación motriz será siempre en la parte superior, puesto que es donde hay acceso rodado. El sentido del desembosque será mayoritariamente ascendente, teniendo en cuenta que en la mitad superior de la línea, donde debido a la convexidad de la vertiente la altura será inferior, se prevé el transporte semisuspendido, para evitar el péndulo de la carga que podría darse en caso contrario. Asimismo, en la mitad inferior de la línea donde el transporte se podría hacer suspendido, se contempla la posibilidad que el sentido sea descendente, siempre que haya posibilidad de establecer zonas de descarga y cargaderos, así como, siempre que sea compatible ambientalmente teniendo en cuenta la proximidad con el curso fluvial.

El esquema que corresponde a la instalación sería el de la figura 2.

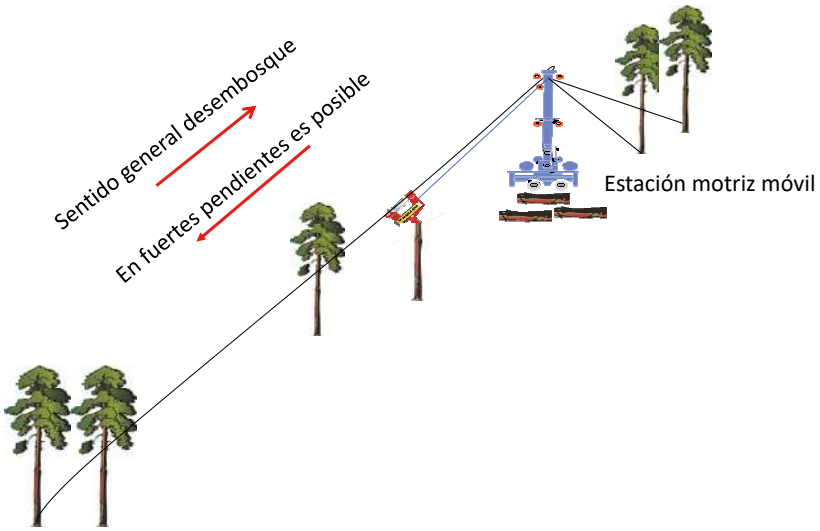


Figura 2. Instalación bicable con estación motriz móvil ubicada en la parte superior de la ladera.

La instalación de la que se dispone en la zona para el desembosque con cable aéreo que cumpla con los requisitos expuestos anteriormente, tiene las características técnicas resumidas de la tabla 2.

Tabla 2. Características técnicas de la instalación.

Características de la estación motriz	
Tipo de instalación	**Estación motriz móvil sobre remolque con motor propio**
Altura de la torre (m)	13
Potencia (kW)	177
Número de cables	Tricable + cable de montaje
Cable portador	
Diámetro (mm)	22,3
Longitud (m)	1 000
Peso (kg/m)	2,78
Tensión de rotura (kg)	35 910

Características de la estación motriz	
Tipo de instalación	**Estación motriz móvil sobre remolque con motor propio**
Cable tractor	
Diámetro (mm)	12,7
Longitud (m)	1.100
Peso (kg m^{-1})	0,91
Tensión de diseño (kg)	4 808
Cable de retorno	
Diámetro (mm)	11,1
Longitud (m)	2 000
Peso (kg m^{-1})	0,63
Tensión de diseño (kg)	3 674
Cable de montaje	
Diámetro (mm)	5
Longitud (m)	2 000
Características del carro	
Tipo	Automático para todo tipo de terreno (tricable)
Peso (kg)	245
Velocidad máxima (m s^{-1})	14
Carga máxima (kg)	2 500
Cable auxiliar de elevación	No. Se utiliza el cable tractor
Cable portador	
Diámetro mínimo (mm)	20
Diámetro máximo (mm)	28
Cable tractor	
Diámetro mínimo (mm)	8
Diámetro máximo (mm)	13
Cable de retorno	
Diámetro (mm)	11,1
Longitud (m)	2 000

4. Determinación del sistema de distribución de las líneas de desembosque

Hay que determinar qué sistema de distribución de las líneas nos puede interesar más en cada caso concreto teniendo en cuenta las observaciones anteriores y explorando las diferentes posibilidades sobre el plano. Esta tarea se facilita con un Sistema de Información Geográfica (SIG). A continuación, se analizan tres sistemas de distribución de las líneas: i) paralelas en máxima pendiente, ii) paralelas transversales a la vertiente, iii) en abanico o radiales (figuras 3,4 y 5).

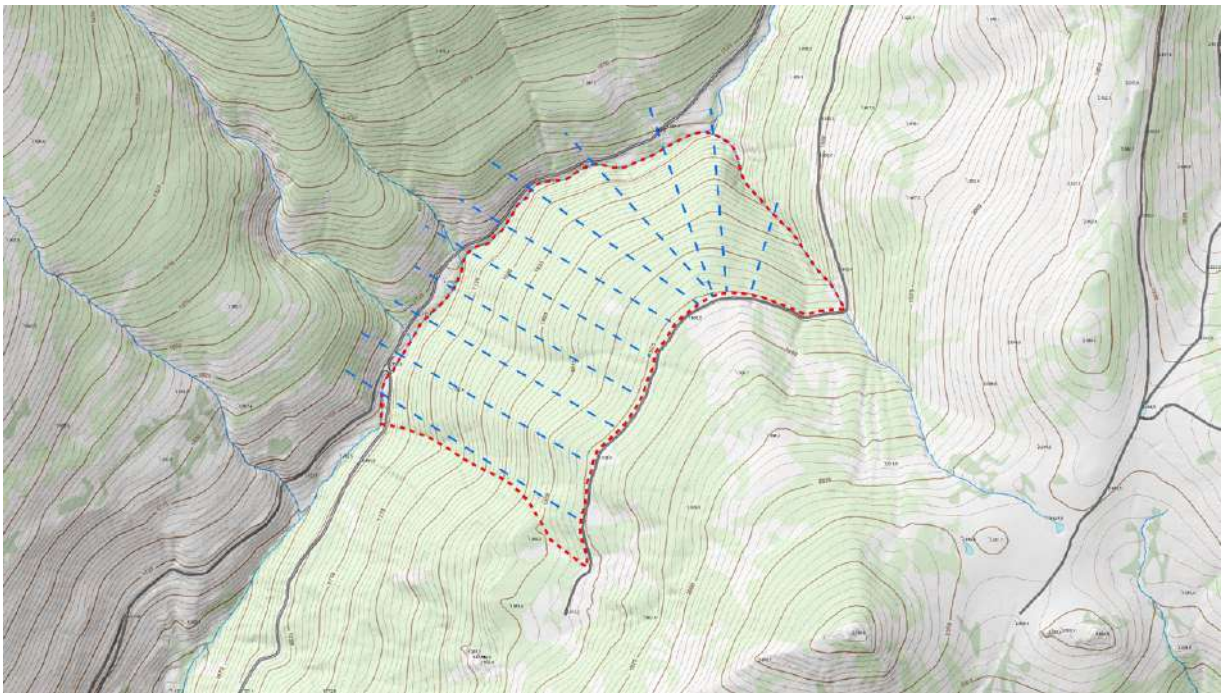


Figura 3. Líneas de desembosque paralelas siguiendo la línea de máxima pendiente.

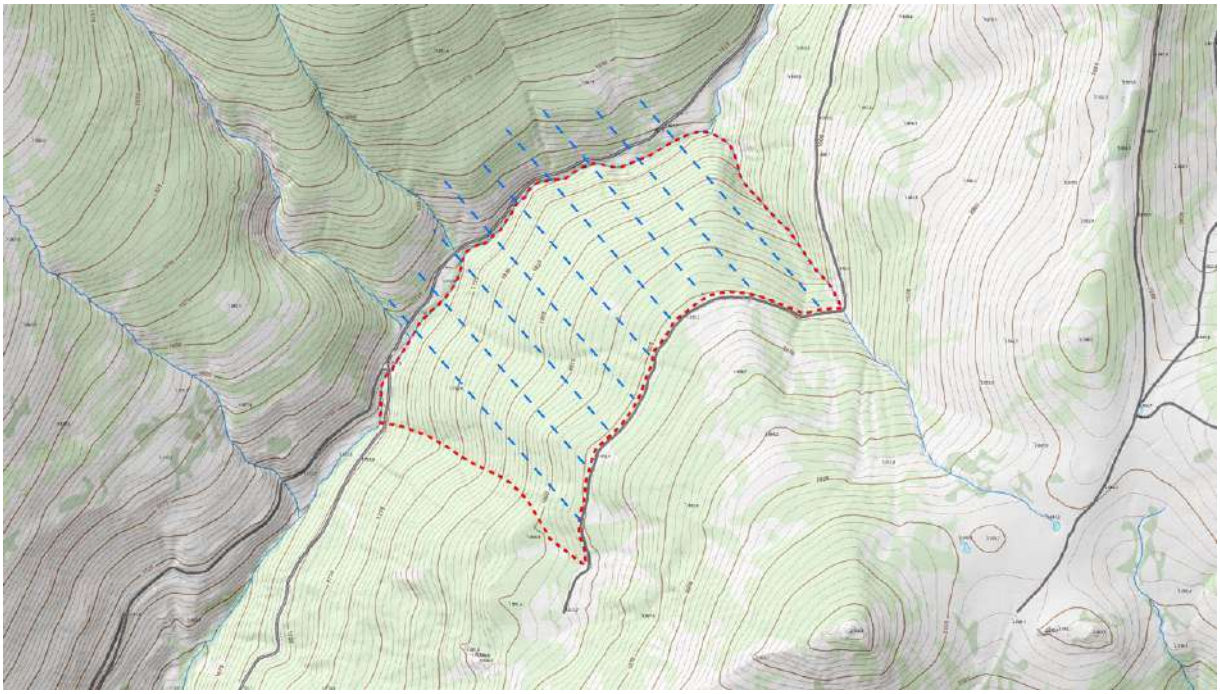


Figura 4. Líneas de desembosque paralelas transversales a las líneas de máxima pendiente.

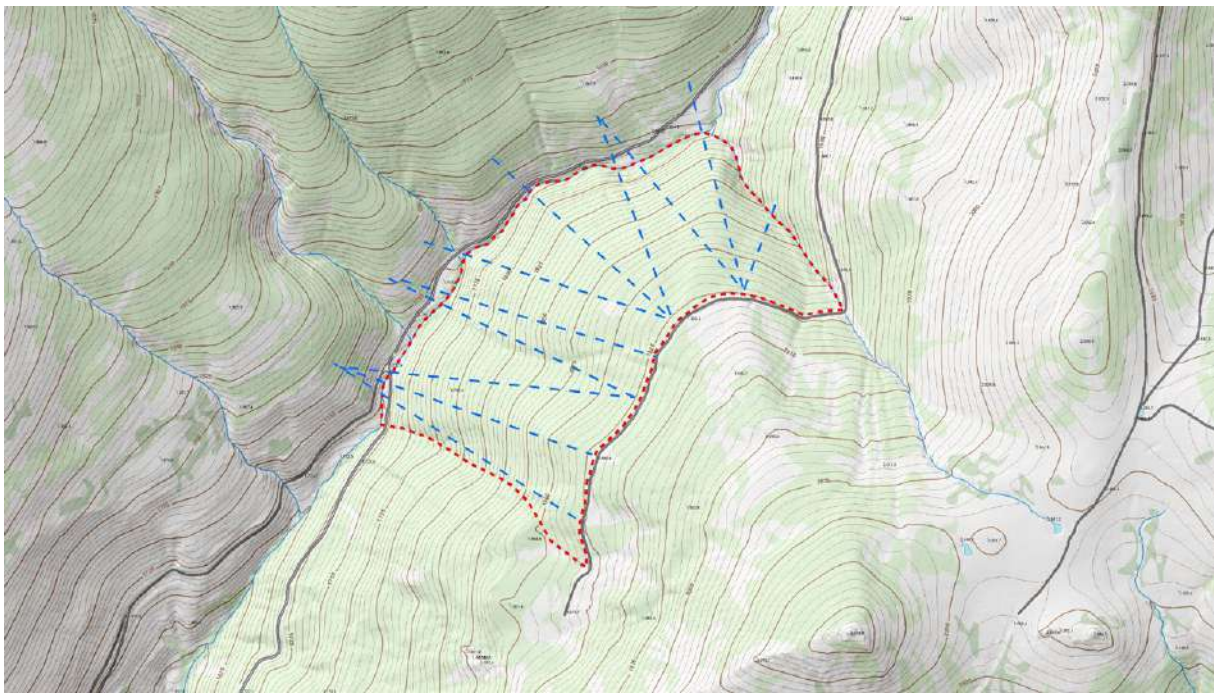


Figura 5. Líneas de desembosque en abanico.

Tabla 3. Ventajas e inconvenientes de las diferentes alternativas de las líneas de desembosque mediante cable aéreo

Distribución	Ventajas	Inconvenientes
Líneas paralelas en máxima pendiente	Explotación uniforme de toda la ladera	En cada línea hay que desplazar la estación motriz. Hacen falta más zonas de descarga y anclajes. La superficie de arrastre lateral es menor a las transversales.
Líneas paralelas transversales	Se aumenta la superficie de arrastre lateral. Explotación uniforme de toda la ladera.	Mayores daños en el arrastre a través de la línea en caso de cargas semisuspendidas debido al desplazamiento lateral por gravedad. Hacen falta más zonas de descarga y anclajes. En cada línea se debe trasladar la estación motriz.
Líneas en abanico	Facilita el montaje y desmontaje entre líneas. Facilita la logística al requerir menos zonas de descarga y menos puntos de anclaje. Combina tanto líneas en máxima pendiente como transversales.	Explotación heterogénea de la ladera ya que quedan zonas más alejadas de las líneas donde puede ser difícil llegar. Combina tanto líneas en máxima pendiente como transversales.

La superficie de arrastre lateral aumenta en el caso de líneas transversales a la pendiente debido a que el arrastre de los troncos hasta la línea se hace en máxima pendiente. Esto permite facilitar la tarea y abarcar una mayor distancia de arrastre. En cambio, para aproximar los troncos debajo de una línea que va en máxima pendiente, el arrastre lateral se hace en forma de espina de pez, que no permite llegar tan lejos y esto se traduce en la necesidad de situar las líneas más juntas (figura 6).

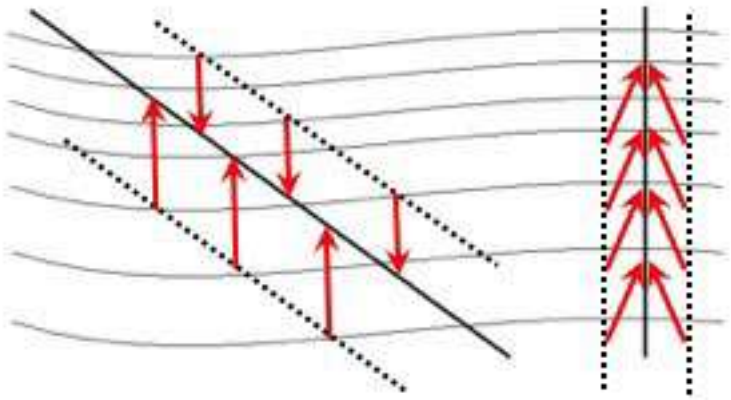


Figura 6. Superficie abarcada en el arrastre lateral según la línea de desembosque sea perpendicular o no a las curvas de nivel (Fuente: E. Marchi).

5. Elaboración de los perfiles longitudinales y localización de los soportes intermedios

Para realizar una primera evaluación desde gabinete del trazado de las líneas, se utilizará la extensión *SkylineXL GIS Profile Tool Addin*, que permite elaborar el perfil del terreno, con datos provenientes de una capa de línea y un modelo digital de elevaciones del terreno. Posteriormente, se utilizará la hoja de cálculo *SkylineXL*, que se utiliza para analizar perfiles de terreno, análisis de carga, tensiones y alturas de líneas con diferentes configuraciones.

Utilizando estas herramientas, se analizará la primera línea de las propuestas anteriormente, para prever las dificultades o limitaciones de dichos trazados.

- **Caso 1. Se levanta el perfil longitudinal del trazado que corresponde a la línea enmarcada en el recuadro negro de la figura 7.**

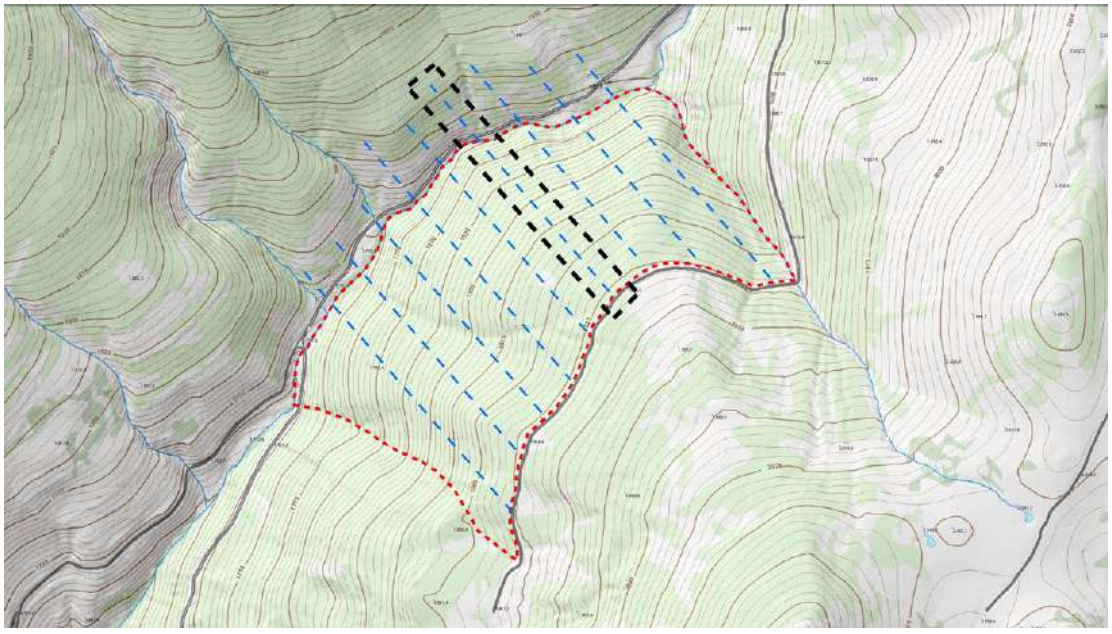


Figura 7. Línea, enmarcada en negro, para la cual se levanta su perfil longitudinal.

Utilizando la extensión *SkylineXL GIS Profile Tool Addin* se obtiene los datos del perfil, que se importa a la hoja de cálculo *SkylineXL* y se obtienen los siguientes datos y el siguiente perfil longitudinal (tabla 4, figura 8).

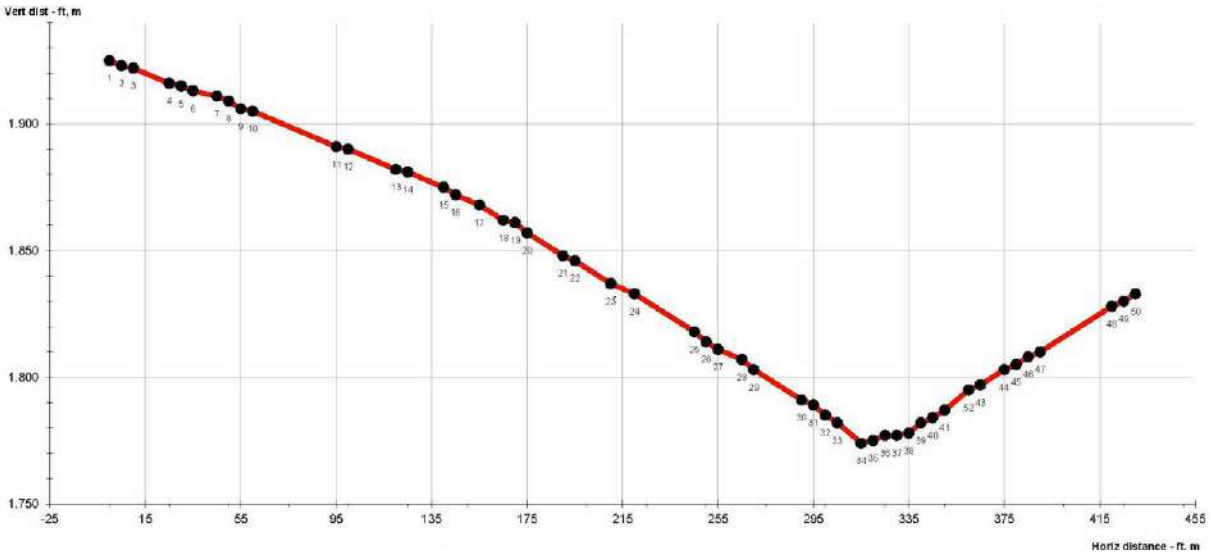


Figura 8. Perfil longitudinal de la línea enmarcada en la figura 7. En abscisas, la distancia horizontal (m) y en ordenadas, la distancia vertical (m).

Tabla 4. Datos del perfil del terreno obtenidos mediante SkylineXL GIS Profile Tool Addin

Punto del terreno	Pendiente distancia (m)	Pendiente (%)	Distancia horizontal (m)	Cota (m)	Punto del terreno	Pendiente distancia (m)	Pendiente (%)	Distancia horizontal (m)	Cota (m)
1			0	1925	26			250	1814
	5,4	-40%				5,8	-60%		
2			5	1923	27			255	1811
	5,1	-20%				10,8	-40%		
3			10	1922	28			265	1807
	16,2	-40%				6,4	-80%		
4			25	1916	29			270	1803
	5,1	-20%				23,3	-60%		
5			30	1915	30			290	1791
	5,4	-40%				5,4	-40%		
6			35	1913	31			295	1789
	10,2	-20%				6,4	-80%		
7			45	1911	32			300	1785
	5,4	-40%				5,8	-60%		
8			50	1909	33			305	1782
	5,8	-60%				12,8	-80%		
9			55	1906	34			315	1774

Punto del terreno	Pendiente distancia (m)	Pendiente (%)	Distancia horizontal (m)	Cota (m)	Punto del terreno	Pendiente distancia (m)	Pendiente (%)	Distancia horizontal (m)	Cota (m)
	5,1	-20%				5,1	20%		
10			60	1905	35			320	1775
	37,7	-40%				5,4	40%		
11			95	1891	36			325	1777
	5,1	-20%				5,0	0%		
12			100	1890	37			330	1777
	21,5	-40%				5,1	20%		
13			120	1882	38			335	1778
	5,1	-20%				6,4	80%		
14			125	1881	39			340	1782
	16,2	-40%				5,4	40%		
15			140	1875	40			345	1784
	5,8	-60%				5,8	60%		
16			145	1872	41			350	1787
	10,8	-40%				12,8	80%		
17			155	1868	42			360	1795
	11,7	-60%				5,4	40%		
18			165	1862	43			365	1797
	5,1	-20%				11,7	60%		
19			170	1861	44			375	1803
	6,4	-80%				5,4	40%		
20			175	1857	45			380	1805
	17,5	-60%				5,8	60%		
21			190	1848	46			385	1808
	5,4	-40%				5,4	40%		
22			195	1846	47			390	1810
	17,5	-60%				35,0	60%		
23			210	1837	48			420	1828
	10,8	-40%				5,4	40%		
24			220	1833	49			425	1830
	29,2	-60%				5,8	60%		
25			245	1818	50			430	1833
	6,4	-80%							

Con el trazado del perfil longitudinal, se puede comprobar la convexidad de la vertiente y se puede prever si habrá que situar uno o más apoyos intermedios para mantener la altura de la línea. También se observa como en la parte baja de la vertiente el valle es bastante cerrado, lo cual permite la posibilidad de situar el final de línea en la vertiente opuesta para separar la línea del terreno y facilitar el montaje, desmontaje y los trabajos de desembosque. Estableciendo los

soportes inicial y final de línea y la altura de la torre de la estación motriz se puede trazar la línea ideal sin tener en cuenta el efecto de la carga (figura 9).

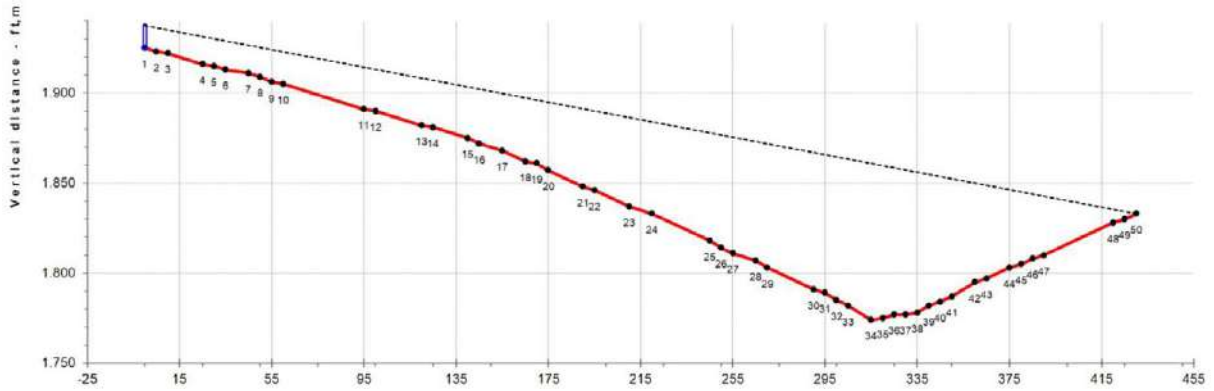


Figura 9. Perfil del terreno (en rojo) y cuerda de la línea sin carga (en puntos), una vez establecidos los soportes inicial y final de la instalación. En abscisas, la distancia horizontal (m) y en ordenadas, la distancia vertical (m).

Una vez establecido el punto inicial y final de la línea y su altura, se puede trazar la línea ideal sin tener en cuenta el efecto de la carga, tanto del propio cable como del carro. Esta línea ayuda a valorar la necesidad de establecer soportes intermedios para mantener la altura de la instalación cuando se ponga en carga. En el punto donde la línea puede tener menor altura y donde está situado el cambio de pendiente más evidente corresponde al punto 7 del perfil. Con solo un soporte intermedio en este punto, obtendríamos un perfil con dos tramos, donde el tramo largo tiene una longitud mayor a 2/3 de la longitud de la línea (figura 10).

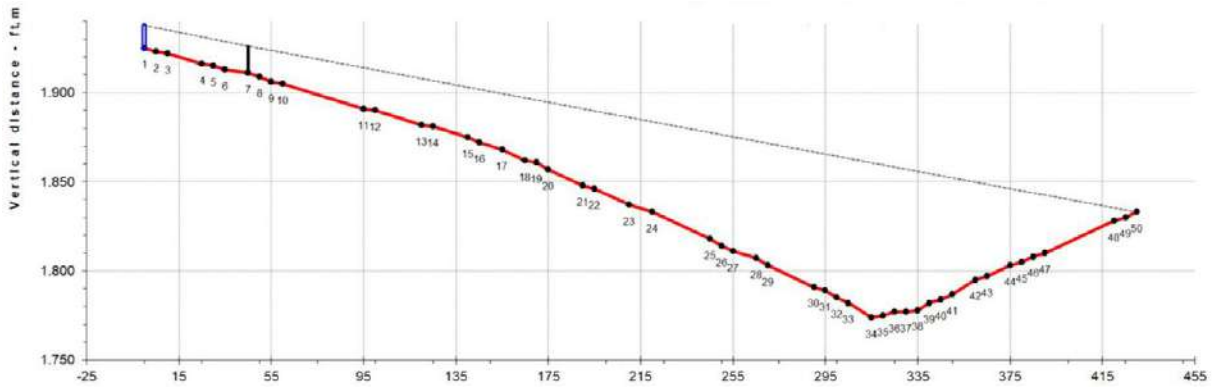


Figura 10. Perfil del terreno (en rojo) y cuerda de la línea sin carga (en puntos), una vez establecidos los soportes inicial y final de la instalación y un soporte intermedio en el punto número 7 del perfil. En abscisas, la distancia horizontal (m) y en ordenadas, la distancia vertical (m).

6. Dimensionado de la línea

A continuación, se exponen dos metodologías para el dimensionado de una línea de cable grúa:

- **Metodología 1** (ver capítulo 9, epígrafe 6.5). Se puede calcular alguno de los parámetros por el dimensionado de una línea de cable aéreo de manera ágil basándose con las fórmulas y valores descritos por Fabiano y Marchi (2003). Con esta metodología se obtienen unos valores simplificados para planificar la instalación, como son la tensión máxima, la tensión de montaje, la carga máxima que podemos aplicar a la línea, así como la flecha de la línea en el punto medio de cada tramo. Los cálculos en los que influye la geometría de la línea son más laboriosos y difíciles de calcular, como son los esfuerzos sobre los apoyos intermedios y su ángulo.

  - Elección del coeficiente de seguridad y de la tensión máxima. Teniendo en cuenta que el tipo de instalación es una estación motriz móvil con el cable vivo, se establece un factor de seguridad de 2,5. Por lo tanto,

$$_{ax} = \frac{CR}{S} = \frac{35\,910}{2{,}5} = 14\,364 \text{ kg}$$

  - Elección de la tensión de montaje. Teniendo en cuenta la tensión máxima y el hecho de que la línea estará distribuida en 2 tramos donde uno de ellos representa más de 2/3 de la línea, se establece que la tensión de montaje será entre un 60-67% de la tensión máxima. Por tanto,

$$\mathrm{T_{montaje}} = \mathrm{T_{max}} \times 0{,}66 = \ 14.364 \times 0{,}66 = \ 9\ \ 480 \text{ kg}$$

  - Elección del factor de carga. Se puede estimar la carga que podemos aplicar a la instalación teniendo en cuenta la tensión máxima y el hecho de que la línea estará distribuida en 2 tramos donde uno de ellos representa más de 2/3 de la línea. Conociendo la segunda condición, se establece que el factor de carga corresponde a 0,125.

$$\mathrm{P} = \mathrm{T_{max}} \times 0{,}125 = \ 14\,364 \ \times 0{,}125 = \ 1\,796 \text{ kg}$$

    La carga máxima calculada incluye el peso del carro con el que trabaja la instalación. Por eso, un carro más pesado y ágil, como puede ser un motorizado, implica una menor carga en cada viaje.

  - Flecha del cable portador en el medio sin carga (f_{des}). Teniendo en cuenta el perfil longitudinal de la línea y la distribución de los apoyos intermedios, podemos estimar cuál será la flecha del cable portador en el punto medio de un tramo entre apoyos, conociendo mejor su trayectoria. En este caso, calcularemos la flecha en el tramo más conflictivo, que sería lo más largo. Previamente, debemos calcular la cuerda geométrica del tramo que analizamos, la cual obtenemos aplicando el teorema de Pitágoras, del cual conocemos los dos lados (distancia y desnivel) y obtendremos la hipotenusa (cuerda geométrica del tramo). De la tabla 4, se obtiene que entre los puntos 7 y 50 hay un desnivel de 78 m y una distancia de 385 m. La cuerda geométrica será, por tanto, de 393 m. Para calcular la flecha descargada aplicamos el siguiente cálculo:

$$f_{des} = \frac{p \times c^2}{8 \times T_{montaje}} = \frac{2{,}78 \times 393^2}{8 \times 9\,480} = 3{,}8 \text{ m}$$

- Flecha complementaria del cable portador debido a la carga (a). Para el mismo tramo se calcula la flecha como consecuencia de aplicar la carga máxima.

$$a = \frac{P \times c}{4 \times T_{max}} = \frac{1\,796 \times 393}{4 \times 14\,364} = 12{,}3 \text{ m}$$

- Flecha en el medio del cable portador con la carga máxima (f_{car}). Se obtiene mediante la suma de la flecha del cable portador descargado y la flecha complementaria del cable debido a la carga.

$$f_{car} = f_{des} + a = 3{,}8 + 12{,}3 = 16{,}1 \text{ m}$$

- **Metodología 2.** Utilizando el programa *SkylineXL* podemos obtener resultados más detallados para cada punto del terreno y para cada soporte intermedio, además de otros parámetros que nos pueden ser útiles, como la longitud de cable necesaria teniendo en cuenta la flecha. Una vez elaborado el perfil longitudinal de la línea, introducimos las características de la estación motriz y del carro a utilizar. El programa tiene por defecto distintos modelos de estación motriz y de carros que podemos utilizar si se adaptan a nuestro caso en particular, o bien, hay la opción de introducir las características de nuestra instalación, descritas en la tabla 2. Posteriormente, se deben introducir los parámetros para el análisis, que son los de la tabla 5.

Tabla 5. Parámetros de entrada para el análisis mediante el programa Skyline.

Tipo de análisis	Distintos tramos (incluye soportes intermedios)
Punto del perfil donde se localiza la estación motriz	1
Punto del perfil donde se localiza el final de línea	50
Altura del final de línea (m)	0
Punto del perfil donde se localiza el soporte intermedio	7
Altura del soporte intermedio (m)	13
Puntos del terreno entre los que se desea realizar el análisis	2 - 47
Tipo de transporte de la carga	Suspendida
Distancia mínima del terreno (m)	0,3
Geometría de la carga	
Longitud de la carga (m)	5
Diámetro de la carga (m)	0,5
Distancia entre el carro y la carga (m)	2

Una vez introducidos los parámetros de análisis podemos ejecutar el modelo para obtener los resultados y evaluar si son los idóneos para nuestra instalación, o bien, tendremos que modificar algunos parámetros. Ofrece una visualización de la trayectoria de la línea teniendo en cuenta el efecto de la carga en cada punto (figura 11). Los resultados que obtendremos se resumen en la tabla 6.

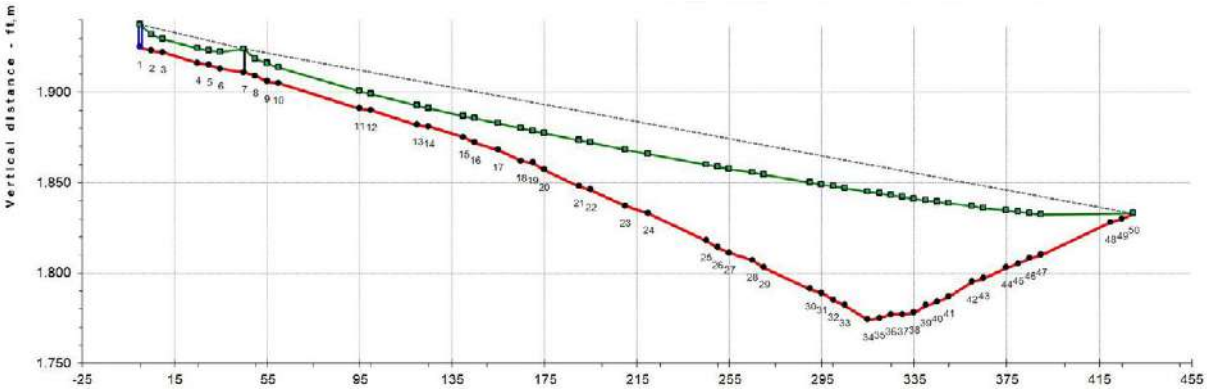


Figura 11. Perfil del terreno (en rojo), cuerda de la línea sin carga (en puntos) y cuerda de la línea con carga (en verde), una vez ejecutado el análisis. En abscisas, la distancia horizontal (m) y en ordenadas, la distancia vertical (m).

Tabla 6. Resultados del análisis mediante el programa Skyline

Carga mínima (kg)	1 622
Aplicada en el punto del terreno	26
Longitud de cable requerida y si se dispone de suficiente según las características de la estación motriz:	
Cable portador (m)	520
Cable tractor (m)	470
Cable de retorno (m)	No se requiere
Pendiente por tramos:	
Tramo 1 (%)	30
Tramo 2 (%)	23,6
En una tabla detallado por cada punto del terreno obtendremos los siguientes resultados	Carga útil neta para una línea tensada al máximo de la tensión de diseño (kg)
	Carga útil neta que puede ser transportada desde este punto hasta la estación motriz (kg)
	Tensión del cable portador (kg)
	Tensión del cable tractor (kg)
	Tensión del cable de retorno (kg)
	Altura del cable portador (m)
	Tipo de transporte de la carga o distancia entre el anclaje de la carga y el suelo en transporte semisuspendido (m)
	Distancia entre la carga y el terreno(m)

Además de los anteriores resultados, la herramienta nos ofrece los esfuerzos en cada soporte intermedio así como los ángulos detallados según en qué punto del terreno se encuentra la carga (tabla 7).

Tabla 7. Resultados en los soportes intermedios.

En una tabla se detalla cuando la carga se encuentra a 1 m de cada soporte intermedio:	
Distancia vertical entre el carro y la pipa (m)	0,8
Angulo entre el cable tractor y el cable portador (°)	21,1
En una tabla se detalla según en qué punto del terreno se encuentra la carga	Esfuerzo resultante en cada soporte intermedio (kg)
	Ángulo resultante del esfuerzo (°)
Esfuerzo resultante máximo (kg)	1 957

La herramienta ofrece comentarios y explicaciones de ayuda para introducir los parámetros de análisis, así como para interpretar los resultados obtenidos, con rangos de datos a tener en cuenta para el buen funcionamiento de la instalación.

Finalmente se calcularán las dimensiones que deberán tener el soporte intermedio y los anclajes para los valores de tensión y esfuerzos obtenidos anteriormente.

- Dimensiones del soporte intermedio. Tomando de referencia la tabla 8, de los valores indicativos del diámetro sin corteza (cm) del árbol, según la carga que soporta, y la altura donde esta se aplica, se obtendrá el diámetro con el siguiente procedimiento.

Tabla 8. Valores indicativos del diámetro sin corteza (cm) en *Picea abies* según la carga que soporta y la altura donde esta se aplica (Fabiano et al. 2014).

	Altura (m) de soporte de la carga							
Carga (kg)	6	8	10	12	14	16	18	20
1 000	12	13	14	15	16	16	17	17
2 000	15	17	18	19	19	21	22	22
3 000	17	19	20	22	23	24	25	26
4 000	18	20	22	24	25	26	27	28
5 000	19	22	24	25	27	28	29	30
6 000	20	23	25	27	29	30	31	32
7 000	21	24	26	28	30	31	33	34
8 000	22	25	27	29	31	33	34	36
9 000	23	26	28	30	32	34	36	37
10 000	24	27	29	31	33	35	37	38
12 000	25	28	31	33	35	37	39	40
14 000	27	29	32	35	37	39	41	42

Según el análisis realizado, hemos estimado que la línea pasará por el soporte intermedio a una altura de 13 metros. Esta es la altura a la que se encontrará la pipa. Hay que

tener en cuenta que el anclaje en el soporte se situará por encima para poder separar la pipa del tronco y facilitar el paso del carro a través de ella. Hay que estimar que el anclaje estará situado a unos 2 metros por encima. De este modo, la altura donde se aplicará la fuerza será de unos 15 metros. El resultado obtenido del esfuerzo máximo que tendrá que soportar este soporte es de 1 957 kg. Entonces, según la tabla 8, el diámetro sin corteza que tendrá que tener el árbol será de 20 cm.

- Dimensiones del anclaje del final de línea. Tomando de referencia la tabla 9, de la tensión máxima admisible según el diámetro de los árboles utilizados de anclaje, vamos a obtener el diámetro con el siguiente procedimiento.

Tabla 9. Tensión máxima admisible según el diámetro de los árboles (*Picea abies*) utilizados para anclaje(*: en condiciones favorables como especie con sistema radical profundo, sistema radical muy desarrollado, ángulo entre el terreno y el cable muy pequeño; estos valores pueden ser aumentados cerca del 50%) (Fabiano et al. 2014).

Diámetro normal (cm) (cm)	Tensión máxima orientativa (kg)*	Diámetro normal (cm)	Tensión máxima orientativa (kg)*
20	1 000	45	6 500
25	2 000	50	8 000
30	3 000	55	10 000
35	4 000	60	12 000
40	5 000	65	14 000

El resultado obtenido de la tensión máxima o de diseño, es de 14 364 kg, lo que orientativamente corresponde a un diámetro normal de 65 cm. Teniendo en cuenta que puede ser difícil encontrar un árbol de estas dimensiones, cabe la posibilidad de realizar el anclaje utilizando dos o tres árboles alineados, repartiendo la tensión según la tabla 10 (Fabiano et al. 2014).

Tomando de referencia la tabla 10, conociendo la tensión máxima o de diseño y utilizando la tabla 9 que relaciona la tensión con el diámetro del árbol obtenemos los resultados de la tabla 11, donde se puede apreciar que el diámetro requerido para los árboles de anclaje se ha reducido.

Tabla 10. Distribución de tensiones utilizando arboles alineados de anclaje.

Dos árboles alineados:	
Tensión que suporta el 1°	2/3
Tensión que soporta el 2°	1/3
Tres árboles alineados:	
Tensión que suporta el 1°	2/3
Tensión que soporta el 2°	2/9
Tensión que soporta el 3°	1/9

Tabla 11. Distribución de tensiones y diámetro normal necesario de los árboles alineados que sirven de anclaje.

Composición del anclaje	Tensión (kg)	Diámetro normal del árbol (cm)
Dos árboles alineados:		
Tensión que suporta el 1°	2/3 x 14 364 = 9 576 kg	55
Tensión que soporta el 2°	1/3 x 14 364 = 4 788 kg	40
Tres árboles alineados:		
Tensión que suporta el 1°	2/3 x 14 364 = 9 576 kg	55
Tensión que soporta el 2°	2/9 x 14 364 = 3 192 kg	35
Tensión que soporta el 3°	1/9 x 14 364 = 1 596 kg	25

7. Bibliografía

Fabiano F, Marchi E (2003) Note pratiche sul dimensionamento di grua a cabo forestale. Compagnia delle Foreste, Florence.

Fabiano F, Neri F, Plegal F, et al. (2014) Filiera bosco-legno-energia, elementi di sicurezza sul lavoro: cippatrici, gru a cavo e harvester. Servizio Sanitario della Toscana, Todi.

Caso práctico 3. El impacto de los tratamientos selvícolas en los servicios ecosistémicos forestales

Teresa Cervera, Teresa Baiges, Noemí Palero

1. La gestión forestal multifuncional y los Servicios Ecosistémicos Forestales

Se definen los Servicios Ecosistémicos como los beneficios que las personas obtienen de los ecosistemas, los cuales se dividen en cuatro categorías: de aprovisionamiento, de regulación, culturales y de apoyo (MEA 2005a) o, bien, como la contribución de la naturaleza a las personas, divididos en contribuciones materiales, inmateriales y de regulación (IPBES 2018). Entre estos servicios encontramos la provisión de alimentos, agua, madera y otros productos no madereros; la regulación de la calidad del aire, del clima y del agua; el recreo, turismo y educación; y la biodiversidad. Cuando nos referimos a los Servicios Ecosistémicos Forestales (SEF), estamos considerando los beneficios que los montes aportan a las personas.

En Europa existe una variación considerable en cuanto oferta y demanda de Servicios Ecosistémicos forestales, entre las diferentes regiones que la conforman. Pero, en general, se constata que la provisión de servicios culturales y de regulación de los bosques no satisface la demanda actual por parte de la sociedad europea. El reconocimiento del papel crucial de los bosques como reservorio de biodiversidad y como proveedores de servicios clave como, por ejemplo, la mitigación y adaptación al cambio climático o la mejora de la salud humana, ha aumentado aún más la demanda de este tipo de servicios (Winkel et al. 2022).

Las estrategias ambientales y económicas recientes de la Unión Europea, en particular la Estrategia de Biodiversidad (2020) y la Estrategia Forestal (2021), reconocen la necesidad de desarrollar mecanismos de incentivos para mejorar la provisión de los diferentes SEF, mediante la promoción de una gestión forestal multifuncional. Por ello, muchas regiones europeas están llevando a cabo una transición hacia este enfoque de gestión forestal más multifuncional, entendida como aquella que es capaz de brindar una amplia gama de servicios ecosistémicos en beneficio de las generaciones y sociedades, presentes y futuras, mejorando al mismo tiempo la conservación de la biodiversidad y la restauración de los ecosistemas más degradados (Larssen et al. 2022).

Al definir la gestión multifuncional, es importante tener en cuenta que los diferentes servicios ecosistémicos no fluyen de forma aislada unos de otros, sino que están interrelacionados. La

promoción de un servicio afectará la de otros, en unos casos podrán compensarse, en otros, mejorarse simultáneamente (Bennett et al. 2009). La naturaleza de estas interacciones, el grado y sentido del impacto de cada uno de los servicios identificados, dependerá en gran medida del contexto, de factores socioculturales y ambientales de cada zona, siempre complejos y diferentes, según la escala de análisis espacial y temporal, y de la intensidad y tipo de gestión a realizar (Rodríguez et al. 2006; Maes et al. 2012; Martín-López et al. 2012; Felipe-Lucia et al. 2014). Por ello, aunque se fije un determinado objetivo preferente de gestión, es necesario conocer los efectos que esa gestión puede tener sobre los diferentes servicios proveídos por el bosque en su conjunto, para minimizar o compensar posibles impactos negativos.

1.1. Gestión forestal y SEF relacionados con la mitigación y adaptación al cambio climático

Uno de los servicios ecosistémicos más demandados a la gestión forestal en la actualidad es su contribución a la adaptación de nuestros paisajes a los efectos del cambio climático y a la mitigación de este. El proyecto LIFE CLIMARK (www.lifeclimark.eu), desarrollado en Cataluña, es una de las primeras iniciativas de definición de una gestión forestal multifuncional con el objetivo climático como objetivo preferente.

Este proyecto aplicó los principios de la gestión climáticamente inteligente (*Climate Smart Forestry*, CSF), definida como aquella gestión forestal sostenible que tiene por objetivo gestionar los bosques ante el cambio climático y cuyos ejes centrales son la integración de las medidas de adaptación, mitigación y de dimensión social, adaptadas a cada territorio (Nabuurs et al. 2017; Bowditch et al. 2020; Verkerk et al. 2020). Esta gestión enfatiza el clima y los servicios forestales ecosistémicos en base a tres componentes: i) aumentar el stock de carbono en los bosques y los productos madereros de forma conjunta a la provisión de otros SEF; ii) mejorar la salud y resiliencia a través de la gestión forestal adaptativa y, iii) utilizar los recursos madereros para substituir otros menos renovables (Verkerk et al. 2020).

En el marco del proyecto se identificaron tres SEF clave en la mitigación y adaptación del bosque Mediterráneo al cambio climático y los tratamientos selvícolas con capacidad para incidir positivamente en estos servicios de regulación, provisión y apoyo.

1. **Servicio de regulación del clima, con el aumento de la fijación y la reducción de emisiones de dióxido de carbono.** La gestión forestal contribuye al mantenimiento o aumento del ritmo de fijación de carbono de los bosques, aumentando su vitalidad, regulando la competencia por los recursos, y conservando los stocks de carbono actuales ante el riesgo de grandes incendios y estrés hídrico, perturbaciones severas muy frecuentes en el Mediterráneo, que a su vez pueden conllevar la pérdida de biodiversidad y el aumento descontrolado de emisiones. Por otra parte, la obtención de materias renovables fruto de la gestión, como la madera y el corcho, facilita la substitución de productos y energías fósiles, contribuyendo a la descarbonización de la economía.

2. **Servicio de provisión de agua azul**. Más allá del carbono, en los bosques mediterráneos el agua es clave. La gestión forestal ha de tener en cuenta los compromisos entre agua y vegetación, que se conoce como *gestión forestal eco-hidrológica* (Del Campo *et al.* 2019), estableciendo un equilibrio local entre la disponibilidad y el consumo de agua. Una menor densificación de los bosques es efectiva tanto para combatir la escasez de agua, aumentando el caudal de ríos y acuíferos, como para aumentar su resiliencia y adaptación al cambio climático (Bart *et al.* 2021). Por otra parte, los efectos de la gestión forestal sobre el agua a escala local pueden ser relevantes para el mantenimiento de hábitats acuáticos.

3. **Servicio de apoyo, que ofrece la biodiversidad forestal.** Mediante el proceso de selección de las especies e individuos que se cortarán, plantarán o favorecerán, la selvicultura no solo impacta sobre aquella especie arbórea, sino que altera el funcionamiento del bosque y la biodiversidad que acoge dadas las numerosas asociaciones huésped-árbol existentes y las distintas condiciones ambientales generadas. Cualquier actuación selvícola tiene, pues, efectos sobre la biodiversidad, pero el grado y el sentido del impacto pueden variar en función de la intensidad y el tipo de gestión (Chaudhary et al. 2016). La aplicación de técnicas agrupadas bajo el nombre de selvicultura "de retención" (*Retention forestry*) o "integrativa", han demostrado que pueden contribuir al aumento de la diversidad global, sobre todo la de aquellas especies más raras que requieren más tiempo para colonizar un hábitat (Kraus and Krumm 2013; Aggestam et al. 2020). Estas técnicas, que pueden aplicarse bajo cualquier enfoque selvícola (Gustafsson et al. 2010, 2020), consisten en mantener o restaurar activamente legados y otros atributos de bosques maduros con el objetivo de proveer continuidad en la estructura, función y composición del bosque a lo largo de las generaciones.

2. Cuantificación del impacto de la gestión forestal sobre los SEF

La cuantificación del impacto de una determinada gestión forestal sobre los servicios ecosistémicos debe apoyarse en una metodología concreta y en un escenario de referencia definido, que puede ser un modelo alternativo de gestión (por ejemplo, una gestión innovadora respecto a una gestión habitual) o un escenario de no gestión. Igualmente, debe fijarse el período considerado para el cálculo del impacto, pudiendo contabilizarse el impacto inmediato de una actuación concreta, hasta la siguiente actuación, o el impacto medio del conjunto de actuaciones que se realizan a lo largo de todo el turno definido para cada especie.

2.1. Metodología para el cálculo del impacto de la gestión sobre el carbono, el agua y la biodiversidad

En el marco del proyecto LIFE CLIMARK, se ha desarrollado una metodología para calcular el impacto de la gestión forestal multifuncional sobre los servicios relacionados con el ciclo del carbono, el agua y la biodiversidad (Cervera et al. 2022).

En esta metodología, el impacto de la gestión forestal se establece partiendo de una comparación entre una selvicultura basada en los modelos selvícolas incluidos en las «Orientaciones de gestión forestal sostenible de Cataluña» (ORGEST) (Piqué et al. 2011, 2017) y un escenario de referencia de no gestión o, en el caso de plantaciones, de ausencia de éstas. El periodo de análisis se establece en los 15 años posteriores a la aplicación del tratamiento selvícola, considerado como un periodo de rotación habitual. En la primera versión de esta metodología (2022), el impacto de la gestión en el balance de carbono está disponible para las principales coníferas de Cataluña (el pino carrasco, el pino silvestre y el pino negral) y para la encina. El impacto de la gestión sobre los recursos hídricos incorpora los cálculos para el conjunto de formaciones forestales, al igual que la integración de la biodiversidad, que se contabiliza para todo tipo de gestión y formación forestal.

La metodología para el cálculo del balance de carbono tiene en cuenta el secuestro neto resultante del crecimiento de la masa una vez aplicado un tratamiento selvícola y hasta la próxima actuación prevista (período de rotación entre cortas). En el cálculo de este secuestro se contabilizan las emisiones de carbono debidas al uso de la maquinaria durante las actuaciones forestales y al transporte hasta la industria del producto obtenido. También se contabiliza como emisión el retorno a la atmósfera del carbono almacenado en los productos con vida útil más corta (leña, biomasa, palets). Por último, se contabilizan las emisiones de carbono evitadas valorando, por un lado, lo que se podría dejar de emitir a partir de la gestión propuesta en caso de que se produzca un gran incendio forestal, según la probabilidad anual de quema, su intensidad y el stock de biomasa disponible; y por otro, valorando el efecto positivo de la sustitución de materiales no renovables por la madera o biomasa.

El impacto de la gestión forestal sobre la provisión de agua azul - la diferencia entre el volumen de agua de la precipitación y el volumen que la vegetación evapotranspira o intercepta con sus copas - se calcula como la diferencia entre el agua exportada de un bosque a partir de una determinada área basimétrica inicial sin gestión y el agua exportada en ese mismo bosque en la situación posactuación y hasta que se recuperan los valores anteriores a la corta.

Finalmente, el impacto de la gestión forestal en la biodiversidad analiza el valor inicial y final, antes y después de la actuación, del Índice de Biodiversidad Potencial (IBP) (Baiges et al. 2019, 2021), un indicador indirecto de la capacidad que tiene un bosque para acoger biodiversidad basado en la evaluación en campo de 10 factores clave. La mejora respecto a la situación inicial se mide como el porcentaje de incremento de este índice, que varía según la fase en la que se encuentra el bosque y las medidas de integración aplicadas.

2.2. *Resultados preliminares*

A partir de la aplicación de esta metodología en 53 rodales con distintas formaciones forestales y tratamientos correspondientes a modelos e itinerarios ORGEST seleccionados, se ha calcula-

do y analizado su impacto para los 15 años siguientes a la actuación, obteniendo las siguientes conclusiones:

- Las actuaciones de gestión forestal con un impacto más positivo sobre el balance de CO_2 son las claras de regulación de competencia en bosques adultos, excepto en la etapa final de la puesta en regeneración. Las cortas en bosques densos de regenerado joven suponen un impacto menor en el balance global o bien negativo respecto a un bosque no gestionado. El impacto de las plantaciones en este mismo periodo es inferior al de las claras.

- Sobre el agua azul, existe una relación positiva directa entre reducción del área basal y agua exportada, de manera que cuanto más intensa es la corta, más agua azul se genera. De forma diferente a lo observado en el balance de carbono, el impacto es mayor cuanto más joven es el bosque. En el caso de la recuperación de antiguos pastos, con la eliminación permanente del arbolado, supone una ganancia importante de agua azul que se mantiene en el tiempo. Las plantaciones proporcionaran un impacto negativo a partir de ésta y hasta la llegada de las primeras actuaciones.

- Sobre la biodiversidad, cabe mencionar que la gestión forestal integradora realizada, aquella que debe mantener y potenciar aquellos elementos presentes en el bosque que aportan más biodiversidad, o generarlos si las características del bosque así lo aconsejan, como mínimo iguala, si no mejora a corto plazo, la capacidad de acoger biodiversidad que tendría aquel bosque si no fuera gestionado.

3. Un caso de estudio: Balance en el carbono, agua y biodiversidad en un rodal gestionado del Pirineo catalán

3.1. Definición de la gestión forestal multifuncional: la escala de paisaje y de rodal

La planificación a escala de paisaje permite identificar los principales servicios ecosistémicos que debemos potenciar en un territorio y a priorizar aquellos bajo criterios de mitigación y adaptación al cambio climático. A esta escala se pueden delimitar áreas estratégicas de prevención de incendios, zonas de recarga de acuíferos, zonas conectoras o de interés ecológico, zonas vulnerables o donde la restauración pasiva esté inhibida o zonas de baja resiliencia. La planificación posterior a escala monte y la diagnosis específica del rodal nos permitirá establecer el mejor modelo e itinerario de gestión para conseguir el objetivo preferente seleccionado y los principales servicios ecosistémicos a generar.

Los objetivos seleccionados en los montes de la Vall de Lord, que agrupa 3 municipios de la comarca del Solsonès (Lleida), La Coma i la Pedra, Guixers y Sant Llorenç de Morunys, se ha priorizado siguiendo los principios de la *Climate Smart Forestry* (CSF) como sigue: la fijación y la reducción de las emisiones de carbono, a partir de la provisión de madera estructural y la prevención de incendios en las puntos estratégicos de gestión (PEG) identificados, la mejora de

los hábitats en los espacios de la Red Natura 2000, y la provisión de agua azul para el mantenimiento del caudal de los ríos Cardener y Aigua de Valls.

En uno de los rodales seleccionados, de propiedad privada e incluido en un instrumento de ordenación forestal, se ha priorizado la provisión de agua azul, con la mejora de la vitalidad y la eficiencia en el uso del agua por parte de las especies arbóreas, y la reducción de la vulnerabilidad de la masa a los incendios (el rodal forma parte de un PEG de prioridad alta), siempre integrando la mejora de la biodiversidad en la gestión forestal.

Las características del rodal, antes y después de la actuación y los modelos de gestión e itinerarios silvícolas se presentan en las tablas siguientes (tablas 1 y 2).

Tabla 1. Características del rodal antes de la actuación (IH: índice de humedad; N: densidad; AB: área basimétrica; VFoC: vulnerabilidad al fuego de copas (Alta, Moderada, Baja); IBPr: Índice de Biodiversidad Potencial del rodal; i: valores iniciales, previos a la actuación).

Código	Cabida (ha)	IH (P/ETP)	Probabilidad quema/año	Tipología forestal	Ni (pies ha^{-1})	ABi (m^2 ha^{-1})	VFoCi (A/B/C)	IBPri (%)
R1	10,9	0,99	0,00014	PsPIR-B	3 000	38	B	51

Tabla 2. Modelo de gestión y características del rodal después de la actuación (f: valores finales, después de la actuación).

Código		Modelo de referencia ORGEST	Nf (pies ha^{-1})	ABf (m^2 ha^{-1})	VFoCf (A/B/C)	IBPrf (%)
R1	Ps11	Producción-Prevención-Biodiversidad	1 800	23	C	60

A partir del modelo seleccionado, el itinerario consiste en la realización de una clara por lo bajo, reduciendo un 40% el área basal inicial; un desbroce selectivo, dejando el 30% del recubrimiento y reduciendo la continuidad horizontal y vertical del combustible; y la conservación de elementos de biodiversidad, dejando todas las especies presentes en el rodal, los árboles de mayor diámetro (clase diamétrica (CD) ≥30), los árboles con los microhábitats más relevantes y la madera muerta existente, en pie y el suelo. Además, para mejorar la capacidad de acogida de la biodiversidad se genera madera muerta en el suelo (3 pies ha^{-1} de CD 30).

3.2. Impacto de la gestión del rodal en el carbono, agua y biodiversidad

La aplicación de la metodología obtenida en el proyecto LIFE CLIMARK (Cervera et al. 2022) permite obtener el balance de carbono (t CO_2), el balance de agua (m^3 de H_2O azul exportada) y el impacto sobre la biodiversidad (% de conservación y mejora de la capacidad de acogida de la biodiversidad en el rodal) para los siguientes 15 años después de la gestión aplicada, comparándola con un escenario de no gestión.

Los resultados previstos (tabla 3), al margen de los productos madereros que se estiman en 42 t ha^{-1}, nos muestran un resultado positivo en todos los servicios, las 22,42 t ha^{-1} prevén ayudar en la mitigación del cambio climático debido principalmente a la diferencia de crecimiento del rodal gestionado *versus* el no gestionado y al efecto de la substitución de la madera por otros de mayor impacto hacia la atmósfera. Para mejorar dicho valor sería necesario obtener una mayor cantidad de productos de madera estructural, que pudiera retener más años el carbono estocado, hecho que debiera conseguirse en actuaciones futuras. Las emisiones debidas a los trabajos forestales y al transporte son reducidas.

Por otra parte, el agua exportada una vez realizada la actuación forestal, reducida el área basal en un 40%, se prevé importante, de unos 2 615 m^3 ha^{-1}, en global para los 15 años siguientes al tratamiento (siendo máximo el primer año y mínimo el año 15).

Finalmente, el valor del IBP inicial y final será reducido, la falta de madera de grandes dimensiones no permite una mejora a corto plazo, dejando la mejora en un 17%. Lo más importante será conservar los elementos de biodiversidad existentes para conseguir una mejora en el futuro.

Tabla 3. Impacto de los tratamientos silvícolas en el carbono, agua y biodiversidad.

Balance carbono (t CO_2)							
Fijado		**Emitido**		**Evitado**		**Resultados**	
Corta bosque	Trabajos forestales	Transporte industria	Productos vida corta	Sustitución materiales	Prevención incendios	Unitario (t ha^{-1})	Rodal (t)
31,90	0,52	0,09	33,45	24,47	0,10	**22,42**	**244,40**
Balance agua (m^3 H_2O)				**Balance biodiversidad (%)**			
Agua exportada		**Resultados**		**Conservación y mejora**		**Resultados**	
Inicial m^3 ha^{-1} $año^{-1}$	Final m^3 ha^{-1} $año^{-1}$	Unitario (m^3 ha^{-1})	Rodal (m^3)	Valor IBP Inicial	Valor IBP Final	Unitario %/ha	Rodal %
1 410,41	1 759,10	**2 615,17**	**28 505,37**	18	21	**17**	**17**

4. Bibliografía

Aggestam F, Konczal A, Sotirov M, et al. (2020) Can nature conservation and wood production be reconciled in managed forests? A review of driving factors for integrated forest management in Europe. J Environ Manage 268, 110670. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.11067.

Baiges T, Cervera T, Palero N, Gonin P, Larrieu L (2019) Posada a punt de l'índex de biodiversitat potencial: un termòmetre per a mesurar la capacitat d'allotjar biodiversitat dels boscos (gestionats) de Catalunya. Silvicultura 80: 26- 36.

Baiges T, Cervera, T, Palero N, Gonin P, Larrieu L (2021) Mètodes de camp i aplicacions de l'IBP. (En edición).

Bart R, Ray R, Conklin M, Safeeq M, Saksa Ph, Tague C, Bales R (2021) Assessing the effects of forest biomass reductions on forest health and streamflow. https://doi.org/10.1002/hyp.14114.

Bennett EM, Peterson GD, Gordo LJ (2009) Understanding relationships among multiple ecosystem services. Ecol Lett 12: 1394–1404.

Bowditch E, Santopuoli G, Binder F, del Río M, La Porta N, Kluvankova T, Lesinski J, Motta R, Pach M, Panzacchi P, Pretzsch H, Temperli C, Tonon G, Smith M, Velikova V, Weatherall A, Tognetti R (2020) What is Climate-Smart Forestry? A definition from a multinational collaborative process focused on mountain regions of Europe. Ecosystem Services 43: 101113. https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2020.101113.

Cervera T, Baiges T, Rabascall X et al. (2022) Metodología de cálculo del impacto de la gestión forestal en los servicios ecosistémicos: carbono, agua y biodiversidad. Centro de la Propiedad Forestal, Santa Perpètua de Mogoda. 61 pp.

Chaudhary A, Burivalova Z, Koh L et al. (2016) Impact of Forest Management on Species Richness: Global Meta-Analysis and Economic Trade-Offs. Sci Rep 6: 23954.

Del Campo AD, González-Sanchis M, Ilstedt U, Bargués-Tobella A, Ferraz S (2019) Dryland forests and agrosilvopastoral systems: water at the core. Unasylva 251: 27-35.

Felipe-Lucía MR, Comín FA, Bennett EM (2014) Interactions among ecosystem services across land uses in a floodplain agroecosystem. Ecol Soc 19:20.

Gustafsson L, Kouki J, Sverdrup-Thygeson A (2010) Tree retention as a conservation measure in clear-cut forests of northern Europe: a review of ecological consequences. Scand J For Res 25: 4.

Gustafsson L, Bauhus J, Asbeck T, et al. (2020) Retention as an integrated biodiversity conservation approach for continuous-cover forestry in Europe. Ambio 49: 85-97. https://doi.org/10.1007/s13280-019-01190-1.

IPBES (2018) Summary for policymakers of the assessment report on land degradation and restoration of the Intergovernmental Science Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. IPBES secretariat, Bonn, Germany. 44 pp.

Kraus D, Krumm F (eds) (2013) Integrative approaches as an opportunity for the conservation on forest biodiversity. European Forest Institute. 284 pp.

Larsen JB, Angelstam P, Bauhus J, Carvalho JF, Diac J, Dobrowolska D, Gazda A, Gustafsson L, Krumm F, Knoke T, Konczal A, Kuuluvainen T, Mason B, Motta R, Pötzelsberger E, Rigling A, Schuck A (2022) Closer-toNature Forest Management. From Science to Policy 12. European Forest Institute. https://doi.org/10.36333/fs12

Maes J, Paracchini ML, Zulian UG et al. (2012) Synergies and trade-offs between ecosystem service supply, biodiversity, and habitat conservation status in Europe. Biol Conserv 155: 1–12.

Martín-López B, Iniesta-Arandia I, García-Llorente M et al. (2012) Uncovering ecosystem service bundles through social preferences. PLoS One 7: 38970.

MEA (Millennium Ecosystem Assessment) (2005) Ecosystems and Human Wellbeing: Synthesis. Island Press, Washington, DC.

Nabuurs GJ, Delacote P, Ellison D, Hanewinkel M, Hetemäki L and Lindner M (2017) By 2050 Mitigation effects of EU forests could nearly double through European Climate Smart Forestry. Forests 8: 484. DOI:10.3390/f8120484.

Piqué M, Vericat P, Cervera T, Baiges T, Farriol T (2011) Tipologies forestals arbrades. Sèries: Orientacions de gestió forestal sostenible per a Catalunya (ORGEST). Centre de la Propietat

Forestal. Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca, Alimentació i Medi Natural. Generalitat de Catalunya.

Piqué M, Vericat P, Beltrán M (2017) «Resource communication. ORGEST: Regional guidelines and silvicultural models for sustainable forest management». For Syst 26(2).

Rodríguez JP, Beard TD, Bennett EM et al. (2006) Trade-offs across space, time, and ecosystem services. Ecol Soc 11:28.

Verker PJ, Costanza R, Hetemäki L, Kubiszewski I, Leskinen P, Palahí M, Nabuurs G-J, Potočnik J (2020) Climate-smart forestry: the missing link. For Policy Econ.

https://doi.org/10.1016/j.forpol.2020.102164

Winkel G, Lovrić M, Muys B, Katila P, Lundhede T, Pecurul M, Pettenella D, Pipart N, Plieninger T, Prokofieva I, Parra C, Pülzl H, Roitsch D, Roux J, Jellesmark B, Tyrväinen L, Torralba M, Vacik H, Weiss G, Wunde S. (2022) Governing Europe's forests for múltiple ecosystem services: Opportunities, challenges, and policy options. Forest Policy and Economics, 145. https://doi.org/10.1016/j.forpol.2022.102849

www.lifeclimark.eu

Anejos

Anejo 1

Neumáticos forestales y accesorios para mejorar la tracción de los tractores forestales

Jesús Pemán García

1. Introducción

Se entiende por neumático la pieza de caucho de forma toroidal que se acopla a la llanta y conforma la rueda neumática, cuyas funciones principales son permitir el contacto de la máquina con el medio para que el desplazamiento de la misma se realice con una adecuada adherencia y fricción. El neumático de las máquinas forestales utilizadas en las operaciones de apeo, procesado y desembosque (procesadoras, cortadoras, *skidder*, autocargadores) tiene que tener unas características singulares para poder soportar los esfuerzos de carga a las que estas máquinas están sometidas en el medio tan agresivo en el que trabajan, ya que las calles y pistas de desembosque carecen de una capa de rodadura que facilite su tránsito. Además, las condiciones de este medio varían constantemente en cuanto a sus características físicas, consecuencia del cambio de contenido de humedad en el suelo, de su capacidad portante, de la pedregosidad, de la cubierta vegetal, de la pendiente, etc., lo que les exige poderse adaptar a todos estos cambios. Para tratar de conseguirlo los neumáticos forestales son anchos con el objetivo de facilitar una gran superficie de contacto con el suelo, para distribuir mejor su peso, reducir la compactación y mejorar la capacidad tractora de la máquina.

En un neumático forestal cabe distinguir los siguientes elementos: 1) Cubierta, 2) Llanta, 3) Cámara, si llevan, y 4) Válvula de inflado (figura A1.1).

Figura A1.1. Neumático Nokian Forest King modelo TRS LS-2 y tamaño 23.1-26 16PR de un *skidder* (Foto: J. Pemán).

2. La cubierta

La cubierta es la parte resistente del neumático y en ella se pueden diferenciar los siguientes elementos: 1) Carcasa, 2) Banda de rodadura y 3) Talón (Nieto 2012) (figura A1.2).

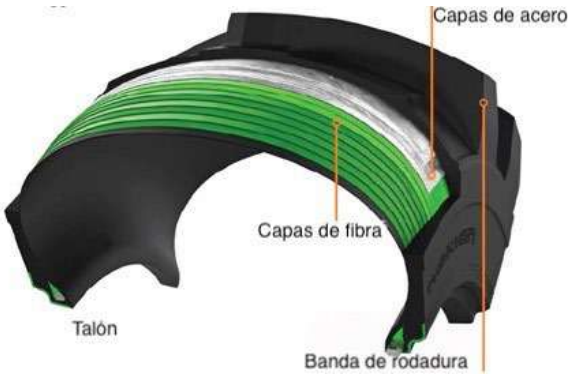


Figura A1.2. Estructura de la cubierta de una neumático forestal (Fuente: Trelleborg).

1. La carcasa. Es la componente estructural y está integrada por una serie variable de capas o lonas que se tienden de uno a otro talón. Estas capas están fabricadas con fibras sintéticas y según la posición relativa de los hilos que las conforman varía la flexibilidad y el tamaño de la huella que deja sobre el suelo, caracterizando el comportamiento del neumático. El número de capas utilizadas y la naturaleza del material, determina el índice de resistencia mecánica de la rueda y la carga que podrá soportar. Según se dispongan las fibras en estas capas se habla de estructura diagonal o radial (Márquez 2010):

- Estructura diagonal. Cada capa se coloca de manera que los hilos que la componen formen un ángulo de 40 a 45° con el plano medio del neumático. Para mantener la simetría respecto a este plano, es necesario un número par de capas. Es la que se utiliza en la mayoría de los neumáticos forestales. El apoyo de la rueda es elíptico con una longitud del área de apoyo algo mayor que su anchura. Las presiones mínimas de utilización se sitúan por encima de 0,8 bar.

- Estructura radial. Cada capa se coloca de manera que los hilos que la componen son perpendiculares plano medio del neumático.

2. Talón. Es un aro de acero cuya función es mantener el diámetro del neumático cuando está en carga, garantizando su sujeción a la llanta de la rueda.

3. Banda de rodadura. Es la parte exterior del neumático que está en contacto con la superficie y es la que aporta gran parte de las características funcionales del mismo, sobre todo las relativas a su adherencia (tabla A1.1). En los neumáticos forestales esta banda dispone de resaltes, garras o tacos, que permiten que la rueda se adhiera al suelo, lo que aumenta la capacidad de tracción de la máquina (figura A1.3). A la hora de elección del tipo de banda hay que tener en cuenta la dureza del suelo, reduciendo el tamaño de los resaltes cuanto mayor sea la dureza del mismo.

Figura A1.3. Bandas de rodadura de diferentes neumáticos de la casa comercial Trelleborg. De izquierda a derecha: T422, T428, T440 y T480 (Fuente: Trelleborg).

Tabla A1.1. Modelos de bandas de rodadura y características de los neumáticos forestales Trelleborg.

Modelo	Características según el fabricante
TWIN 422	Elevada tracción y excelente accesibilidad. Óptima adherencia incluso sin el uso de cadenas u orugas. El diseño abierto de su banda de rodaje proporciona al neumático una gran capacidad de autolimpieza.
TWIN 428	Excelente capacidad de tracción en terrenos difíciles o resbaladizos, ya sea con o sin el uso de cadenas u orugas. La carga se transmite a través de una amplia área de contacto, que proporciona al neumático una baja presión de contacto y pone un estrés mínimo sobre el vehículo.
TWIN 440	Escalones entre tacos mantienen la banda de rodaje limpia. Los tacos son más robustos, gran prestación para las cadenas
TWIN 480	Los surcos transversales y el ancho perfil proporcionan agarre y compatibilidad con cadenas. Gran fuerza de tracción en cualquier condición, incluso sin cadenas. Gracias a los escalones entre tacos tiene una gran capacidad de autolimpieza.

3. Marcas del neumático

En el flanco de un neumático aparece una información que hace referencia a sus características de diseño según las recomendaciones de la ETRTO (*European Tyre and Rim Technical Organisation*), y aceptadas por las ISO, que hacen referencia al fabricante, modelo comercial, características dimensionales y constructivas y condiciones de trabajo (figura A1.4). Las más relevantes son:

Figura A1.4. Marcas de un neumático. 1: Nombre del fabricante, 2: Modelo comercial, 3: Advertencia. Condiciones presión máxima de inflado, 4: Características dimensionales y constructivas; 710 (mm): Anchura; 45 (%): Perfil. Relación altura y anchura; -: estructura diagonal de las capas de la cubierta; 26.5: diámetro de la llanta (pulgadas); *LS*: uso forestal para corta y desembosque; 2: código referente a la altura de los tacos de la banda de rodadura, 5: Condiciones de trabajo. Capacidad de carga y código de velocidad.

1. Características dimensionales y constructivas. La información que se suministra es (figura A1.5):

1.1. Anchura de la sección del neumático no cargado (SW, *section witdh*) (mm o en pulgadas).

1.2. Perfil. Relación altura y la anchura (H/SW).

1.3. Estructura de la carcasa. Los códigos son: R: radial, -: diagonal.

1.4. Anchura de la llanta (d) (pulgadas).

1.5. Código de uso y profundidad banda de rodadura. Para tractores forestales el código es LS (*logging and forestry service*). El código de la profundidad de la banda de rodadura es: 1: normal, 2: intermedio, 3: profundo, 4: superficial.

Hay otros datos dimensionales del neumático que aunque no se referencian en la cubierta, si aparecen en los catálogos. Un ejemplo son los radios de la rueda, tanto en la sección en carga (R') como no cargada (R) o la circunferencia de rodadura.

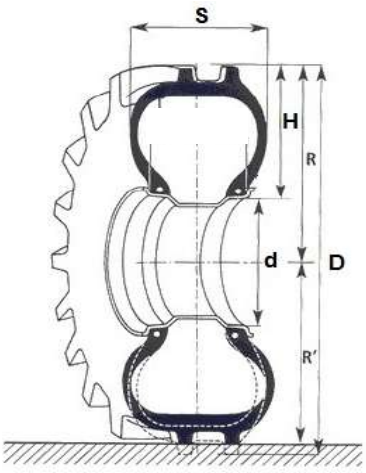


Figura A1.5. Dimensiones de un neumático. D: diámetro del neumático, d: diámetro de la llanta, H: altura del neumático, R: radio del neumático sin carga, R': radio del neumático en carga estática, S: anchura del neumático.

2. Condiciones de trabajo. Recoge información referida a la capacidad de carga del neumático según su presión de inflado y la velocidad de trabajo.

2.1. La capacidad de carga de un neumático está en función de sus dimensiones, pero también de la forma de construcción y de la presión de inflado (Márquez 2010). Esta capacidad de carga se ha caracterizado tradicionalmente mediante el número de capas o lonas de la cubierta del neumático, a través del índice PR (*ply rating*), pero en la actualidad se usa un índice de carga (LI, *load index*) que está relacionado con el código de velocidad máxima del neumático (SS, *speed symbol*). Para una presión de referencia, en el caso de

que se circule a una velocidad inferior o superior a esta, se podrá modificar la capacidad de carga. Si la velocidad disminuye se podrá aumentar la capacidad de carga del neumático y si esta se aumenta habrá que disminuir la carga. El índice de carga (x) se relaciona con la capacidad de carga del neumático expresada en kilogramos a través de la siguiente relación exponencial (Márquez 2010): y (kg) = 44,389 $e^{0,0288x}$. Por tanto, para un índice de carga de 151 a la velocidad (A8) y presión de inflado de referencia, la capacidad de carga de la rueda es de 3 435 kg.

En los catálogos de neumáticos se suele recoger la capacidad máxima de carga en función de la velocidad y la presión de inflado (tabla A1.2).

Tabla A1.2. Capacidad de carga (kg) según la velocidad, naturaleza del terreno y presión de inflado del modelo de neumático 24.5-32 16PR A6 T418 de Trelleborg.

Velocidad (km h^{-1})	Tipo de vía	Presión inflado (bar)										
		0,8	1	1,4	1,8	2	2,1	2,2	2,4	2,6	2,8	2,9
40	Carretera	2 275	2 590	3 155	3 655	3 890	4 000					
30	Carretera	2 845	3 240	3 945	4 570	4 860	5 000					
10	Terreno muy duro	2 335	2 655	3 235	3 745	3 985	4 100	4 215	4 430	4 645	4 850	4 955
	Terreno ligero	3 495	3 980	4 845	5 610	5 970	6 140	6 310	6 635	6 955		
	Terreno duro	2 845	3 240	3 945	4 570	4 860	5 000					

2.2. Velocidad máxima. Junto al índice de carga en los neumáticos y en los catálogos se hace referencia a un código de velocidad que indica la velocidad máxima a la que debe circular con la carga máxima expresada por el índice de carga. Los símbolos de este código son letras mayúsculas, que en el caso del código A van seguidas de un número (tabla A1.3). Por tanto, el código A8 expresa una velocidad máxima de 40 km h^{-1}. Este valor es el que sirve de referencia para el índice de carga anteriormente comentado.

Tabla A1.3. Código de velocidad en los neumáticos.

	Código velocidad													
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	B	C	D	E	F	G
Velocidad (km h^{-1})	5	10	15	20	25	30	35	40	50	60	65	70	80	90

Esta información recogida en los neumáticos se complementa con otra que permite conocer el país del fabricante, la fecha de fabricación, la presión máxima de inflado, la necesidad de cámara (TL, *tube less*, sin cámara; TT, *tube type*, con cámara), el par motor recomendado (HT, *high torque*, elevado par motor y LT, *low torque*, bajo par motor), el tipo de banda de rodadura o algunos detalles de la estructura de la carcasa. Así, en determinados neumáticos o catálogos se puede referir al neumático con los siguientes códigos 710/40-22.5 LS2 T428 SB. Los últi-

mos códigos describirían la banda de rodadura (T428, correspondiente a la casa Trelleborg) y la existencia de lonas de acero de refuerzo en la carcasa (SB, *Steel belt*).

Ejercicios

1. **Describa las características técnicas y dimensiones del modelo de neumático de la casa Trelleborg siguiente 800/40-26.5 TL LS2 170A8 T440 SB ¿Cuál es el diámetro de la rueda (mm)? 1 pulgada: 2,54 cm.**

2. **En el catálogo de Nokian Forest King TRS L-2 aparecen distintos modelos de neumáticos para cosechadoras y autocargadores. Interprete cada uno de los datos del catálogo.**

											Load Capacity (kg)			
Size	LI/SS	PR	Pattern Forest King	Steel fortified	TT/TL	Width (mm)	Diameter (mm)	Loaded static radius (mm)	Rolling circunference (mm)	Inflation pressure for load capacity calculation (kPa)	10 km h-1	30 km h-1	40 km h-1	Max. inflation pressure (kPa)
710/40-22.5	154 A8 / 161 A2	16	TRS L2	SF	TT	710	1171	538	3531	360	4250	3690	3450	400

4. Presión de inflado del neumático

La presión de inflado afecta al rendimiento de la máquina y a la vida útil del neumático. La presión de inflado debe ser la que recomienda el fabricante, en condiciones de plena carga, que normalmente establece unos valores mínimos, máximos y normales (tabla A1.4). Las presiones de inflado bajas tiene como ventajas una mayor superficie de contacto, una menor presión al suelo y una mayor tracción. Como inconvenientes tiene una menor estabilidad de la máquina y un mayor desgaste del neumático, aumentado el riesgo de rasgarse en caso de un relieve muy abrupto, con numerosos obstáculos como piedras, ramas, tocones, etc. Las altas presiones mejoran por tanto la estabilidad de la máquina, pero aumenta el riesgo de compactación en el suelo, la mayor posibilidad de formación de rodadas y una menor adherencia. Hoy en día, los sistemas automáticos de control integrado de la presión de los neumáticos (TPCS, *tire presure control system*), permiten controlar la presión del neumático a las diferentes condiciones de trabajo. Si se usan *tracks* en las ruedas, la presión de inflado tiene que ser máxima. En cambio, si se usan cadenas no hay que modificar la presión.

Tabla A1.4. Presiones de inflado para modelos de neumáticos Trelleborg para autocargadores de 26 t de carga (1 bar = 100 kPa; 1 bar = 14,5 psi).

Tipo de neumático	Modelo	Modelo	Neumático delantero (bar)			Neumático trasero (bar)			Con tracks (bar)
			Mínima	Normal	Máxima	Mínima	Normal	Máxima	
750/50-26.5 174 A8	T428	T422	3	3,5	4	3,6	4,2	4,8	6
710/50-30.5 173 A8	T428	T422	3	3,5	4	3,7	4,4	5,1	6
750/45-30.5 173 A8	T428	T422	2,8	3,3	3,8	3,6	4,2	4,8	6

5. Presión sobre el suelo

La interacción neumático-suelo puede ser abordada de diferentes maneras según se tenga en cuenta las fuerzas que intervienen. Cuando solo se tienen en cuentan las cargas verticales, se hace referencia al concepto de área de contacto, mientras que si se tiene en cuenta la totalidad de las mismas se habla de superficie de contacto.

5.1. Área de contacto

La huella que marca el neumático sobre el suelo para una carga vertical en estático se puede calcular a través de la proyección vertical de la superficie de contacto. Sin embargo, cuando el neumático está provisto de las bandas de rodadura, características en todos los neumáticos forestales, determinar el área de contacto no es tan simple, ya que la presión efectiva se soporta debajo de dichas bandas (figura A.1.6). Considerar el área teórica implica una sobreestimación del área de contacto y una infravaloración de la presión ejercida por el neumático sobre el suelo.

Figura A1.6. Área de contacto teórica (izquierda) y área de contacto efectiva consecuencia de las bandas de rodadura (derecha) (Foto: J. Pemán).

La aproximación teórica al área de contacto se realiza a través del contorno de la huella. Este contorno depende de la construcción del neumático, de la presión de inflado, de la carga de la rueda y de las características del suelo (duro o blando). Así, sobre superficies duras, neumáticos estrechos y de gran diámetro producen huellas más elípticas, mientras que los neumáticos más anchos dan lugar a contornos más circulares (Saarilahti 2002).

Además, hay que tener en cuenta que el área de contacto en carga en estático difiere notablemente del área de contacto en carga en dinámico y según las condiciones de humedad del suelo, dado que esta es asimétrica en relación al eje perpendicular al neumático. Este área cambia constante con las operaciones que realiza la maquinaria en el aprovechamiento. Una estimación muy simplificada del área de contacto es a partir del área de la huella en carga en estático, a partir de la siguiente expresión:

$$\mathbf{A = c\ l_c\ b_c}$$

A: área de la huella del neumático (m^2)

c: coeficiente de forma, que para contornos circulares o elípticos es de 0,785 ($\pi/4$) y para contornos cuadrados o rectangulares es 1.

l_c: longitud de la huella (m)

b_c: ancho de la huella (m)

Otros autores se aproximan a su cálculo mediante la utilización de modelos elípticos o superelípticos, que precisan de variables difíciles de obtener (Hallonborg 1996; Saarilahti 2002). Uno de los modelos considerados como estándar, y que utilizan investigadores nórdicos como Mikkonen y Wuolijoki (1975) y la casa comercial NOKIAN, es a partir de la siguiente expresión (figura A1.7):

$$\mathbf{A = b\ r}\ \text{(neumático)}$$

$$\mathbf{A = b\ (1{,}25\ r + l)}\ \text{(}track\text{)}$$

A: área de contacto (m^2)

b: anchura del neumático (m) o del *track* (m)

r: radio sin carga de la rueda (m)

l: distancia entre los ejes del *bogie* donde va acoplado el *track* (m)

5.2. *Presión nominal sobre el suelo*

La presión sobre el suelo puede calcularse dividiendo la carga vertical que soporta el neumático por la superficie del apoyo. Uno de los índices más utilizados es el de Presión Nominal sobre el Suelo (NGP, *nominal ground pressure*), que utiliza los modelos de área de contacto antes determinados (figura A.1.6).

$$\text{NGP} = \frac{Gw}{A} = \frac{Gw}{b\,r} \text{ (neumático)}$$

$$\text{NGP} = \frac{w+Gt}{A} = \frac{2\,Gw+Gt}{b\,(1{,}25\,r+l)} \text{ (track)}$$

NGP: presión nominal sobre el suelo (kPa)

Gw: carga del neumático (kN)

Gt: peso del track (kN)

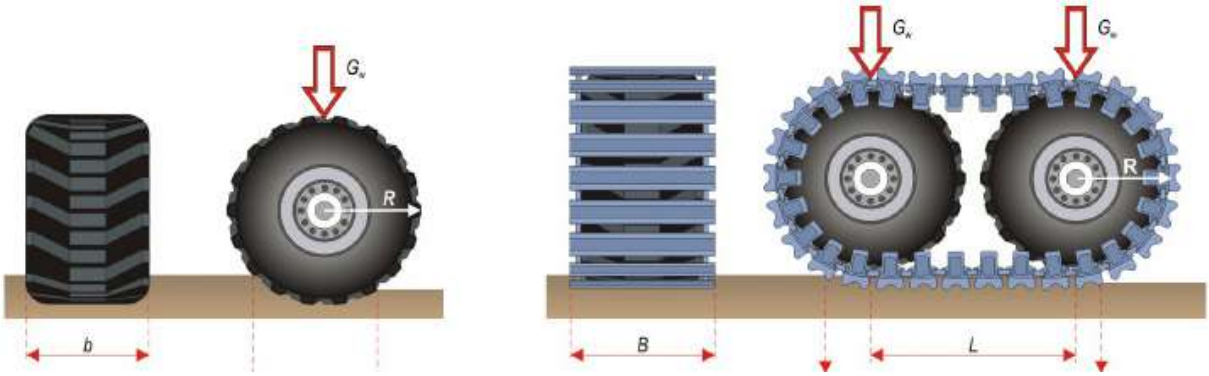


Figura A1.7. Presión nominal del neumático y del *track* (adaptado de Ireland 2006).

Si la presión de inflado no se ajusta a lo que la estructura del neumático exige para que la carga se reparta sobre toda la superficie de la huella, se dan distribuciones de cargas anómalas, además de producirse otros efectos que aceleran su deterioro (Márquez 2010). Si se baja la presión de inflado (o se sobrecarga el neumático), aunque desde el punto de vista teórico tendría que aumentar la superficie de apoyo, resulta que se reduce la presión en el centro de la huella y aumenta en los bordes. En los catálogos de las casas comerciales suele aportarse esta información para los distintos tamaños de neumáticos (tabla A1.5).

Tabla A1.5. Área de contacto y presión sobre el suelo seco para un neumático de tamaño 23.1-26 de la casa comercial Nokian para diferentes cargas. (Diámetro 162 mm, anchura: 587 mm y área de contacto 4 790 cm^2).

	Carga (kg)										
	500	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000	4500	5000	5500
Presión sobre el suelo (kg cm^{-2})	0,14	0,28	0,43	0,57	0,71	0,85	0,99	1,14	1,28	1,42	1,56

6. Accesorios para mejorar la tracción

6.1. Tracks o *semiorugas*

Los *tracks* o semiorugas son unos accesorios de acero que se colocan de forma individual sobre la rueda (*monotracks*) o sobre varias ruedas (*bandtracks*), con el objetivo o finalidad de mejorar el agarre, la tracción, consiguiendo por tanto una mayor estabilidad, tener un menor impacto sobre el suelo y conseguir una mayor durabilidad de los neumáticos (figura A1.8) (Ireland 2006). Al aumentar el área de contacto la presión nominal sobre el suelo disminuye. Como inconvenientes, los tracks pueden dañar las raíces superficiales de los árboles cuando se circula por el interior del monte o en calles muy estrechas, pueden romper los restos de residuos de corta que se distribuyen por la calle incorporándolos a los horizontes superficiales del suelo reduciendo así los efectos beneficios que estos tienen, dificultan el desplazamiento fuera de la superficie del monte, dañando la capa de rodadura de pistas e incorporan restos orgánicos e inorgánicos a la misma (Owende et al. 2002).

Figura A1.8. Travesaños paralelos al eje de giro con pitones rectangulares (izquierda) y detalle de las uniones de alta resistencia de los travesaños y de las extensiones (derecha) (Fotos: J. Pemán).

Están construidos por unos travesaños paralelos al eje de giro de la rueda, con secciones diferentes según las prestaciones que se necesiten, y que gracias a unas uniones de alta resistencia se ajustan al perfil de la rueda. La mayor o menor separación entre los travesaños producirá una mayor o menor flotación sobre el suelo, al igual que las secciones de los travesaños. Perpendiculares al eje del travesaño se insertan, con formas y secciones diferentes unas zapatas, tacos o pitones, que tienen por finalidad aumentar el agarre. Si se quiere conseguir una mayor flotación el travesaño puede dotarse de unas extensiones.

Las diferentes casas que los comercializan, como Clarks u Olofsfors, poseen diferentes modelos según las prestaciones requeridas. Los *tracks* se utilizan con mucha frecuencia en los *bogies* de autocargadores y cosechadoras. Según el modelo, su peso puede oscilar entre 1 400 y 2 500 kg.

Ejercicio

3. **Según los datos de la tabla, calcule el radio de la rueda, el área de contacto y el NGP para las características de los dos autocargadores.**

Peso tractor (kg)	Carga (kg)	Peso track (kg)	Número ruedas	Tipo neumático	Anchura track (mm)	Distancia track entre ejes (m)
15000	8000		8	700/45-26,5		
15000	8000	1.400	8	700/45-26,5	900	1,51

Solución: radio rueda: 0,615 m; Área de contacto: 0,45 (neumático) y 1,36 (track); NGP: 61,77 (neumático) y 51,56 (track).

6.2. Cadenas

Las cadenas constituyen otro accesorio que puede utilizarse en la rueda con la finalidad de conseguir un mayor agarre y, por tanto, capacidad de tracción y una mayor protección del neumático. Se colocan individualmente en cada rueda y es un accesorio muy corriente en el caso de los tractores arrastradores o *skidders* (figura A1.9).

Figura A1.9. Cadenas en las ruedas delanteras de un *skidder* (Fotos: J. Pemán).

Según las características del terreno donde va a ser utilizada puede llevar unos pitones de diferentes dimensiones, varían los diámetros de los anillos y el grosor de la cadena, etc. Su peso, según modelos de las diferentes casas comerciales (Gunnebo, Clarks, etc.), oscila entre 300 y 800 kg.

7. Bibliografía

Hallonborg U (1996) Superellipse as tyre - ground contact area. J Terramechanics 33:125–132.

Ireland D (2006) Traction aids in forestry. Edinburgh.

Márquez L (2010) Neumáticos agrícolas. Agro técnica 1–28.

Nieto R (2012) Manual de mecanización forestal. Rufino Nieto, Cazorla (Jaén).

Saarilahti M (2002) Soil interaction mode. Modelling of the wheel and tyre (APPENDIX REPORT No 5).

Anejo 2
Estudio del trabajo

Jesús Pemán García

1. Introducción

En el cálculo de los costes de las operaciones técnicas para la extracción de los productos forestales del monte es necesario disponer de una estimación precisa de la productividad de dichas operaciones según los diferentes condicionantes que influyen en las mismas. Es por ello que se hace necesario que toda empresa, realice un estudio detenido de cómo realizan los diferentes trabajos. El estudio del trabajo se puede definir como "el examen sistemático de los métodos para realizar actividades con el fin de mejorar la utilización eficaz de los recursos y de establecer normas de rendimiento con respecto a las actividades que se están realizando" (OIT 1996). La ciencia del trabajo es una rama del conocimiento relativa al trabajo y a su medida, que incluye el trabajo en sí mismo, el hombre en el trabajo, las máquinas, las herramientas o cualquier otro equipo empleado en el trabajo así como los métodos de trabajo (Acuna *et al*. 2010). El estudio del trabajo consta de dos técnicas que se complementan:

1. Estudio de métodos. El BSI (1991) lo define como "el registro y examen crítico sistemático de los modos de realizar actividades, con el fin de efectuar mejoras". Su finalidad básica es eliminar los movimientos innecesarios del material o de los operarios y sustituir los métodos malos por otros buenos.

2. Medición del trabajo. El BSI (1991) lo define como "la aplicación de técnicas para determinar el tiempo que invierte un trabajador cualificado en llevar a cabo una tarea definida efectuándola según una norma de ejecución preestablecida". Por trabajador cualificado se entiende "aquel de quien se reconoce que tiene las aptitudes físicas necesarias, que posee la requerida inteligencia e instrucción y que ha adquirido la destreza y conocimientos necesarios para efectuar el trabajo según las normas de seguridad, cantidad y calidad". El trabajador cualificado hay que diferenciarlo del trabajador representativo, que es aquel cuya competencia y desempeño corresponde al promedio del grupo estudiado. La finalidad básica de la medición del trabajo es eliminar el tiempo improductivo y determinar los tiempos necesarios para la ejecución de las diferentes tareas. Siguiendo a Acuna *et al*. (2010), los estudios de medida del trabajo pueden ser de carácter comparativo, tienen por objeto determinar como la productividad o el tiempo consumido es afectado por las distintas alternativas del proceso (máquinas, herramientas, etc.), o de modelización, en donde se pretende modelizar o simular el efecto de los factores clave que influyen en el tiempo invertido.

2. Técnicas de medición del trabajo

Las principales técnicas que se emplean en la medición del trabajo son (OIT 1996):

1. Muestreo del trabajo. Consiste en determinar mediante un muestreo estadístico y observaciones aleatorias el porcentaje de aparición de una determinada actividad.

2. Estimación estructurada.

3. Estimación de tiempos. Consiste en registrar los tiempos y ritmos de trabajo correspondientes a los elementos de una tarea definida, efectuada en unas condiciones determinadas, con el objetivo de conocer el tiempo requerido para efectuar una tarea según una norma de ejecución preestablecida.

4. Normas de tiempo predeterminadas (NTPD). Es una técnica en la que se utilizan tiempos determinados para los movimientos humanos básicos a fin de establecer el tiempo requerido por una tarea efectuada según la norma de ejecución.

2.1. Estimación de tiempos

Las técnicas empleadas en el estudio de tiempos son (OIT 1996):

- Cronometraje o estudio de tiempos
- Datos normalizados
- Método de estimación

2.1.1. El puesto de trabajo. Descomposición en tareas

El análisis del puesto de trabajo consiste en realizar una investigación del mismo con la finalidad de alcanzar un grado de comprensión y conocimiento que permita llevar a cabo mejoras de la forma más efectiva. El análisis del puesto de trabajo conlleva la descomposición de este en tareas o en otras unidades menores o elementos (tabla A2.1 y figura A2.1).

Un ciclo de trabajo es la sucesión de elementos necesarios para efectuar una operación u obtener una unidad de producción. El ciclo de trabajo empieza al comienzo del primer elemento de la operación o actividad y continua hasta el mismo punto.

Tabla A2.1. Descomposición del puesto de trabajo de motoserrista en tareas y elementos en un método de aprovechamiento de árbol completo.

Tareas	Elementos	Descripción
Preparación corta	Limpieza área de corta	
	Determinación zona de caída	
	Preparación del árbol	Eliminación contrafuertes, etc.
Realización corte	Corte entalladura	
	Corte de caída	
Desplazamiento		Desplazamiento por el monte con la motosierra
Mantenimiento motosierra		Afilado y tensado de la cadena, engrasado y repostaje, etc.

La justificación de esta disgregación o subdivisión del puesto de trabajo responde a varias razones: 1) Separar el trabajo productivo de la actividad improductiva, 2) Evaluar la cadencia de trabajo con mayor exactitud que con un ciclo íntegro, 3) Reconocer y distinguir los diferentes elementos que componen las tareas, 4) Aislar los elementos que causan especial fatiga para determinar con mayor exactitud los tiempos marginales de descanso, 5) Hacer una especificación detallada del trabajo, 6) Extraer los tiempos de elementos que se repiten con frecuencia con el objetivo de poder establecer unos tiempos tipo.

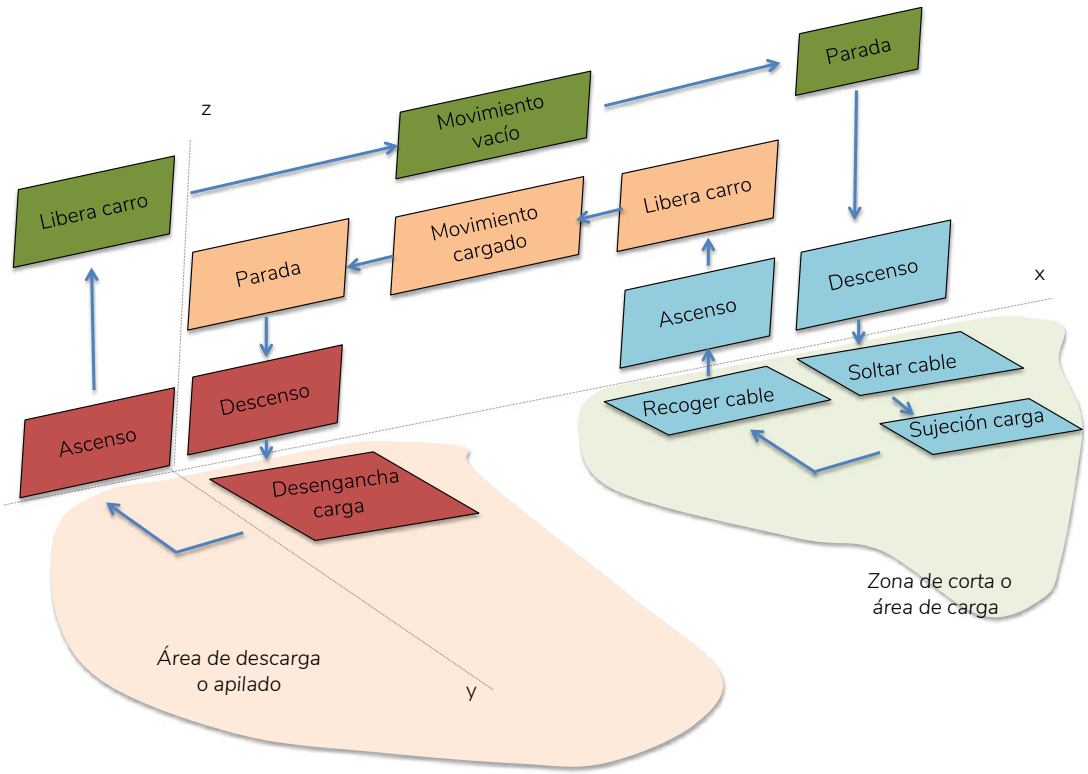


Figura A2.1. Tareas de trabajo en el desembosque mediante cable grúa.

Los elementos que componen las tareas se deben identificar fácilmente tanto su comienzo como su final de modo que pueden ser cronometrados cómodamente.

2.1.2. Cronometraje

Una vez determinados los elementos se puede comenzar la estimación de tiempos o cronometraje. Existen dos procedimientos principales:

1. Cronometraje acumulativo o continuo. El cronómetro va registrando de forma continua todos los tiempos. Se pone en marcha al principio del primer elemento del primer ciclo y no concluye hasta acabar el estudio. Al final de cada elemento se apunta la hora que marca el cronómetro y los tiempos de cada elemento se obtienen en un posprocesado de los datos. Con este procedimiento se garantiza el registro de todo el tiempo del trabajo que se está estudiando (tabla A2.2 y figura A2.2).

Tabla A2.2. Estadillo de cronometraje continuo de desembosque con cable grúa con una estación motriz móvil en una demostración. Las tareas cronometradas son las identificadas con distintos colores en la figura A2.1.

Ciclo trabajo	Tiempo movimiento carro vacío	Tiempo estación carga	Tiempo movimiento carro cargado	Tiempo de descarga	Distancia carga-descarga (m)	Número fustes	Carga (m^3)
14	0:11:48	0:16:19	0:19:41	0:23:10	356	2	1,88
15	0:25:30	0:28:21	0:31:25	0:34:13	356	1	1,18
16	0:35:50	0:38:20	0:41:01	0:43:47	341	1	0,69
17	0:45:28	0:48:31	0:51:36	0:53:52	280	1	1,52
18	0:55:24	0:59:54	1:02:42	1:05:15	278,2	1	0,64
19	1:06:53	1:10:48	1:13:49	1:17:35	278,20	2	1,88

2. Cronometraje con vuelta a cero o discontinuo. Los tiempos de cada elemento se toman directamente, volviendo a cero el cronómetro al comienzo del siguiente. Como ventaja frente al anterior no precisa un posprocesado de los datos para el cálculo de los tiempos de cada elemento.

Figura A2.2. Cronometraje continuo en un trabajo de desembosque con cable grúa (Foto: J. Pemán).

2.1.3. Clasificación de tiempos

En los trabajos forestales, se toma como referencia en la denominación de los tiempos las denominaciones de IUFRO (Björheden et al. 2000), que distinguen los diferentes tipos de tiempo:

1. Tiempo total (TT, *Total time*).

1.1. Tiempo fuera del lugar de trabajo (NW, *non-workplace time*). Parte del tiempo total que el trabajador no utiliza para la realización de una tarea específica (figura A2.3).

1.1.1. Tiempo no útil **(**UN, *unutilized time*). Parte del tiempo invertido fuera del lugar de trabajo que el trabajador está fuera del trabajo.

1.1.2. Tiempo de viaje o desplazamiento (TR, *travel time*). Parte del tiempo invertido fuera del lugar de trabajo que el trabajador utiliza para desplazarse al o desde el lugar de trabajo, antes y después del mismo.

Figura A2.3. El traslado de máquinas y trabajadores al lugar de trabajo es tiempo fuera del lugar de trabajo (Fotos: J. Pemán).

1.2. Tiempo en el lugar de trabajo o de presencia (WP, *workplace time*). Parte del tiempo total que un sistema productivo es dedicado o empleado en la realización de una tarea específica.

1.2.1. Tiempo no trabajado o no operativo (NT, *non-work time*). Parte del tiempo desarrollado en el lugar de trabajo que no desarrolla un trabajo específico (figura A2.4).

1.2.1.1. Tiempo de interrupciones o perturbaciones (DT, *disturbance time*). Parte del tiempo no trabajado que es considerado una interrupción sin conexión, directa o indirecta, con la terminación de una tarea: inclemencias meteorológicas, visitas, daños, recabar información, etc.

1.2.1.2. Tiempo de demora relacionado con el trabajo (WD, *work-related delay time*). Parte del tiempo no trabajado.

1.2.1.2.1. Tiempo para comer (ME, *meal time*).

1.2.1.2.2. Tiempo personal y de descanso (RT, *rest and personal time*).

1.2.1.2.3. Tiempo de interferencias (IT, *interference time*). Parte del tiempo de demora en los cuales no se desarrolla ninguna actividad como consecuencia de las interferencias producidas.

Figura A2.4. Tiempo de interrupciones por visitas (izquierda) o perturbaciones producidas por el atrapamiento de la motosierra (derecha) (Fotos: J. Pemán).

1.2.2. Tiempo operativo o de trabajo (WT, *work time*). Parte del tiempo en el lugar de trabajo que un sistema productivo es dedicado o empleado a la realización de una tarea específica.

1.2.2.1. Tiempo de trabajo productivo (PW, *productive work time*). Parte del tiempo de trabajo que es invertido directamente en la realización de una tarea.

1.2.2.1.1. Tiempo de trabajo principal (MW, *main work time*). Parte del tiempo de trabajo productivo invertido en cambiar el objeto del trabajo en relación a su forma, posición o estado dentro de la tarea.

1.2.2.1.2. Tiempo de trabajo complementario (CW, *complementary work time*). Parte del tiempo de trabajo productivo en el que no cambia el objeto de trabajo en relación a su forma, posición o estado, pero se precisa para completar la tarea (cambio de posición del operario, de la máquina, limpieza del área de trabajo, etc.)

1.2.2.2. Tiempo de trabajo de apoyo (SW, *supportive work time*). Parte del tiempo de trabajo que no se invierte en completar una tarea, pero es necesario como soporte (figura A2.5).

1.2.2.2.1. Tiempo de preparación (PT, *preparatory time*). Parte del tiempo de apoyo invertido en la puesta a punto de las máquinas y las condiciones del lugar de trabajo.

1.2.2.2.1.1. Tiempo de traslado (RL, *relocation time*)

1.2.2.2.1.2. Tiempo de planificación (PL, *planning time*)

1.2.2.2.1.3. Tiempo de preparación de operaciones (OP, *operational preparatory time*)

1.2.2.2.1.4. Tiempo de cambio (CO, *change-over time*)

1.2.2.2.1.4.1. Tiempo de instalación o montaje (SU, *set-up time*)

1.2.2.2.1.4.2. Tiempo de desinstalación o desmontaje (take-down time).

1.2.2.2.2. Tiempo de servicio (ST, *service time*). Parte del tiempo de apoyo invertido en mantener la capacidad de trabajo de las máquinas.

1.2.2.2.2.1. Tiempo de reparación (RT, *repair time*)

1.2.2.2.2.2. Tiempo de mantenimiento (MT, *maintenance time*).

1.2.2.2.3. Tiempo de trabajo auxiliar (AW, *ancillary work time*). Parte del tiempo de apoyo invertido en la realización de tareas auxiliares que permiten que el trabajo continúe en un sistema productivo (auxiliar a máquinas y trabajadores, etc.).

Figura A2.5. El afilado de la cadena de la motosierra se considera tiempo de servicio (izquierda) y la instalación de las máquinas tiempo de preparación (derecha) (Fotos: J. Pemán).

2.1.4. Modelos de tiempo

2.1.4.1. Modelos de tiempos productivos reales observados

Se expresan mediante ecuaciones que proporcionan el valor medio más probable del tiempo productivo para una determinada operación en función de los parámetros que hayan resultado más significativos. Para transformar los tiempos productivos en tiempos de trabajo se emplean unos coeficientes de productividad. Normalmente los coeficientes de productividad más usa-

dos relacionan diferentes tipos de tiempo, como: 1) tiempo de trabajo productivo (PW) / tiempo operativo (WT), 2) tiempo de trabajo productivo (PW) / tiempo en el lugar de trabajo (WP) o 3) tiempo operativo (WT) / tiempo en lugar de trabajo (WP).

2.1.4.2. Modelos de tiempos básicos o normales

Estos modelos definen los tiempos bajo unas condiciones ideales de trabajo y se expresan en función de parámetros de primer orden como el volumen unitario medio, la distancia entre calles o el tamaño de una pila (tabla A2.3).

Tabla A2.3. Modelos tiempos básicos (V, volumen unitario medio m^3 pie^{-1}).

Operación	Modelo	Características
Apeo con motosierra	$t_{básico}$ (min m^{-3}) = 3,5 + $\frac{0,4643}{V}$	Eucalipto. V (m^3): volumen medio árbol extraído (Ibersilva)
	$t_{básico}$ (min m^{-3}) = 3 + $\frac{0,4643}{V}$	Masas artificiales. V (m^3): volumen medio árbol extraído (FAO)
	$t_{básico}$ (min m^{-3}) = 4,172 + $\frac{0,297}{V}$	Árboles grandes (> 1 m^3). V (m^3): volumen medio árbol extraído
	$t_{básico}$ (min m^{-3} c.c) = 10,56 + $\frac{0,1882}{V}$	Eucalipto. Menos de la mitad del fuste con ramas. V (m^3): volumen medio árbol extraído. (Ibersilva)
	$t_{básico}$ (min m^{-3} c.c) = 10,92 + $\frac{0,5630}{V}$	Eucalipto. Ramas entre el 50 y 75% del fuste V (m^3): volumen árbol medio (Ibersilva)
	$t_{básico}$ (min m^{-3} c.c) = 12,30 + $\frac{1,1601}{V}$	Eucalipto. Con ramas en más del 75% del fuste, V (m^3): volumen medio árbol extraído (Ibersilva)
	$t_{básico}$ (min m^{-3} c.c) = 5,6141 + $\frac{0,8774}{V}$ + 27,7894 R	V (m^3): volumen medio árbol extraído, R: ramosidad en tanto por 1
Tronzado	$t_{básico}$ (min m^{-3}) = 4,62 + $\frac{0,7998}{V}$	Longitud troza 2 m (FAO)
	$t_{básico}$ (min m^{-3}) = 4,78 + $\frac{0,6886}{V}$	Longitud troza 2,5 m (FAO)
	$t_{básico}$ (min m^{-3}) = 3,73 + $\frac{0,5297}{V}$	Longitud troza 4 m (FAO)
	$t_{básico}$ (min m^{-3}) = 3,23 + $\frac{0,4492}{V}$	Longitud troza 5 m (FAO)
Desembosque con skidder	t productivo (10^{-2} min) = 462,2 Vcycle + 17,10 slope – 781,5	Vcycle (m^3): volumen extraído por ciclo, slope (%): pendiente. (Canga et al. 2014)
	t ciclo (min) = 3,007 + 0,10D+0,20Ds	D: distancia de desembosque (m) y Ds: producto distancia de desembosque y pendiente (%) (Loftalian et al. 2011)

A partir de estos tiempos básicos se pueden determinar los tiempos reales mediante la aplicación de unos coeficientes de corrección que adapten esas condiciones ideales a las condiciones

propias de trabajo. Estos coeficientes de corrección pueden tener en cuenta aspectos como: 1) Fisiografía, 2) Altitud, 3) Condiciones higrométricas, 4) Densidad de corta, 5) Peso medio de los operarios, 6) Edad media de los operarios, 7) Profesionalidad, 8) Proporción de incentivos en el salario y 9) Descansos.

La relación entre el tiempo real y el básico se expresa mediante la expresión:

$$t_R = t_B\ (1 + \sum (F_i))$$

siendo, Fi los diferentes coeficiente de corrección (tablas A2.4 y A2.5) (FAO 1984).

Tabla A2.4. Coeficientes de corrección.

Coeficiente corrección	Operaciones manuales	Operaciones mecanizadas	Parámetros
Fisiografía	$0{,}02 + 0{,}15\ L_n\ \mathbf{C_m}$	$(10\ \mathbf{C_m}^2 - 5\ \mathbf{C_m} - 5)/100$	C_m: coeficiente movilidad Terreno llano (1 a 1,5), Ligera pendiente y matorral moderado (1,5 a 2), Muy pendiente o mucho matorral (2 a 2,5), Muy pendiente y mucho matorral (> 2,5) L_n:
Altitud (> 1000 m)	(**H**-1000)/10000		H (m): altitud
Condiciones higrotérmicas	**R**/100	**R**/200	R: coeficiente de pérdida de tiempo (tabla 5)
Densidad corta	$0{,}25 - 0{,}01\ \mathbf{X}^{0{,}06}$	0,66 – (**X**/2250 **V**)	X ($m^3\ ha^{-1}$): densidad corta media V (m^3 pie $^{-1}$): volumen unitario medio
Peso operarios (< 72,5 kg)	0,5 ((72,5 – p)/ p)		p (kg): peso medio
Edad operarios (> 35 años)	0,016 (e -35)		e (años): edad media
Profesionalidad (n < 5 en trabajos manuales y n < 8 mecanizado)	(1,5/n) – 0,3	(1,5/n) – 0,3 (skidder) y (2,4/n) – 0,3 (otras máquinas)	n: meses aprendizaje
Incentivos (u < 0,35)	1,14 (0,35 – u)	0,71 (0,35 – u)	u: tanto por uno de destajos en relación a la parte fija del salario
Descansos	0,10		

Tabla A2.5. Coeficientes de corrección por las condiciones higrotérmicas (R).

Temperatura (°C)	Humedad relativa aire (%)			
	< 70	70	80	90
35	50	100	200	300
34	30	70	120	200
33	20	45	75	125
32	15	30	50	75

Temperatura (°C)	Humedad relativa aire (%)			
	< 70	70	80	90
31	10	20	30	50
30	8	10	20	30
20	6	8	10	15
0	2	2	2	2
-10	0	0	0	0
-20	-2	-2	-2	-2

3. Rendimientos o productividad

La productividad, entendida como la relación entre la producción obtenida y el tiempo utilizado para obtenerla, se puede calcular a partir de: 1) Modelos de tiempo o 2) Ajuste directo a partir de los datos registrados de rendimiento en cada ciclo de trabajo.

3.1. Modelos de tiempo

Un buen ejemplo de estos modelos son los de Ambrosio *et al.* (2001), que han determinado unas ecuaciones de rendimiento para las diferentes operaciones de corta y desembosque en claras sobre *Pinus sylvestris*. El coeficiente de productividad utilizado relaciona PW/WP (tabla A2.6).

Tabla A2.6. Modelos de rendimiento para las diferentes operaciones (h: hora productiva; Cp: coeficiente de productividad).

Operación	Modelo	Características
Apeo con motosierra	R ($m^3\ h^{-1}$) = 113,597 $(Vu/p)^{0,725307}$	Vu (m^3): volumen medio árbol extraído, p(%): pendiente Cp:0,85 (Vignote et al. 2001)
Desramado y despuntado con motosierra	R ($m^3\ h^{-1}$ trabajo) = $\frac{Vu}{0,0164+0,0001d^2+\frac{2,2133}{Ne^{0,8701}}}$	V_u (m^3): volumen medio árbol extraído, d(cm): diámetro y Ne: número de pies extraídos
Apeo y desramado con motosierra	R ($m^3\ h^{-1}$ trabajo) = $\frac{Vu}{0,0013+0,0034d+\frac{3,33047}{Ne^{0,8701}}}$	V_u (m^3): volumen medio árbol extraído, d(cm): diámetro y Ne: número de pies extraídos
Apeo, desrame y tronzado con motosierra	R ($m^3\ h^{-1}$ trabajo) = 7,5 $\frac{Vu^{0,4}}{p^{0,2}}$	V_u (m^3): volumen medio árbol extraído, d(cm): diámetro y Ne: número de pies extraídos
	R ($m^3\ h^{-1}$ trabajo) = 5,7 $\frac{Ve^{0,02}}{p^{0,38}}$	Ve (m^3): volumen extraído por hectárea, p(%): pendiente. Pila grande
	R (m^3 c.c. h^{-1}) = 0,5977 $\frac{Vext^{0,32}}{p^{0,19}}$	Vext (m^3): volumen extraído por hectárea, p(%): pendiente. Cp: 0,83. (Tolosana et al. 2002)

Operación	Modelo	Características
Apeo, procesado y tronzado con cosechadora	$R\ (m^3\ c.c.\ h^{-1}) = 160{,}23\ \frac{Vunit^{0,972}}{(p+3{,}3)^{0,305}}$	Vu (m^3): volumen unitario, p(%): pendiente. Cosechadora media. Cp: 0,77. (Vignote et al. 2001)
	$R\ (m^3\ c.c.\ h^{-1}) = 0{,}07686\ V_{ext} + \frac{21{,}3}{p}$	Vext (m^3): volumen extraído por hectárea, p(%): pendiente. Cosechadora ligera. Cp: 0,81. (Vignote et al. 2001).
Apilado manual	$R\ (m^3\ h^{-1}) = 2{,}30757 + 3{,}94425\ (Ltroz/p)$	Ltoz (m): longitud troza, p(%): pendiente. (Vignote et al. 2001)
Reunión con tracción a sangre	$R\ (m^3\ h^{-1}) = \frac{2724}{59{,}9618 + 8{,}62097\ Disctrocha + 6{,}30515\ Disvtrocha + 45{,}5185\ Nt}$	Disctrocha (m): distancia recorrida arrastrando por la trocha, Disvtrocha (m): distancia recorrida de vacío por la trocha, Nt: número de trozas desemboscadas en cada ciclo. Cp:0,52. (Ambrosio et al 2001)
Desembosque con tracción a sangre	$R\ (m^3\ h^{-1}\ productiva) = \frac{3384}{-599{,}92 + 2{,}35483\ Disctrocha + 139{,}383\ Nt + 20{,}452\ p}$	Disctrocha (m): distancia recorrida arrastrando por la trocha, p (%): pendiente, Nt: número de trozas desemboscadas en cada ciclo. Cp: 0,83. (Ambrosio et al 2001)
Desembosque con autocargador pesado	$R\ (m^3\ h^{-1}) = \frac{1}{4067 + 1{,}533 * 10^{-5}(p+11{,}5) + 2{,}0376 * 10^{-3}\ Distdesem^{0{,}424}}$	p(%): pendiente, D(m): distancia desembosque. Cp: 0,89. (Vignote et al. 2001)
Desembosque con autocargador ligero	$R\ (m^3\ h^{-1}) = \frac{1}{461 + 1{,}796 * 10^{-5} p * (p+11{,}5) + 2{,}3866 * 10^{-3}\ Distdesem^{0{,}424}}$	p(%): pendiente, D(m): distancia desembosque. Cp: 0,8 (Vignote et al. 2001)
Desembosque con skidder	$R\ (m^3\ h^{-1}) = 36{,}39 - 0{,}74 * p + 0{,}05 * Vext$	p(%): pendiente, Vext(m^3): volumen extraído. Cp: 0,83. (Vignote et al. 2001)
	Rendimiento ($m^3\ h^{-1}$ trabajo) = 1,662 – 0,022 $Dist^{0.70}$ – 0,084 Winch + 2,699 Piece size + 0,040 kW + 1,136 Chokerman	Dist: distancia desembosque (m), kw: Potencia tractor (kw) Piece size: Volumen extraído ciclo (m^3), Winch: distancia arrastre (m), Chokerman: variable binaria. 0: si solo está el conductor, 1: si hay un ayudante. (Spinelli and Magagnotti 2012)
Desembosque con tractor agrícola	$R\ (m^3\ h^{-1}) = 9{,}81178 - 0{,}404825 * D/Vext$	D(m): distancia desembosque, Vext(m^3): volumen extraído. Cp:0,78 (Vignote et al. 2001)

4. Bibliografía

Acuna M, Bigot M, Guerra S, et al. (2010) Good practice guidelines for biomass production studies. CNR IVALSA, Sesto Fiorentino.

Ambrosio Y, Tolosana E, Vignote S (2001) Rendimientos y costes de los aprovechamientos en claras sobre repoblaciones de pino silvestre (Pinus sylvestris). III Congr. For. Español.

Björheden R, Apel K, Shiba M, Thompson M (2000) Forest work study nomenclature.

Canga E, Fanjul A, Sanchez-Garcia S, et al. (2014) Replacement of steel cable with synthetic rope in mountain logging operations in castanea sativa mill. coppice stands. For Syst 23:461–469. doi: 10.5424/fs/2014233-05251.

FAO (1984) La explotación maderera de los bosques de montaña. Roma.

OIT (1996) Introducción al estudio del trabajo. Oficina Internacional del Trabajo, Ginebra.

Anejo 3

La cadena de la motosierra

Jesús Pemán García

1. Estructura de la cadena

La cadena es el elemento de corte de la motosierra gracias a los dientes gubia o de corte que están dispuestos a lo largo de toda su longitud. La cadena de una motosierra está compuesta por tres tipos de piezas (figura A3.1):1) Dientes gubia o de corte, 2) Eslabones motrices y 3) Eslabones de unión.

Figura A3.1. Elementos constitutivos de la cadena de una motosierra. 1: Dientes gubia, 2: Eslabones motrices y 3: Eslabones de unión.

1.1. Dientes gubia o dientes de corte

Se colocan de forma alterna en los extremos de la sección de la cadena a ambos lados de los eslabones motrices. Cada diente debe estar unido a dos eslabones motrices. Según el sentido de la arista de corte se diferencian dientes de corte derechos y dientes izquierdos. Estos dos tipos de diente se combinan de forma alterna a lo largo de la cadena.

El diente gubia se compone de una serie de partes, entre las que destacan: 1) Placa superior, 2) Arista de corte, 3) Placa lateral, 4) Garganta y 5) Limitador de profundidad (figura A3.3 izquierda). La distancia entre el plano definido por la placa superior y el limitador de profun-

didad determina la profundidad del corte. Normalmente es de 0,65 mm (figura A3.3 centro). El ángulo de ataque es el que forma la arista de corte de la placa superior respecto de un plano vertical (figura A3.3 superior derecha). Oscila entre 30° para maderas duras y 35° para maderas blandas. El ángulo de corte es el que forma el bisel de la placa superior con el plano horizontal. Su finalidad es permitir el corte de las fibras. Es de 60°.

Figura A3.3. Partes de un diente gubia izquierdo.1: Placa base, 2: Arista de corte, 3: Placa lateral, 4: Garganta, 5: Limitador de profundidad, 6: Orificios de los remaches, 7: Talón y 8: Punta (izquierda). Profundidad de corte (centro). Ángulo de ataque (superior derecha) y Ángulo de corte (inferior derecha) (Fuente: STIHL).

El funcionamiento de los dientes de corte responde al principio de corte de los cepillos de carpintero (figura A3.4 izquierda). En la secuencia del diente gubia en el momento de corte (figura A3.4 derecha) se observa como a partir de que el diente entra en contacto con la madera (2) se separa de la espada ligeramente y realiza el corte (3) para regresar a la misma y expulsar el serrín (4) cuanto este se termina.

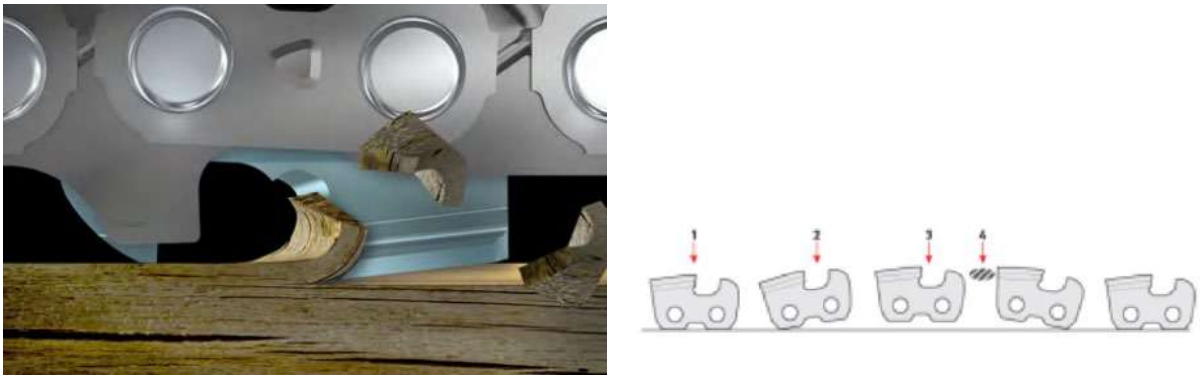


Figura A3.4. Funcionamiento del diente gubia (Fuente: STIHL Y OREGON).

Hay una gran variedad de dientes gubia distinguiéndose, según su perfil, los tipos chisel, semi-chisel, micro-chisel, chamfer-chisel o chipper (OREGÓN 2004; Wolf y Whitlock 2006) (fi-

gura A3.5). El diente *chipper*, redondo o triturador, es muy versátil y fácil de afilar, siendo muy tolerante a la suciedad y el polvo. Su corte es muy suave, aunque su rendimiento en el corte es menor. El *chisel*, cincel o cuadrado, es el diente más agresivo, recomendado para conseguir alta productividad y para ser usado por motoserristas expertos. Se desafila con facilidad cuando está expuesto a suciedad o polvo. No se recomienda para desbrozar o desramar por su riesgo de golpe de rebote. El diente *semi-chisel*, o semi-cincel, da unas prestaciones intermedias a los dos anteriores. Es menos agresivo y más tolerante a la suciedad y el polvo que el *chisel* pero mejora el rendimiento del *chipper*.

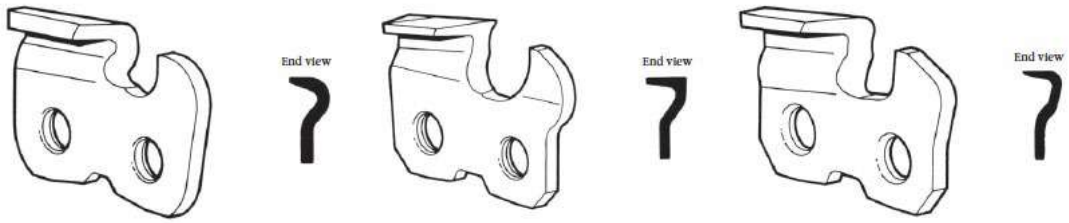


Figura A3.5. Diente gubia tipo *chipper* (izquierda), *chisel* (centro) y *semi-chisel* (izquierda) (Wolf y Whitlock 2006).

La separación de los dientes gubia en la cadena define la secuencia de dientes de corte (figura A3.6). Puede ser: 1) Estándar. La separación es de un eslabón de unión. Recomendada para longitudes de espada hasta 61 cm. 2) Salto (skip). La separación es de dos eslabones de unión. Recomendadas para longitudes de espada superiores a 81 cm. 3) Semi-salto (semi-skip). La separación del diente derecho al izquierdo es de dos eslabones y del izquierdo al derecho de uno. Recomendada para longitudes de espada de 61 a 81 cm.

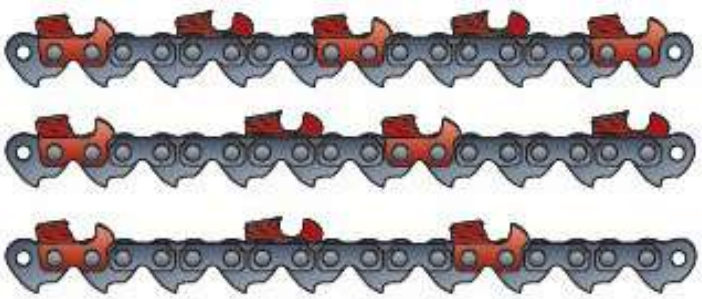


Figura A3.6. Secuencia entre dientes de corte. Estándar (superior), Semi-salto (centro), Salto (inferior) (Funte: OREGÓN).

1.2. Eslabones motrices o guía

Tienen forma de aleta de tiburón (figura A3.7). Esta aleta es la que corre por dentro del riel de la espada. Van en la parte central de la sección de la cadena. La galga o calibre de este eslabón debe adecuarse, por tanto, al ancho del riel de la espada. Conforma uno de los parámetros a elegir de la cadena. El número de eslabones motrices determina la longitud de la cadena.

Figura A3.7. Eslabón motriz (Fuente: STIHL).

Los eslabones llevan grabado un número que representa el código de su calibre (1: 1,1 mm (0,043”); 3: 1,3 mm (0,05”); 5: 1,5 mm (0,058”); 6: 1,6 mm (0,063”).

1.3. Eslabones de unión

Sirven para unir los eslabones motrices con los dientes de corte. Los hay que van provistos del remache (figura A3.8).

Figura A3.8. Eslabones de unión.

Conocida la estructura de la cadena, solo queda comentar los parámetros que la definen y permiten su correcta determinación. Estos parámetros son: 1) Paso, 2) Galga o calibre, 3) Tipo de diente gubia y 4) Secuencia entre dientes gubia.

A excepción del paso, los otros parámetros ya se han comentado. El paso es un parámetro de gran interés, ya que determina la potencia que debe tener la motosierra, y se define por la distancia entre 3 remaches consecutivos dividida por 2 (figura A3.9). Los pasos más corrientes son: 6,35 mm (1/4”), 8,25 mm (0,325”), 9,32 mm (3/8”), 10,26 mm (0,404”) y 19,05 mm (3/4”).

Figura A3.9. Paso de la cadena de una motosierra

2. Denominación de las cadenas

Las cadenas se denominan por una combinación de números y letras: 18 HX, 72 LPX, etc. El número inicial hace relación a una combinación del paso y galga de la cadena (tabla A3.1).

Tabla A3.1. Referencias OREGON de las cadenas según su paso y galga (OREGÓN 2004).

Referencia	Paso (mm)	Galga (mm)	Referencia	Paso (mm)	Galga (mm)
11	19,05	3,1	58	10,26	1,5
16	10,26	1,6	59	10,26	1,6
18	10,26	2	72	9,32	1,3
20	8,25	1,3	73	9,32	1,5
21	8,25	1,5	75	9,32	1,6
22	8,25	1,6	90	9,32	1,1
25	6,35	1,3	91	9,32	1,3
26	10,26	1,5	95	8,25	1,3
27	10,26	1,6			

Las letras hacen referencia al tipo de diente de corte, a la secuencia de los dientes, las características de seguridad o a los tratamientos físicos de los dientes (tabla A3.2).

Tabla A3.2. Referencias OREGON de las cadenas según el tipo de diente, secuencia y elementos de seguridad (OREGÓN 2004).

Referencia	Cadena según tipo de diente, secuencia y elementos de seguridad
AC	Diente tipo *chipper*. Separación *estándar* de los mismos
AP	Diente *chisel* con eslabón de seguridad. Separación *estándar* de los dientes. Excepto la 72AP que están *en salto* y los dientes son *semi-chisel*.
BC	Cadena con diente *chipper* (solamente para la 11 BC)
BPX	Cadena con dientes *micro-Chisel* de baja vibración y con eslabones motrices antirebote
DX	Dientes *semi-chisel*. Separación *estándar* de los dientes
DPX	Dientes semi-chisel. Eslabón motriz de seguridad y separación *estándar* de los dientes
H	Dientes *micro-chisel* o *semi-chisel* con chasis *estándar*, modificada para aplicaciones Harvester
L	Dientes *chisel* con secuencia *estándar*
LGX	Dientes *chisel* con talones de profundidad en rampa y separación *estándar* de los dientes. Las cadenas de la serie 33LG son cadenas de bajas vibraciones.
LPX	Cadenas de baja vibración con dientes *chisel* y eslabón motriz anti-rebote
LX	Cadena de Afilado Automático. Talón de profundidad en rampa y eslabones motrices de seguridad. Separación estándar de los dientes (no es necesario un mantenimiento manual).
M	Cadena especial con dientes *chisel* (M73, 75LP, M21, 22LP) y BDL o diente chaflan-chisel (M91VS) y talón de profundidad en rampa para un corte eficiente en condiciones abrasivas extremas.
R	Cadena *ripping* con dientes *chisel* (91R) o *micro-chisel* (95R,27R), secuencia *estándar*
RA	Cadena *ripping* con dientes *micro-chisel*. Separación *en salto* de los dientes

Referencia	Cadena según tipo de diente, secuencia y elementos de seguridad
RD	Cadena *ripping* con dientes *chisel* y secuencia *estándar*
SG	Baja vibración con talón en rampa, eslabón de unión con "chepa, secuencia *estándar* y ranura estrecha en el corte
VG	Baja vibración con diente *chisel*, talón de profundidad en rampa, unión de seguridad secuencia *estándar*
VPX	Dientes *micro-chisel*, baja vibración, talón de profundidad en rampa, eslabón motriz de seguridad diseño más estrecho (sólo la 95VPX)
VX	Baja vibración con dientes *chisel*, talón de profundidad en rampa, secuencia *estándar*
VXL	Cadena con dientes *semi-chisel* de baja vibración con diente de corte extra-largo, talón de profundidad en rampa, secuencia *estándar*

Uno de los dispositivos que pueden incorporar las motosierras para reducir el riesgo de rebote son las llamadas cadenas de seguridad o de baja vibración. Estas cadenas se recomiendan para su uso por motoserristas con baja experiencia profesional que no saben contrarestar el posible efecto de rebote. La Agencia de Normalización Estadounidense, *American National Standards Institute* (ANSI), establece las características de las cadenas de bajo riesgo de rebote para las motosierras de gasolina en su norma ANSI B175.1-2000 (tabla A3.3).

Tabla A3.3. Modelos de cadenas de baja vibración o efecto rebote que cumplen con lo estipulado en la norma ANSI B175.1-2000 (LX: cadena de afilado automático. Talón de profundidad inclinado y eslabones motrices de seguridad. Separación estándar de los dientes. SL: cortadores chisel redondeadas con medidor de profundidad en rampa, correas de unión de tope y patrón estándar. V: Cortadores chisel Vanguard redondeados de baja vibración con patrón estándar y medidores de profundidad de pista ancha, VG: VP: Diente micro chisel baja vibración, talón de profundidad inclinado, eslabón motriz de seguridad diseño más estrecho) (OREGÓN 2004).

Paso de cadena (mm)	Galga o espesor del eslabón motriz (mm)			
	1,1	1,3	1,5	1,6
8,25 (0,325")		33SL 95VP corte angosto	34SL	35 SL
9,32 (3/8")		72V	73V	75V
9,32 (3/8") Serie 90	90S corte angosto (Kerf)	91P, 91VG 91LX		

La casa STHIL ofrece espadas y cadenas de bajo riesgo de rebote que cumplen con los requisitos de la norma ANSI 175.1- 2000. Para el uso de estas cadenas se diseñaron también espadas que reducen el mismo riesgo. Dicha casa ideó un sistema de codificación por color, asignando el color verde a las que cumplen con esta característica. Los productos con etiquetas amarillas son para los usuarios que tienen experiencia y capacitación probada para hacer frente al golpe de rebote (STHIL 2009).

Anejo 4
Cable de acero y sintético

Jesús Pemán García

1. Cable de acero

Los cables son elementos flexibles implementados en **máquinas y aparatos de transporte** que lo utilizan para trasladar cargas. Están constituidos por alambres agrupados en cordones, que a su vez se enrollan sobre un alma formando un conjunto apto para resistir esfuerzos. Existen diferentes normas UNE que regulan su diseño, seguridad y los diferentes accesorios (tabla A4.1).

Tabla A4.1. Normas sobre cables de acero para transporte de cargas.

Código	Año	Título
UNE 36-714-76	1976	Cables de acero para teleféricos y funiculares
UNE 36-710-84	1984	Cables de acero para usos generales
UNE-EN 12385-1: 2003 + A1	2008	Cables de acero. Seguridad. Parte 1: Requisitos generales
UNE-EN 12385-2: 2004 + A1	2008	Cables de acero. Seguridad. Parte 2: Definiciones, designación y clasificación
UNE-EN 12385-3: 2004 + A1	2008	Cables de acero. Seguridad. Parte 3: Información para la utilización y mantenimiento
UNE-EN 12385-4: 2003 + A1	2008	Cables de acero. Seguridad. Parte 4: cables trenzados para aplicaciones generales de elevación
EN 13001-1		Grúas. Requisitos generales de diseño. Principios generales y especificaciones
En 13001-2		Seguridad de las grúas. Requisitos generales de diseño. Acciones de la carga
EN 13411-1		Terminales para cables de acero. Seguridad. Parte 1: Guardacabos para eslingas de cables de acero
EN 13411-2		Terminales para cables de acero. Seguridad. Parte 2: Empalmes de ojales para eslingas de cables de acero
EN 13411-3		Terminales para cables de acero. Seguridad. Parte 3: Casquillos y asegurado de casquillos
EN 13411-4		Terminales para cables de acero. Seguridad. Parte 4: Terminal cónico de metal y resina
EN 13414-1: 2004		Eslingas de cable s de acero. Seguridad. Aplicaciones generales de elevación
UNE 58-524-89	1989	Cadenas de elevación no calibradas de redondo de acero y eslingas de cadena
ISO 4309: 2010	2010	Cranes -- Wire ropes -- Care and maintenance, inspection and discard

1.1. Elementos del cable

Un cable de acero está compuesto por: 1) Alambre, 2) Cordón, 3) Alma (figura A4.1).

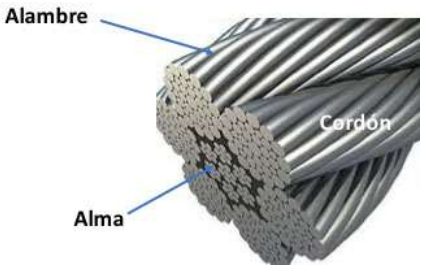


Figura A4.1. Partes de un cable metálico

1. Alambre. Hilo de acero de sección normalmente cilíndrica. Constituye el elemento básico del cable. Una de las características más relevantes es su grado de resistencia a la tracción. La unidad en la que suele expresarse son N mm^{-2}. Los alambres que se utilizan pueden ser de diferentes calidades que representan diferentes capacidades de resistencia a la tracción. Según la norma UNE-EN 12385-4: 2003 + A1 las calidades pueden ser 1770 (1570 a 1960 N mm^{-2}), 1960 (1770 a 2160 N mm^{-2}) y 2160 (1960 a 2160 N mm^{-2}).

2. Cordón o torón. Elemento constituido por el enrollamiento de un número variable de alambres de acero de igual o distinto diámetro. Según la configuración y características de los alambres los hay de distintos tipos (figura A4.2):

- Normal (sin símbolo). Alambres de igual diámetro.

- *Seale* o sellado (S). Dos capas de alambres sobre un alambre central. Cada capa tiene el mismo número de alambres. Los alambres de la capa exterior son de mayor diámetro que los de la interior. Son muy resistentes a la rotura y abrasión, pero no a la flexión y al aplastamiento.

- *Warrington* (*W*). En su capa externa dispone de hilos de mayor y menor diámetro colocados de forma alternativa. El número de hilos de esta capa es el doble que los de la interna. Gran resistencia a la flexión, rotura y aplastamiento. No es muy utilizado en el ámbito forestal por ser escasa su resistencia a la abrasión.

- *Warrington-Seale* (*WS*). Combinación de los anteriores. Presenta mayor resistencia a la abrasión y menor al resto.

- *Filler* o relleno (F). Igual que el normal, pero en los huecos se rellenan con alambres de menor diámetro. Generalmente el número de alambres de la capa exterior son el doble del número de alambres gruesos de la capa interior. El número de alambres de menor diámetro de la

capa interna es igual al número de alambres gruesos de la capa interior. Poseen una gran resistencia al aplastamiento, flexión y rotura. Menor a la abrasión.

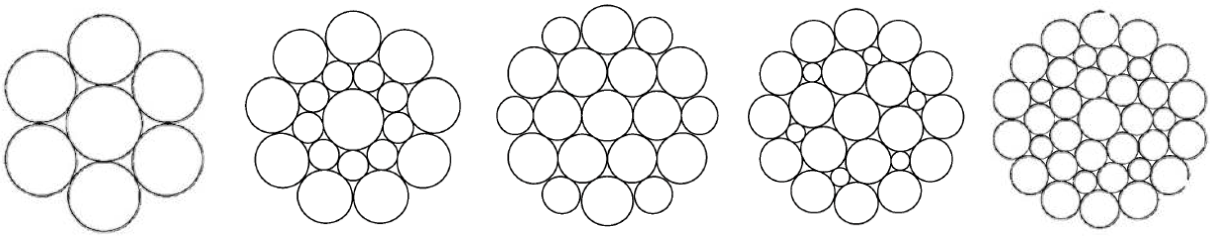


Figura A4.2. Esquema de tipos de cordón. Normal (izquierda), Seale (centro izquierda), Warrington (centro), Filler (centro derecha) y Warrington-Seale (derecha) (Fuente: EN 12385-2:2002+A1:2008).

Las diferentes configuraciones pueden sufrir un proceso o no de compactación (trefilado, embutido, enrollado, amartillado) que proporciona una superficie exterior plana que ofrece una mayor resistencia a la abrasión y a la rotura (figura A4.3). Del mismo modo, proporciona una mayor sección metálica a igualdad de diámetro del cable y mejora el contacto del cable con la polea.

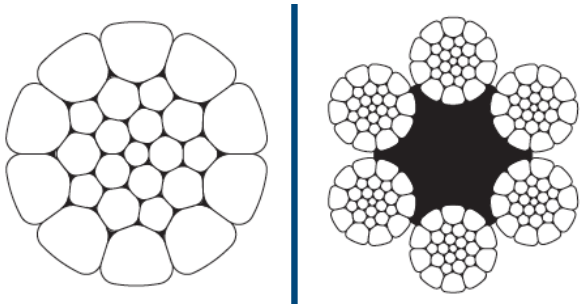


Figura A4.3. Cordón compactado (izquierda) y cable con cordones compactados (derecha) (Fuente: (CAMESA 2008)).

3. Alma. Es el soporte en torno al cual se trenzan los cordones de acero. Pueden ser metálicas o de fibra. En el caso de alma de fibra, el polipropileno es la más frecuente aunque también pueden ser naturales. Los códigos según la UNE-EN 12385-2: 2004 + A1 son los siguientes: fibra (FC), acero (WC), polímero sólido (SPC). Un tipo de alma muy utilizada es un alma de acero diferente al del cable (IWRC).

1.2. Extensión de los alambres y cordones

Hace referencia al sentido de enrollamiento de los alambres y de los cordones que conforman el cable. La dirección de la extensión de los alambres exteriores del cordón puede ser a derecha (z) o a izquierda (s) (figura A4.4). La dirección de la extensión de los cordones en el cable pueden ser igualmente a derecha e izquierda. Sus símbolos, a diferencia de los del enrollamiento de los alambres, se expresan en mayúsculas (Z y S).

Figura A4.4. Dirección de la extensión de los alambres exteriores del cordón a la derecha (z) e izquierda (s) (Fuente: EN 12385-2:2002+A1:2008).

Según como se enrollen los alambres y cordones, la extensión se denomina:

- Cruzada o corriente. Los alambres y cordones se enrollan en sentido contrario para evitar el riesgo de deformaciones (figura A4.5).

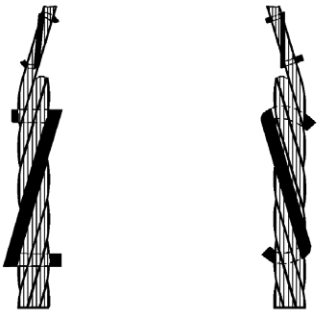


Figura A4.5. Derecho (sZ) e izquierdo (zS). La primera letra hace referencia a la dirección del cordón y la segunda a la dirección del cable (Fuente: EN 12385-2:2002+A1:2008).

- Simétrica o Lang. Los cordones y los alambres se enrollan en el mismo sentido. Mayor flexibilidad y menor abrasión interna pero mayor facilidad para deshacerse (figura A4.6).

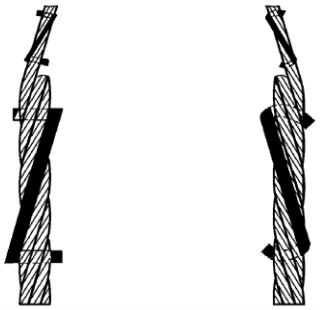


Figura A4.6. Derecho (zZ) e izquierdo (sS). La primera letra hace referencia a la dirección del cordón y la segunda a la dirección del cable (Fuente: EN 12385-2:2002+A1:2008).

- Alterno. Es simétrico pero con capas de cordones enrollados en sentidos diferentes.

1.3. Denominación del cable

Según la norma UNE-EN 12385-2: 2004 + A1 el sistema de designación establecido para los cables de acero se compone de las siguientes características: 1) Dimensión, 2) Fabricación del cable, 3) Fabricación del alma, 4) Calidad del cable, 5) Acabado, 6) Extensión.

1. Dimensión. Es el diámetro de la sección transversal que circunscribe el cable (figura A4.7).

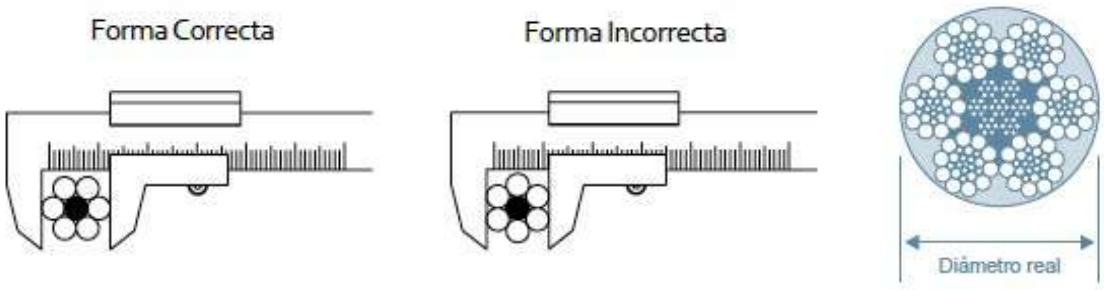


Figura A4.7. Diámetro real de un cable (Fuente:(CAMESA 2008)).

2. Fabricación del cable. Se debe designar mediante la expresión: *número de cordones x número de alambres por cordón y símbolo del cordón – símbolo del alma*

Ejercicio

1. ¿Qué características tiene el cable 6 x 26WS – IWRC?

Solución: Es un cable de 6 cordones, de 26 alambres del tipo Warrington- Seale con alma de acero independiente del cable

3. Fabricación del alma. Su característica se incorpora en la fabricación del cable.

4. Calidad del cable. Expresa la resistencia a la tracción en N mm^{-2}. Tres tipos de calidad: 1770, 1960, 2160. Sus rangos de resistencia ya han sido indicados anteriormente.

5. Acabado. El acabado de la superficie de los alambres exteriores se designa como: no recubierto (U), galvanizado clase A (A), galvanizado clase B (B), inoxidable (X).

6. Extensión y dirección. La dirección de la extensión se representa como: extensión derecha (Z) y extensión izquierda (S).

Ejercicio

2. ¿Cuál son las características del cable 32 8x36WS-IWRC 1960 U sZ?

Solución: 32 mm de diámetro, 8 cordones de 36 alambres por cordón de configuración *Warrington-Seale* con alma de acero independiente, de calidad 1960 N mm^{-2}, no recubierto, con extensión corriente en el que la dirección del cordón es a la izquierda y la dirección del cable es a la derecha.

1.4. Propiedades mecánicas de los cables

Los cables que trabajan en aplicaciones dinámicas al pasar por poleas o enrollarse en tambores presentan fatiga debido fundamentalmente a los esfuerzos de: 1) Tracción, 2) Flexión, 3) Abrasión y 4) Aplastamiento (figura A4.8).

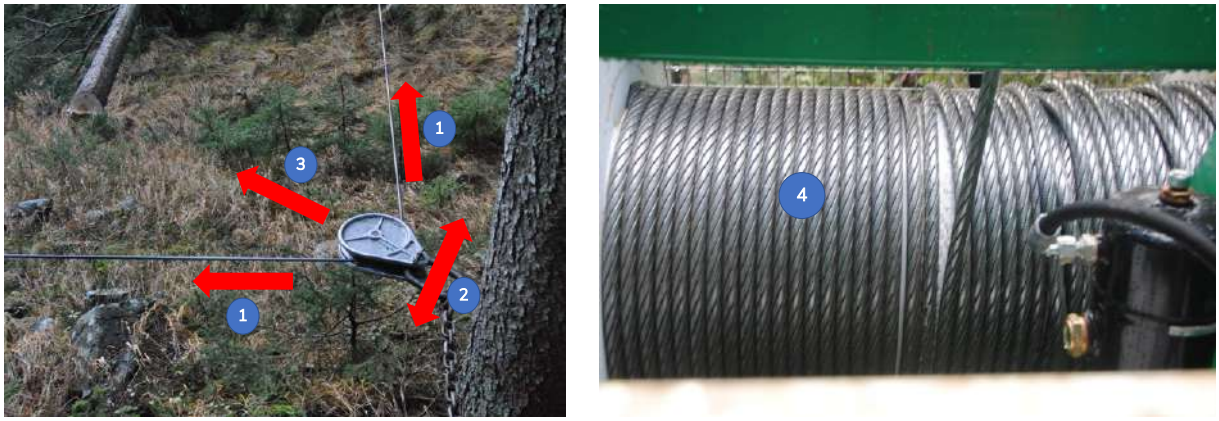


Figura A4.8. Esfuerzos que deben soportar los cables. 1: Tracción, 2: Abrasión, 3: Flexión, 4: Aplastamiento (Fotos: J. Pemán).

1. Resistencia a la tracción. La tracción se origina cuando el cable está sometido a una carga axial. Mientras el cable se mantiene en estático el esfuerzo de tracción se determina como:

σ (Mpa): esfuerzo de tracción estático; F (kN): fuerza estática en el cable; A (mm^2): sección metálica del cable.

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

Cuando la velocidad del cable no excede de 2 m s^{-1} el esfuerzo de tracción dinámico se estima como un 10% del estático. La resistencia a la tracción depende, sobre todo, del diámetro de los hilos, de su enrollamiento, del alma, de la configuración del cable y del tratamiento. Para cables sometidos sobre todo a esfuerzos de tracción, caso de los cabrestantes, se recomienda un cable tipo *Seale*, *Filler* o *Warrington* con alma metálica y extensión corriente.

2. Resistencia a la abrasión. Es la resistencia al desgaste por el roce con superficies fijas o móviles como poleas, con el suelo, con el carro, etc. Depende del diámetro de los hilos exteriores y del arrollamiento.

3. Resistencia a la flexión. Es la resistencia del cable a romperse como consecuencia de las sucesivas flexiones, enrollamientos en poleas, tambores, etc. Depende del diámetro de los hilos, extensión, tipo de cable, alma y tipo de tratamiento.

4. Resistencia al aplastamiento. Es la resistencia que opone el cable a deformarse por efecto de la compresión que se ejerce sobre él. Depende de la dureza del alma.

Tabla A4.2. Tipos de cordón, alma o enrollamiento de los cables en relación a sus propiedades mecánicas.

	Rotura	Abrasión	Flexión	Aplastamiento
Tipo de cordón				
Seale	+++	++++	++	
Warrington	+++		++++	+++
Warrington-Seale	++	+++	++	++
Filler	+++	++	+++	+++
Tipo de alma				
Metálica	+++			+++
Sintética			+++	
Tipo de extensión				
Corriente	+++	++		+++
Lang o simétrica		+++	+++	
Alterno		+++	++	

1.4.1. Carga mínima de rotura

Según la UNE-EN 12385-2: 2004 + A1 la mínima carga de rotura que debe soportar un cable se establece mediante la expresión:

$$F_{min}\ (kN) = \frac{d^2\ R}{1000} K$$

donde: d (mm) es el diámetro nominal, R_T (N mm^{-2}) la calidad del alambre y K es un factor de la carga de rotura. Su valor empírico se determina mediante el cociente, siendo f, el factor de relleno y k el factor de pérdida de recubrimiento. La norma UNE-EN 12385-4: 2003 + A1 establece un valor del factor de carga mínima de rotura de 0,356 para cables de 6 cordones de 15 a 26 alambres por cordón y con un alma de acero independiente.

Ejercicio

3. **La empresa francesa Atlantic Avitaillement comercializa un cable de acero para aplicaciones forestales del tipo 6x25WS-IWRC 1770 A con las siguientes características.**

Diámetro (mm)	Peso (kg m^{-1})	Resistencia a la rotura (t)
16	1,16	20
18	1,46	25,3
20	1,81	31,3
22	2,19	37,8

Aplica la fórmula empírica de la norma UNE-EN 12385-2: 2004 + A1 para comprobar si los datos del fabricante cumplen con los mínimos estipulados en la norma.

1.5. Conservación y mantenimiento del cable

Un mantenimiento correcto del cable garantizará una mayor vida útil y eliminará los riesgos de una rotura antes de tiempo. Algunos de los daños que puede sufrir el cable son (figura A4.9): 1) Fatiga, 2) Abrasión, retorcimiento, 3) Pérdida repentina de tensión y 4) Aplastamiento.

Figura A4.9. Deformaciones y desgastes en los cables de acero. Roturas de hilo por fatiga (izquierda) cable retorcido o cocado (derecha) (Fotos: J. Pemán).

- Fatiga. Hace referencia al deterioro de un cable cuando se dobla de forma continua como consecuencia de esfuerzos de flexión en una polea o tambor. Este efecto se puede visualizar si consideramos que, al doblar un alambre en varias ocasiones, éste se romperá. La fatiga en un cable se reduce si los diámetros de poleas y tambores tienen los diámetros recomendados por los fabricantes. En los casos de rotura de los hilos por fatiga, el cable se debe reemplazar según el número de hilos rotos en una longitud del cable determinada (tabla A4.3).

Tabla A4.3. Límite de sustitución de un cable metálico según el número de alambres rotos en los cordones exteriores. S: diámetro nominal del cable (UNI ISO 4309:2011).

Número de hilos del cable en los cordones exteriores (excluida el alma)	Número de hilos visiblemente rotos en una longitud de	
	6 vueltas (s)	30 vueltas (s)
42	4	8
114	10	20
186	16	32
216	18	36

- Abrasión. Es el desgaste superficial en los alambres de un cable de acero. La abrasión debilita el cable por remoción de material de los alambres exteriores e interiores. La abrasión está presente en todas las aplicaciones de cable. Por esta razón es importante seleccionar un cable que tenga las características adecuadas para soportar este efecto. Uno de los criterios más empleados para obtener un mínimo desgaste por fricción es el de seleccionar un cable con el menor número de alambres exteriores. Hay que considerar que en la selección de un cable los criterios de resistencia a la abrasión y a la fatiga están inversamente relacionados ya que, por un lado, al seleccionar un cable con mayor resistencia a la fatiga se obtendrá, de forma implícita, un cable con menor resistencia a la abrasión.

- Aplastamiento. El aplastamiento en el cable es normal en los casos de su enrollado en varias capas en un tambor. Para reducir este desgaste, en las estaciones motrices de los cables aéreos los tambores del cable portador suele estar desdoblados para enrollar, en uno de ellos, el cable que precisa para la instalación en uso (figura A4.10).

Figura A4.10. Tambor auxiliar a la derecha que permite el desdoblamiento del tambor del cable portador (Foto: J. Pemán).

- Corrosión. Supone el deterioro del cable por la descomposición química de los alambres por exposición a la humedad, ácidos, álcalis u otros agentes destructivos. En los trabajos forestales el deterioro será por humedad, por lo que se puede pensar el empleo de cables con

alambres galvanizados y/o el empleo de una lubricación protectora adecuada. Los cables deben suministrarse lubricados por parte del fabricante. Su finalidad es reducir el rozamiento interno del cable y proteger a los alambres de la corrosión y al alma de su deterioro. No obstante, con el uso o servicio del cable, será necesario aplicar un lubricante. Este deberá ser compatible con el del fabricante, por lo que deberá ajustarse a lo prescrito por el mismo. Los métodos de aplicación del lubricante en servicio serán por brocha, tubo de alimentación, pulverizador portátil presurizado o alta presión. No se deben usar aceites de motor ni usar líquidos como el gasoil para mejorar la penetrabilidad. Hay que valorar que el cable lubricado puede aumentar la retención de impurezas pegadas al mismo.

1.6. Tipos de cable más utilizados en el ámbito forestal

Entre los tipos más utilizados están los siguientes cables (figura A4.11 y tabla A4.4):

1. 6x26WS-IWRC. Formado por 6 cordones de 26 alambres, configuración *Warrington-Seale* con alma de acero diferente a la del cable. Muy utilizado en numerosas aplicaciones por su alta resistencia a la abrasión y al aplastamiento que le dan una gran resistencia a la fatiga. Se utiliza en cabrestantes para arrastre, cables tractores, tensores, etc.

2. 6x19S-IWRC. Formado por 6 cordones de 19 alambres, configuración *Seale* con alma de acero diferente a la de cable. Muy utilizado en numerosas aplicaciones por su flexibilidad y resistencia a la abrasión y aplastamiento. Su resistencia a la fatiga puede ser algo menor que en el anterior. Se utiliza en cabrestantes para eslingas de arrastre, cables portadores, etc.

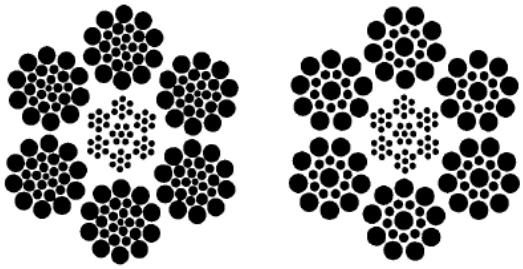


Figura A4.11. Esquema de un cable 6x26WS-IWRC (izquierda) y 6x19S-IWRC (derecha).

Tabla A4.4. Características técnicas de un cable 6x26WS-IWRC de *Bethlehem wire rops* modelo *Purple plus*.

Diámetro (mm)	Peso (kg m^{-1})	Resistencia rotura (t)
13	0,68	13,3
14,5	0,88	16,8
16	1,07	20,6
19	1,55	29,4
22	2,11	39,8
26	2,75	51,7

2. Cable sintético

Están construidos con fibras plásticas de nylon, poliéster, polietileno y polipropileno. Los más usados en el ámbito forestal son fibras de polietileno. Las fibras se combinan constituyendo hilos y los hilos en cordones (figura A4.12). El número de cordones utilizados en el trenzado del cable puede ser variable. El modelo AMSTEEL-BLUE de Dyneema está formado por 12 cordones.

Figura A4.12. Modelo AMSTEEL-BLUE de la casa comercial Dyneema.

Son más ligeros, seguros, flexibles y fáciles de manejar que los cables de acero (tabla A4.5). Además, no tienen el riesgo de oxidarse ni la tendencia del cable metálico a revirarse. Es más resistente a la rotura y, si esta se produjese, puede ser reparada (Pilkerton et al. 2003).

Tabla A4.5. Características técnicas del cable sintético Dyneema.

Diámetro (mm)	8	10	12	14	16
Resistencia rotura (kg)	6 500	10 000	13 000	18 000	21 500
Peso (kg 100 m^{-1})	3,5	5,2	8	10,5	15
Precio (€ m^{-1})	4,14	7,26	10,41	13,3	16,09

El uso del cable sintético facilita el trabajo, como así lo demuestra las valoraciones muy favorables que ha tenido su uso en un monte de las Guilleries donde los trabajadores han destacado (Tusell 2016): 1) Mejora del confort, 2) Reducción del cansancio muscular, 3) Facilidad de bajar y subir el cable, 4) Reducción de las heridas en las manos, 5) Mejora en el enrollamiento en el tambor y 6) Reducción de las heridas al árbol.

Como consecuencia a estos comentarios, Tusell (2016) indica como ventajas del cable sintético las siguientes: 1) Flexibilidad, 2) Peso, 3) Posibilidad de trabajar sin guantes, 4) Ausencia de peligro por efecto látigo. Como inconvenientes comenta: 1) Precio, que puede ser el doble del acero, 2) Falta de confianza en su manejo, 3) Falta de idoneidad para grandes árboles, 4) Falta de idoneidad para terrenos pedregosos, 5) Menor durabilidad.

2.1. Conservación y mantenimiento

En el caso de cables con cubierta y alma, el estado de la cubierta es un buen indicador del estado de desgaste (figura A4.13). Siempre y cuando el alma no esté afectada por el calor, punzamientos u otros factores, la resistencia se mantendrá. En los cables sin cubierta, la capacidad de

resistencia del cable no se puede deducir únicamente del aspecto externo. Cuando se observe una pérdida del 25% de las fibras este deberá ser reemplazado.

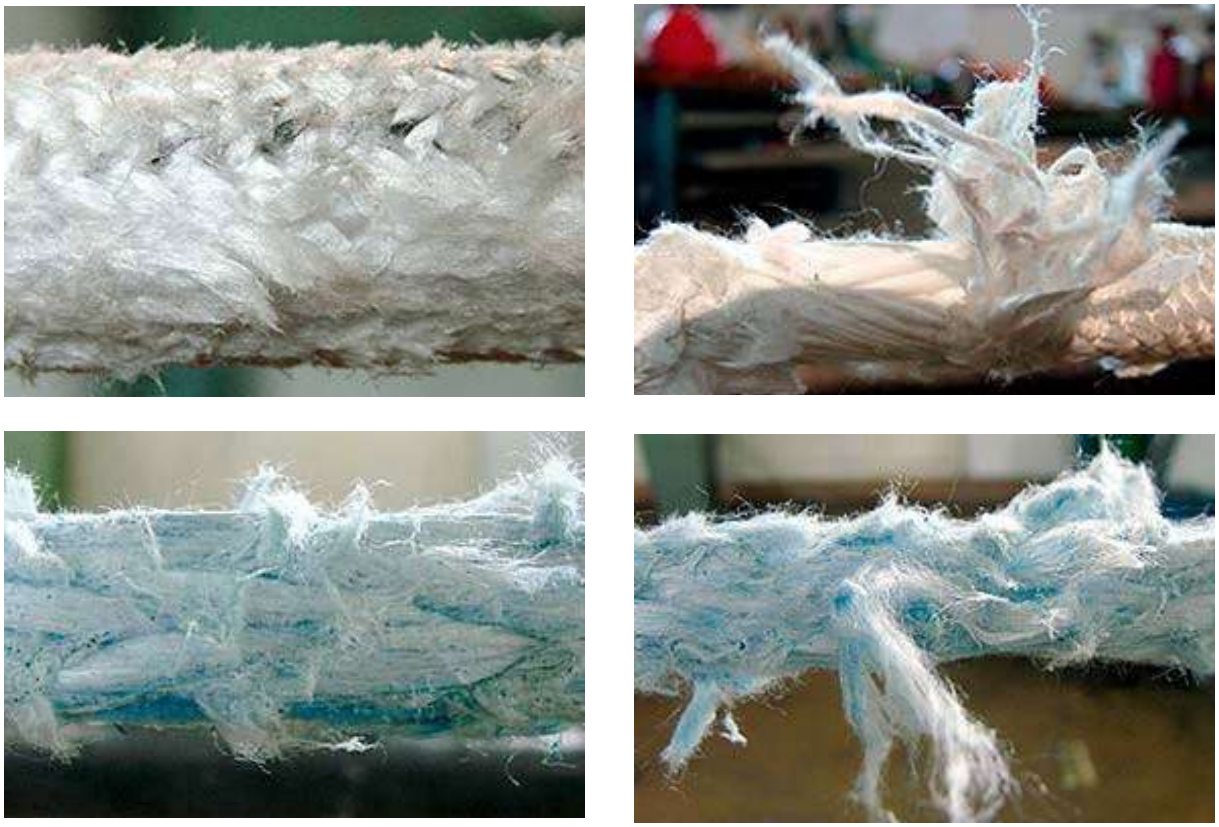


Figura A4.13. Cable con cubierta, defectos en la cubierta externa y alma intacta (superior izquierda), Cable con cubierta, material de cubierta desecho, pero alma intacta manteniendo la resistencia. Momento idóneo para reemplazar el cable (superior derecha), Cable sin cubierta, claros síntomas de desgaste y pérdida de resistencia (inferior izquierda), Cable sin cubierta, rotura de las fibras del cable con visibles cambios en su perfil momentos antes de su rotura (inferior derecha) (http://www.waldwissen.net/lernen/fortbildung/tests/bfw_praxistest_kunststoffseil/index_EN).

3. Tambores

Es el elemento sobre el que se enrolla el cable. Pueden ser lisos, ranurados o acanalados. En el caso de que el cable se arrolla en más de una capa los tambores deben ser acanalados. El diámetro de las ranuras del tambor debe ser un 8% superior al diámetro nominal y la distancia entre ranuras consecutivas debe ser 1,5 veces el diámetro nominal del cable, quedando dos vueltas consecutivas separadas entre sí una distancia igual a 0,15 del diámetro del mismo. El tambor está formado por un núcleo interior cilíndrico y unos platos laterales sobre los que se enrolla el cable. La capacidad del tambor, es decir, la longitud de cable que puede ser enrollado en el mismo dependerá de: 1) Dimensiones del tambor, es decir, de (figura A4.14): 1a) Diámetro del núcleo (D), 1b) Diámetro del plato (H), 1c) Longitud del tambor o distancia entre los platos (B) y 2) Diámetro del cable (d).

Teniendo en cuenta que según establece la UNE 14492-1:2007, los platos laterales redondeados del tambor deben sobresalir por encima de la capa superior del cable arrollado 2 veces el valor del diámetro nominal del cable, se puede establecer la siguiente ecuación para calcular la capacidad del tambor en función de sus dimensiones:

$$L\ d^2 = \pi \frac{(2A+D)^2 - D^2}{4} B;\ L\ (\text{longitud del cable}) = \pi \frac{(A+D)A}{d^2} B$$

siendo, $A = \frac{H-D}{2} - C$ y $C=2d$.

En esta ecuación la sección del cable se considera cuadrada. Las unidades de todas las variables de esta ecuación deberán ser las mismas.

Ejercicio

4. **Calcule la capacidad de un tambor de 350 mm de diámetro del plato, 220 mm de diámetro interior del núcleo y 409 mm de longitud, para un cable de 8 mm de diámetro. ¿Y para un cable de 5 mm?**

Solución: L_{8mm}= 264 m, L_{5mm}= 777 m

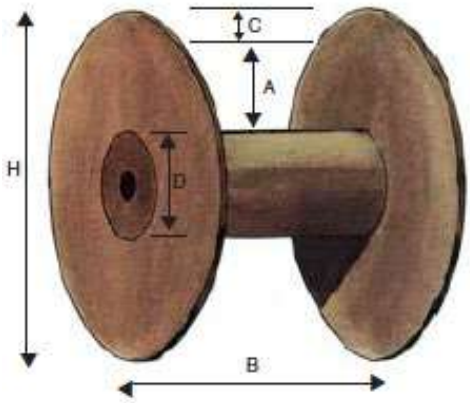


Figura A4.14. Tambor de un cabrestante.

3.1. Dirección de enrollamiento del cable en el tambor y forma de desenrollado

Salvo que el fabricante indique otra forma, el enrollamiento del cable en el tambor depende de la dirección del cordón y de que el enrollamiento se realice por arriba o por abajo del tambor (figura A4.15).

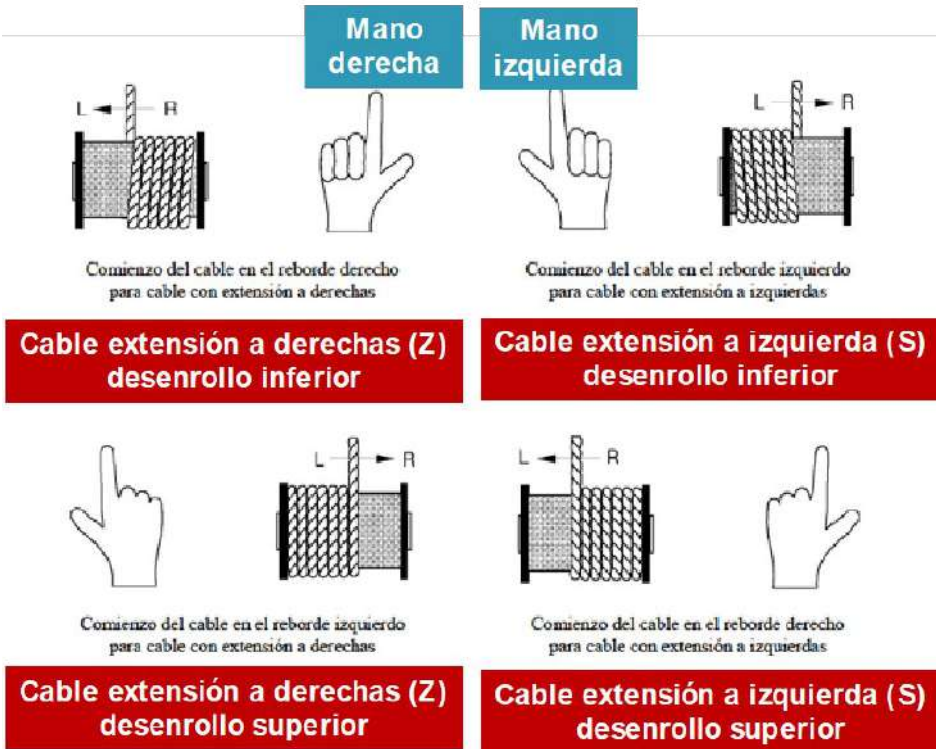


Figura A4.15. Dirección de enrollamiento (Adaptado de UNE-EN 12385-3:2005 A1).

Cuando el cable sea suministrado en carrete hay que tener la precaución de desenrollarlo en línea recta, asegurando que no se contamine de polvo, arena u otras sustancias. El cable nunca deberá traccionarse desde un carrete inmóvil para evitar que se retuerza y se produzcan nudos (figura A4.16).

Figura A4.16. Manipulación del cable. Forma correcta de desenrollar el cable de un carrete (izquierda) y de una bobina (derecha) (Adaptado de UNE-EN 12385-3:2005 A1).

Otro aspecto de enorme interés es la máxima desviación admisible entre el cable y la primera polea. Esta no debe superar 1,5° en el caso de los tambores lisos y 2° en el caso de los tambores ranurados o acanalados (figura A4.17).

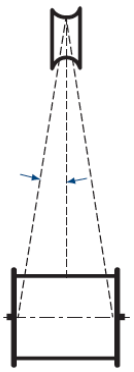


Figura A4.17. Ángulo de desvío (Fuente: Camesa Steel Rope Catalogue).

4. Accesorios

Entre los diferentes accesorios que se pueden utilizar para la saca con cable se pueden citar: 1) Enganches y ganchos, 2) Eslingas, 3) Terminales de cable, 4) Guardacabos, 5) Abrazaderas.

4.1. Enganches, eslabones y ganchos

Existe una gran variedad de modelos y tienen como función enganchar la eslinga que rodea la carga en el cable (figura A4.18). Para cables de acero existen una gran variedad de anillas, casquillos o eslabones deslizantes.

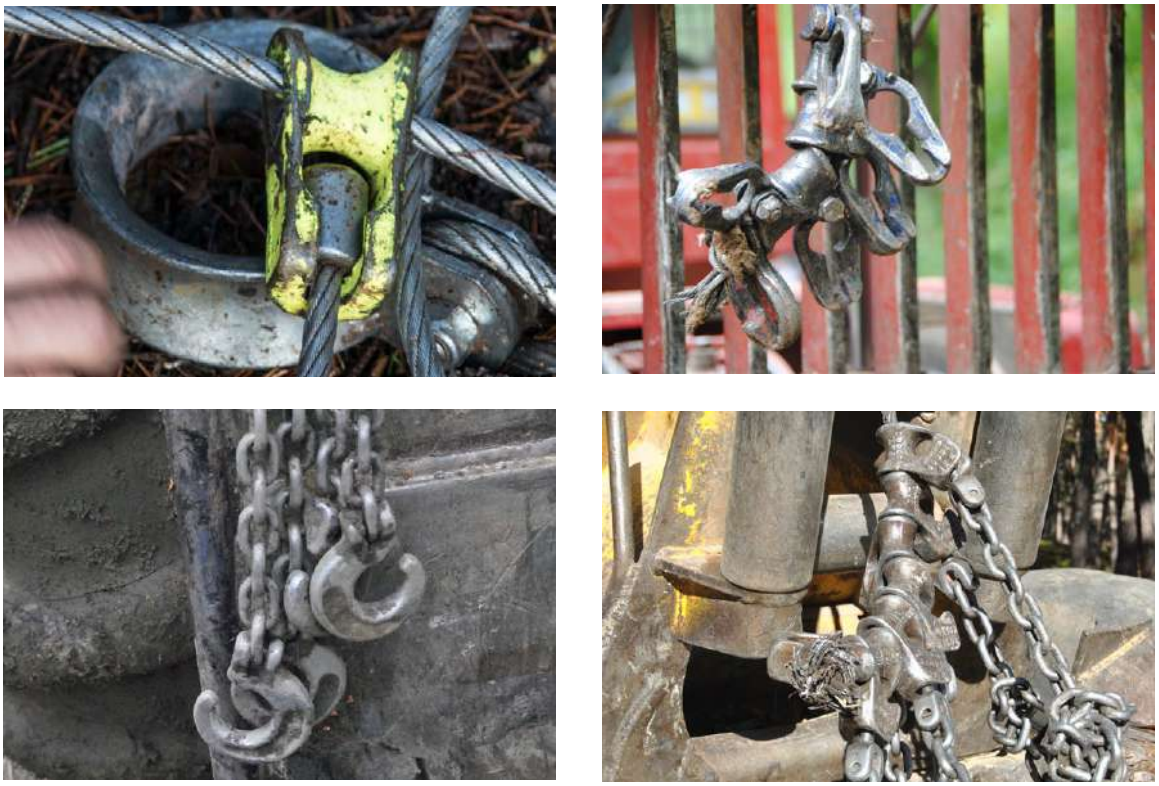


Figura A4.18. Enganche deslizante para cable tipo cerrado (superior izquierda), Enganche deslizante tipo ojal (superior derecha), gancho de cadena (inferior izquierda) y enganches deslizante de casquillo de tipo abierto (inferior derecha) (Fotos: J. Pemán).

Los enganches deben garantizar una buena sujeción de las eslingas y facilitar las operaciones de enganche y desengache de las mismas.

4.2. Eslingas

Se utilizan para enganchar los troncos al enganche deslizante del cable. Pueden ser de cable, acero o sintético, y de cadenas. Las de cadenas tienen como ventaja una mayor resistencia a la abrasión, presentando como inconvenientes su mayor peso y su falta de rigidez (figura A4.19 y tabla A4.6). Para solucionar este último inconveniente, algunos modelos se dotan de un pasador.

Figura A4.19. Eslingas de cadenas de perfil redondo con gancho (Fotos: J. Pemán).

Tabla A4.6. Eslingas de cadena (Catálogo PEWAG en www.tecnicaforestal.com).

Código	Fuerza tracción [daN]	Diámetro nominal [mm]	Largo [mm]	Peso [kg]	Coste (€)
Eslingas de cadena					
G100 con pasador	4 000	7	2 500	3,80	46,10
G100 con pasador	4 000	7	3 000	3,60	57,91
G100 con pasador	6 000	8	2 500	5,10	62,33
G100 con pasador	6 000	8	3 000	6,20	71,77
G100 con casquillo giratorio KK	6 800	10	2 500	6,55	122,54
Eslingas de cable					
Cable compactado		14	2 500	3,7	72,78

Las eslingas de cable tienen su mayor ventaja en la ligereza y su mayor rigidez lo que facilitan la maniobrabilidad con ellas a la hora de amarrar o sujetar la carga. Las eslingas de cable pueden terminar en un terminal de acero adaptado al enganche que utilice el cabrestante o en un lazo o gaza (figura A4.20).

Figura A4.20. Eslingas de cable terminada en una pieza circular para adaptarse al gancho de carga del carro de un cable grúa (Fotos: J. Pemán).

4.3. Terminales de cable

Las eslingas de cable finalizan en un casquillo o en un lazo o gaza que facilita su enganche con el cable que arrastra la carga. Estos casquillos pueden ser de tipo cónico o cilíndrico (figura A4.21).

Figura A4.21. Casquillos terminales cilíndrico (Foto: J. Pemán).

4.4. Guardacabos

Se entiende por guardacabo la pieza metálica de forma ovalada que se coloca en las eslingas de cables de acero para la formación, en sus extremos, de un lazo o gaza. Según la UNE EN 13411-1:2002 el tamaño nominal de un guardacabo es el del diámetro nominal del cable para el cual se ha diseñado. Las dimensiones del guardacabo según se establece en la norma deben ser (figura A4.22): 1) Diámetro de la acanaladura (≥ 1,1 $Ø_{cable}$), 2) Profundidad de la acanaladura (≥ 0,55 $Ø_{cable}$), 3) Anchura del ojal interno (1) de 2,5 a 3,5 $Ø_{cable}$, 4) Longitud del ojal interno (2), de 1,5 a 2 la dimensión anterior y 5) Ángulo del borde inferior ≤ 50°.

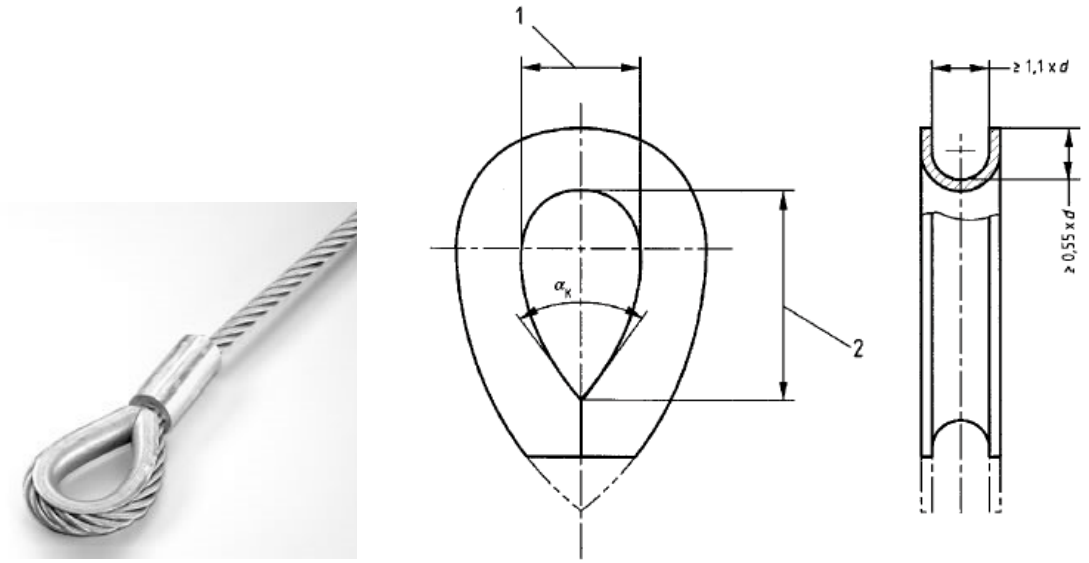


Figura A4.22. Guardacabos de acero (izquierda) y dimensiones según la UNE EN 13411-1:2002.

4.5. Abrazaderas

Para la unión de cables y para la formación de lazos y gazas en los extremos de un cable se pueden utilizar abrazaderas (figura A4.23). El número de abrazaderas a utilizar dependerá de cual sea su finalidad y del diámetro del cable (tabla A4.7). La denominación de las abrazaderas se realiza en función del diámetro del cable.

Figura A4.23. Abrazadera de acero (izquierda) y abrazaderas para la formación de un lazo (Foto: J. Pemán).

En la formación de lazos u ojales, la primera abrazadera deberá colocarse lo más próxima al pico del guardacabo (figura A4.24). La separación de las abrazaderas deberá oscilar entre 6 y 8 veces el diámetro del cable. Las tuercas de la abrazadera deben de quedar sobre el ramal largo del cable que es el que trabaja a tracción.

Tabla A4.7. Número de abrazaderas a colocar según diámetro del cable y objetivo de las mismas.

Diámetro cable (mm)	Número de abrazaderas para formar lazo	Número de abrazaderas para unir cables
5 a 12	4	4
12 a 20	5	6
20 a 25	6	6
25 a 35	7	8
35 a 50	8	8

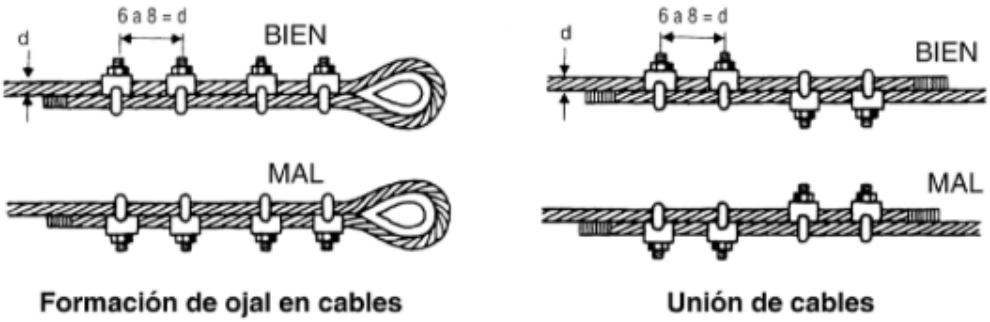


Figura A4.24. Colocación correcta de las abrazaderas (Sabaté 1998).

5. Bibliografía

CAMESA (2008) Catálogo de cables de acero.

Pilkerton S, Garland J, Leonard J, Sessions J (2003) Synthetic rope use in logging winching applications. Annu. Counc. For. Eng. Bar Harbor, p 6.

Sabaté P (1998) NTP 155: Cables de acero.

Tusell J. (2016) Ús del cable sintètic per al desembosc de fusta i biomassa. Catalunya For 128:21-24.

UNION (2008) Manual usuario de cables.

Glosario

Glosario del aprovechamiento de los productos madereros[1] 989
Glosario del aprovechamiento del corcho[2] 1011
Glosario del aprovechamiento de la resina[3] 1015

1. Autores: Jesús Pemán García y Antonio Villasante Plágaro.

2. Autores: José Berdón Berdón, Raúl Lanzo Palacios, Ramón Santiago Beltrán y Ana María Fernández Santos.

3. Autora: Aída García Rodríguez.

Glosario aprovechamiento de los productos madereros

Abrazadera: pieza para la unión de cables o la formación de lazos y gazas. Clamp (i); abraçadores (cat)

Acuerdos voluntarios de asociación: pactos comerciales establecidos con carácter voluntario entre la UE y los países exportadores de madera por el que ambas partes se comprometen a comerciar solo con madera legal. Voluntary partnership agreements (i); acords voluntaris d'associació (cat)

Adherencia del suelo: grado y tipo de cohesión y adhesión entre las partículas del suelo, así como la resistencia del suelo a la deformación o ruptura después de aplicarle una cierta presión. Soil consistence (i); consistència del sol (cat)

Adjudicación en base a varios criterios: forma de adjudicación en los contratos administrativos por la que se utilizan varios criterios (técnicos, económicos, sociales, medioambientales, etc.) para valorar las ofertas. Award with more than one criterion (i); Adjudicació amb més d'un criteri (cat)

Agente marítimo: representante del armador o del fletador del buque en el puerto. Realiza todas las gestiones necesarias para el despacho documental frente a las autoridades locales, da atención a la tripulación y al buque, así como los suministros que precise, etc. Shipping agency (i); agent marítim (cat)

Agua higroscópica: agua que se almacena en el interior de las paredes celulares de la madera. Bound water (i); aigua higroscòpica (cat)

Agua libre: agua que se almacena en el interior de los lúmenes celulares de la madera. Free water (i); aigua lliure (cat).

Alambre: hilo de acero de sección normalmente cilíndrica. Constituye el elemento básico del cable. Wire (i); fil (cat)

Alma: soporte o núcleo en torno al cual se trenzan los cordones de acero. Core (i); ànima (cat)

Amontonado: operación consistente en la formación de montones con los restos forestales. Bunched (i); amuntegament (cat).

Anclaje: elemento de fijación al terreno de los diferentes elementos que integran la instalación: cable vía, soportes principales y los soportes intermedios. Anchor (i); ancoratge (cat)

Animales de tiro: hace referencia a los animales domésticos o a los salvajes domesticados que se utilizan para trabajos de tracción o transporte. Draught animals (i); animals de tir (cat)

Apea: troza de madera corta, de diámetro mediano o pequeño, utilizable para apuntalar galerías de mina, industrias de desintegración, postes de cercado o similares. Log (i); puntal roll (cat)

Apeo: operación que consiste en la corta o derribo del árbol. Felling, cutting (i); abatiment, tallada (cat)

Apilar: operación consistente en la colocación de las trozas paralelamente formando capas para su posterior desembosque, transporte o almacenamiento en fábrica. Stacking (i); apilar (cat)

Aprovechamiento complementario: aprovechamientos en montes que gestiona la administración y que no figuran en el plan anual de aprovechamientos. Se realizan como consecuencia de la realización de determinadas infraestructuras públicas. Complementary forest harvesting (i); aprofitament complementari (cat)

Aprovechamiento extraordinario: aprovechamientos en montes que gestiona la administración y que no figuran en el plan anual de aprovechamientos. Se realizan a petición de las Entidades Locales propietarias de los montes y con una finalidad estrictamente económica. Extraordinary forest harvesting (i) aprofitament extraordinari (cat)

Aprovechamiento forestal: conjunto de operaciones que consisten en separar los productos forestales de los montes, casi siempre elaborados parcialmente, extraerlos de las masas forestales y transportarlos para ponerlos a disposición de la industria forestal. Forest harvesting (i); aprofitament forestal (cat)

Aprovechamiento forzoso: aprovechamientos en montes que gestiona la administración forestal y que no figuran en el plan anual de aprovechamientos. Se realizan como consecuencia de perturbaciones como, por ejemplo, incendios, plagas, vendavales, aludes, etc. Forced forest harvesting (i) aprofitament forçós (cat)

Aprovechamiento maderero: aprovechamiento forestal en el que el principal producto es la madera. Timber harvesting (i); aprofitament maderable (cat)

Aprovechamiento ordinario: aprovechamiento en montes que gestiona la administración forestal y que figura en el plan anual de aprovechamientos. Ordinary forest harvesting (i);aprofitament ordinari (cat)

Árbol en pie: árbol objeto del aprovechamiento antes de su corta. Standing tree (i); arbre en peu (cat)

Armador: propietario real de un buque, registrado a su nombre, que lo acondiciona para su navegación. Puede explotar el buque utilizándolo en diversos servicios o alquilarlo bajo contrato de diversos tipos: por tiempo determinado, por viaje, etc. Shipowner (i); armador (cat)

Arriero: persona que conduce la caballería en el desembosque o reunión con tracción animal y realiza las operaciones de enganche y desenganche de la madera. Mule driver (i); arrier (cat)

Asiento para cable portador: elemento o accesorio que sirve de soporte del cable en los soportes intermedios de la instalación. Support saddle, intermediate support jack, hanging cable shoe (i); suport intermedi (cat)

Astilla: biomasa leñosa en trozos de pequeño tamaño, producidos mediante procesos mecánicos con herramientas de corte. Chip (i); estella forestal (cat)

Astilladora: máquina que transforma madera y residuos forestales en astillas de dimensiones más o menos uniformes. Chipper (i); estelladora (cat)

Atalajes: conjunto de guarniciones que se colocan a los animales para hacer más cómodo el tiro y su manejo y dirección por parte del arriero. Yarding harness (i); guarniments (cat)

Aval: operación de garantía por la que el avalista (banco) se compromete a responder del cumplimiento de una obligación del avalado (rematante) ante un tercero (propietario del monte), en caso de que el avalado no lo haga. Bank guarantee (i), aval (cat)

Autocargador: máquina autopropulsada todo terreno, articulada con ruedas motrices que dispone de una grúa y un remolque con el que realiza el desembosque de la madera de forma o suspendida. Forwarder (i); autocarregador (cat)

Autorización: acto expreso de la administración que, en virtud de su potestad, permite a un particular el ejercicio de una actividad que está sometida a un control administrativo, regulado en las leyes sectoriales, por entenderse que su ejercicio afecta al interés general o público. Administrative authorization (i), autorització (cat)

Biomasa forestal: materia orgánica presente en un ecosistema forestal, tanto por debajo como por encima del suelo. Forest biomass (i); biomassa forestal (cat)

Bisagra: sección del árbol que queda sin cortar situada entre la entalladura el corte de caída cuya finalidad es que el árbol caiga en la dirección determinada por la entalladura. Hinge, hingewood (i); frontissa (cat)

Briqueta: biocombustible compuesto por madera triturada y posteriormente compactada en forma de cilindro de más de 25 mm de diámetro o en forma de ladrillo. Wood briquette (i); briqueta (cat)

Caballo: animal de tiro utilizado para la reunión o desembosque de la madera mediante arrastre. Horse (i); cavall (cat)

Cabrestante: dispositivo acoplado al tractor agrícola o al forestal que permite el arrastre de la madera gracias a la capacidad de extender y recoger el cable mediante el giro mecánico o hidráulico de su tambor. Winch (i); cabestrant (cat)

Cabeza tractora: ver *tractocamión*

Cabezal cortador de cizalla: dispositivo adaptado al brazo grúa de una máquina autopropulsada que realiza el apeo del árbol mediante el corte con una cuchilla montada sobre una garra articulada que, en su movimiento de cierre, realiza el corte. Pueden ser de una cuchilla o de dos cuchillas. Shear felling head (i); capçal tallador de cisalla (cat)

Cabezal cortador de sierra de cadena: dispositivo adaptado al brazo grúa de una máquina autopropulsada que realiza el apeo del árbol mediante el corte con una sierra de cadena montada sobre un disco o a una espada. Chain saw felling head (i); capçal tallador de serra de cadena (cat)

Cabezal cortador de sierra de disco: dispositivo adaptado al brazo grúa de una máquina autopropulsada que realiza el apeo del árbol mediante el corte con una sierra de disco. Disc saw felling head (i); capçal tallador de serra de disc (cat)

Cabezal cortador: dispositivo que realiza la operación de derribo del árbol con un elemento de corte que puede ser una sierra de disco, de cadena o mediante cuchilla. Dependiendo de las características del árbol también puede realizar la operación de apilado. Se implementa en el extremo de un brazo grúa incorporado a un chasis de diferentes características. Feller head, feller buncher (i); capçal tallador (cat)

Cabezal cosechador: dispositivo que realiza la operación de derribo del árbol mediante una sierra de cadena y posteriormente realiza las operaciones de desrame, despuntado y tronzado. Se implementa en el extremo de un brazo grúa incorporado a un chasis de diferentes características. Harvester head (i); capçal recol.lector (cat)

Cable: elemento flexible implementados en máquinas y aparatos de transporte para trasladar cargas. Cable, rope, wire (i); cable (cat)

Cable de acero: elemento flexible construido con alambres de acero que se utiliza en máquinas y aparatos de transporte para trasladar o elevar cargas. Están constituidos por alambres

agrupados en cordones, que a su vez se enrollan sobre un alma formando un conjunto apto para resistir esfuerzos. Steel rope (i); cable metàlic (cat)

Cable aéreo: ver *cable grúa*

Cable elevación: en una instalación de cable grúa, es el cable que permite la elevación de la carga desde el punto de enganche al pie del árbol hasta la altura del carro. Hoist line, dropline (i); cable elevació (cat)

Cable guía: ver *cable portador*

Cable grúa: tipo de cable aéreo para el desembosque de la madera formado por dos o tres cables principales: portador, tractor y de retorno. El cable portador es recorrido por un carro que realiza las funciones de elevación y transporte de las cargas. Cable crane (i); cable grúa (cat)

Cable móvil: tipo de cable portador en donde uno de sus extremos está unido a la estación motriz y el otro al carro. Running skyline (i); cable mòbil (cat)

Cable portador: cable a lo largo del cual se mueve el carro que transporta la carga. Define la línea o dirección del desembosque de la madera. Skyline (i); cable portador (cat)

Cable de retorno: cable unido al carro, al lado opuesto al que se une el cable tractor, gracias a una instalación auxiliar que permite el desplazamiento del carro en cualquier condición de pendiente. Haul-back line, tailrope (i) cable retorn (cat)

Cable sintético: elemento flexible construido con fibras plásticas de nylon, poliéster, polietileno y polipropileno que se utiliza en máquinas y aparatos de transporte para trasladar o elevar cargas. Las fibras se combinan constituyendo hilos y los hilos en cordones. Fiber rope (i); cable sintètic (cat)

Cable tractor: cable conectado a la estación motriz que permite el desplazamiento de la carga o del carro. Mainline, mainrope (i); cable tractor (cat)

Cable vía: ver *cable portador* 303

Cable vivo: tipo de cable portador en donde uno de sus extremos está unido a la estación motriz y el otro está fijo o unido al carro. Live skyline (i) cable viu (cat)

Cadena de motosierra: útil de corte de la motosierra consistente en una serie de eslabones, algunos de los cuales presentan un filo cortante. Chain (i); cadena (cat)

Caída natural del árbol: dirección hacia la que el árbol tiende a caer debido a factores como su propia inclinación, la forma de la copa, el peso de la nieve acumulada, la dirección y fuerza

del viento, la pendiente, su estado vegetativo, etc. Natural felling direction (i); caiguda natural (cat)

Calle: infraestructura viaria temporal para la saca de madera, dispuesta generalmente en línea de máxima pendiente, que no conlleva ningún movimiento de tierras y consiste en un corredor estrecho abierto por eliminación de la vegetación por donde transitan los tractores que realizan el desembosque. Strip road (i); carrer (cat)

Camino forestal: infraestructura viaria permanente que da acceso a las fincas forestales y que dispone de los elementos constructivos necesarios para soportar un tráfico fluido a lo largo de todo el año. Forest road (i); camí primari o camí forestal (cat)

Camión rígido: automóvil con cuatro ruedas o más, concebido y construido para el transporte de mercancías, cuya cabina no está integrada en el resto de la carrocería y con un máximo de 9 plazas, incluido el conductor. Truck, solid bulk (i); camió (cat)

Capacidad portante del suelo: capacidad del suelo para soportar pesos como vehículos, construcciones, etc. Bearing capacity (i); capacitat portant (cat)

Cargadero: zona accesible a los medios de transporte donde se realiza la carga de la madera extraída en un aprovechamiento forestal. Landing (i); carregador (cat)

Carretera rodante: modalidad de transporte combinado entre carretera y ferrocarril que consiste en el transporte de camiones enteros y de vehículos articulados utilizando vagones con ruedas de diámetro reducido (transporte combinado carretera/ferrocarril acompañado). Roalling road (i); carretera rodant (cat)

Carretón: ver *carro*

Carro: dispositivo de una instalación de cable grúa en el que se engancha la carga y circula, gracias a unas garruchas o roldanas, a lo largo del cable portador. Carriage (i); carretó (cat)

Casquillo: pieza metálica que constituye el terminal de un cable de acero. Ferrule (i); casquet (cat)

Chapa a la plana: chapa de madera obtenida mediante cortes paralelos. Flat cut veneer (i); fullola de llesca, fullola a la plana (cat)

Chapa de desenrollo: chapa de madera obtenida mediante un corte periférico en un torno de desenrollo. Rotary cut veneer (i); fullola de desenrotllament (cat)

Chapa de madera: lámina delgada de madera de espesor menor de 5 mm obtenida por desenrollo o rebanado. Veneer (i); fullola, xapa (cat)

Charnela: ver *bisagra*

Cinta métrica de maderista: cinta metálica cuyo extremo final termina en un gancho que posibilita su sujeción en el extremo de la troza. Logger tape (i); cinta métrica forestal (cat)

Coeficiente de apilamiento: factor que relaciona el volumen de la envolvente de una pila con el volumen real de la madera existente en ella. Stacking density, wood volume percentage (i); coeficent d'apilament (cat)

Cogolla: extremo de un fuste aprovechable o de un poste que presenta menor diámetro. Small end (i); punta prima (cat)

Compactación: efecto desfavorable de la presión ejercida sobre los suelos por vehículos, animales o carga arrastrada que provoca una disminución de la porosidad y un aumento de la densidad aparente. Soil compactation (i); compactació (cat)

Comunicación: ver *notificación*

Concesión de uso privativo: cesión de uso que implique su utilización privativa mediante cualquier tipo de obra o instalación de carácter fijo, sin que pueda exceder de un plazo de treinta años, y sin perjuicio de su prórroga bajo los límites que establezca a tal fin la legislación básica estatal en materia de patrimonio. Concession agreements (i); concessió d'ús privatiu (cat)

Concurso: ver *adjudicación en base a varios criterios*

Configuración euromodular: conjuntos de vehículos que poseen más de 6 líneas de ejes que pueden llegar hasta un máximo de 25,25 m y 60 t de masa máxima de conjunto y cuyos módulos separadamente no superan los límites máximos de masas y dimensiones establecidos en el RGV para los vehículos rígidos a motor, remolques y semirremolques. European modular system, megatrucks (i); configuració euromodular (cat)

Conicidad: disminución progresiva en altura del diámetro en el caso de un tronco o en longitud en el caso de una troza. Taper (i); conicitat (cat)

Consignatario: ver *agente marítimo*

Contrafuertes: pliegues de madera que aparece en el ángulo que forman una raíz lateral y la base de un árbol para dar estabilidad lateral al tronco. Buttress (i); contrafort (cat)

Cordón: elemento constituido por el enrollamiento de un número variable de alambres de acero de igual o distinto diámetro. Strand (i); cordó (cat)

Corte con la punta de la espada: tipo de corte de caída en el que se introduce la punta de la espada de la motosierra como si se pinchara o perforara el árbol. Exige una gran experiencia. Bore cut (i); punxat (cat)

Corte de caída: tercer corte que se ejecuta para el derribo del árbol, que se realiza horizontalmente, en el lado opuesto a la entalladura, dejando una franja sin cortar denominada bisagra. Back cut (i); tall de caiguda, tall d'abatiment (cat)

Corte del revés o empujando: corte con la parte superior de la cadena o con la cadena que corre hacia delante. La motosierra tenderá a ir hacia el operario, por lo que deberá empujar para realizar el corte. Up cut (i); tall de l'inrevés (cat)

Corte horizontal: es el segundo corte de dirección, después del oblicuo, que se realiza horizontalmente y conforma con el primero la entalladura. Horizontal cut (i); tall horizontal (cat)

Corte normal o tirando: corte con la parte inferior de la cadena o corte con la cadena que corre hacia atrás. Down cut (i) tall normal (cat)

Corte oblicuo: es el primer corte en el corte de dirección o formación de la entalladura. Su inclinación suele ser de 45°. Sloping cut (i); tall oblic (cat)

Coz: extremo de un fuste aprovechable o de un poste que presenta mayor diámetro. Butt end (i); punta gruixuda (cat)

Cuña: pieza de plástico o metálica terminada en ángulo diedro muy agudo que se utiliza para dirigir la caída del árbol mediante la inclinación del tronco o para evitar que la espada de la motosierra quede atrapada. Se utiliza para el derribo y el tronzado. Wedge (i); tascó (cat)

Curvatura: Desviación del eje longitudinal de una pieza de madera en rollo respecto a una línea recta. Sweep (i); curvatura (cat)

Declaración jurada: documento realizado por el propietario del monte en donde refiere los datos catastrales del monte y su titularidad, estando firmada por el propietario y con la diligencia correspondiente del alcalde del municipio donde esté ubicada la misma. Affidavit (i); Declaració jurada (cat)

Declaración responsable: documento suscrito por un interesado en el que éste manifiesta, bajo su responsabilidad, que cumple con los requisitos establecidos en la normativa vigente para obtener el reconocimiento de un derecho o facultad o para su ejercicio, que dispone de la documentación que así lo acredita, que la pondrá a disposición de la Administración cuando le sea requerida, y que se compromete a mantener el cumplimiento de las anteriores obligaciones durante el período de tiempo inherente a dicho reconocimiento o ejercicio. Responsible declaration (i); declaració responsable (cat)

Demarcación: operación consistente en delimitar y marcar la superficie que va a ser objeto de disfrute. Demarcation (i); demarcació (cat)

Densidad: relación entre la masa y el volumen. En el sector industrial y forestal es habitual referirse al peso específico con la denominación densidad. Density, specific mass (i); densitat (cat)

Densidad a granel: masa de una pila de material dividida por el volumen de su envolvente o del recipiente donde se almacena. En el caso de la madera suele aplicarse a productos de pequeño tamaño (por ejemplo, pellets, briquetas, etc.). Bulk density (i); densitat aparent (cat)

Densímetro: aparato o sistema para medir densidades. Densimeter (i); densímetre (cat)

Derecho de tanteo: en los aprovechamientos forestales, forma de adquisición preferente por la cual la entidad local propietaria puede adjudicarse el aprovechamiento igualando, en el plazo marcado por la norma, la oferta económica más alta, siempre que esta no haya superado el precio índice. Right of first refusal (i); dret de tempteig (cat)

Desbrozadora de martillos: apero acoplado a un tractor que sirve para triturar la vegetación o restos de corta por la acción de unos martillos, fijos o flotantes, dispuestos sobre un rotor horizontal. Forestry mulcher with hammers (i) desbrossadora de martells (cat)

Descortezado: operación consistente en la eliminación de la corteza en la madera en rollo. Debarking (i); escorçat (cat)

Desembosque: operación que consiste en la extracción de los árboles apeados del monte hasta un punto desde el cual se realizará el transporte a fábrica. Hauling (i); desembosc (cat)

Desenrollo: método de obtención de chapa de madera consistente en la extracción de chapa de la periferia mediante una cuchilla que se apoya en una troza que se hace girar. Rotary cut veneer method (i); desenrotllament (cat)

Despojo de corta: ver *residuo de corta*

Despuntar o descopar: operación que consiste en la separación de la copa o raberón mediante corte transversal al eje del árbol del fuste que va a tener un aprovechamiento comercial. Topping (i); despuntar (cat)

Desramar: operación que consiste en la eliminación de las ramas en la longitud del fuste que va a tener aprovechamiento comercial. Delimbing (i); Esbrancar (cat)

Diámetro en punta delgada de una troza: diámetro del extremo de una pieza de madera en rollo que presenta menor valor. Top end diameter (i); diàmetre en punta prima (cat)

Diente gubia: diente de corte de una sierra de cadena. Cutter (i); dent gúbia, dent de tall (cat)

Efecto de rebote: movimiento repentino e incontrolado de la motosierra hacia el operario producido al entrar en contacto el sector superior de la espada con un objeto. Kickback (i); cop de rebot (cat)

Enganche: dispositivo metálico que se utiliza para fijar las eslingas, de cadena o cable, al cable tractor para realizar el desembosque. Choker hook (i); enganxament (cat)

Enrollamiento: en los cables de acero, proceso por el cual los alambres se disponen helicoidalmente alrededor de un alambre central para forman un cordón o los cordones se disponen helicoidalmente alrededor de un alma para formar el cable. Lay (i); enrotllament (cat)

Entalladura: hace referencia a los dos cortes que se realizan en la cara de caída del árbol con la cual se dirige su caída. Notch, scarf (i); entalladura (cat)

Entrega: en los montes gestionados por las administraciones públicas, operación por la que se formaliza la entrega de la superficie objeto del aprovechamiento al adjudicatario del mismo. Delivery (i); lliurament (cat)

Época de disfrute: período de tiempo, dentro del plazo de ejecución de un aprovechamiento, en el que se determina que debe realizarse el aprovechamiento debido a las restricciones selvícolas o ecológicas que puede haber en dicho aprovechamiento. Forest harvesting time (i); època de realització de l'aprofitament (cat)

Escalón de fractura: distancia entre los planos que conforman el corte horizontal de la entalladura y el corte de caída en el apeo manual con motosierra. Stump shot (i), esglaó de fractura (cat)

Eslabones: accesorio del cable consistente en una pieza que se puede deslizar a lo largo del cable de arrastre y que dispone de un dispositivo en el que se puede enganchar los ganchos de las eslingas. Sliders (i); baula (cat)

Eslingas: accesorio de cadena o de cable que son utilizadas para el agarre de los fustes o trozas al cable de arrastre del cabrestante. Choker (i); eslinga (cat)

Espada: es la pieza que soporta la cadena y permite su movimiento gracias a la acanaladura o riel del que dispone por el que circula el eslabón motriz de la cadena. Guide bar, cutter bar (i); espasa (cat)

Estaca: madera en rollo descortezada sin tornear, habitualmente usada en explotaciones agrícolas o ganaderas. Wood post (i); estaca (cat)

Estación motriz fija: elemento motor en la instalación de un cable grúa que consta de un único tambor donde se enrolla el cable tractor y está montado sobre un chasis de trineo para su desplazamiento por el monte. Sled-winch yarder (i); estació motriu fixa (cat)

Estéreo: unidad de medida utilizada en la cubicación de pilas de madera en rollo. Equivale a 1 metro cúbico de volumen envolvente, por lo tanto, contiene piezas de madera en rollo y espacios entre ellas. Stacked cubic meter, stere (i); esteri (cat)

Estibador: empresa o persona que efectúa las operaciones de manipulación de las mercancías en tierra, carga y descarga de los buques. Habitualmente es contratada por los agentes del armador/fletador. Stevedoring (i); estibador (cat)

Explotación forestal: conjunto de etapas por las que pasa la madera en rollo y los subproductos que se obtienen, desde que un árbol es derribado, hasta su descarga en la estación o parque de recepción de la madera. Término actualmente en desuso. Forest harvesting (i); explotació forestal (cat)

Fletador: persona física o jurídica que alquila un buque para su explotación en la manera que estime conveniente. El fletador y el propietario real del buque establecen los oportunos contratos que convierten al fletador en el transportista efectivo ante los cargadores. Chartering agent (i); noliejador (cat)

Fondo de mejoras: en los montes de Utilidad Pública, cuenta en la que se ingresa el porcentaje establecido en la legislación de montes del importe de la adjudicación de todo aprovechamiento o servicio que se realiza en el mismo y que tenga una contraprestación económica. Su finalidad es financiar la realización de obras para su conservación y mejora. Forest improvement fund (i); fons de millora (cat)

Franja de fractura: ver *bisagra*

Galga de la cadena: es el espesor de los eslabones motrices que entran en la acanaladura o riel de la espada. Chain gauge (i); galga de la cadena (cat)

Gancho: herramienta metálica que consiste en un gancho con asa cerrada utilizada para voltear troncos o manipular troncos. Hook (i); ganxos (cat)

Garantía o fianza provisional: en los contratos administrativos es el importe que tiene que ingresar los licitadores que van a concurrir a un contrato para responder de la oferta que presentan hasta que se resuelve la adjudicación. Provisional guarantee, Bid bond (i); fiança provisional (cat)

Garantía o fianza definitiva: en los contratos administrativos es el importe que tiene que ingresar el adjudicatario del mismo para responder de la obligación de formalizar el contrato,

de las penalidades a que hubiera lugar durante su realización, de la correcta ejecución del aprovechamiento, de la existencia de defectos observables durante el plazo de garantía, etc. Final warranty, performance bond (i); fiança definitiva (cat)

Giratroncos manual: herramienta a mano dotada de un mango largo en cuyo extremo se encuentra un gancho de hierro que permite el giro o volteo del árbol a modo de palanca. Su longitud suele ser de 130 cm. Cant hook (i); giratroncs manual (cat)

Granelero: Buque utilizado para el transporte marítimo de mercancías a granel. Bulk carrier, bulker (i); granelero (cat)

Grapa: accesorio en el extremo del brazo de una grúa o de un arco que permite el agarre de la madera y su desplazamiento. Grapple (i); grapa (cat)

Grúa: dispositivo consistente en un bastidor vertical giratorio con un brazo articulado y telescópico, terminado en una grapa que está unida al mismo mediante un rotator. Se puede implementar en tractores agrícolas, tractores forestales y camiones. Crane (i); grua (cat)

Guardacabos: anillo de acero inoxidable con una garganta en su superficie exterior, sobre la cual se pasa el cable permitiendo la formación de un ojal en el extremo del mismo para facilitar su enganche a diferentes piezas. Thimbles (i); guardacaps (cat)

Humedad en base húmeda: porcentaje del peso del agua respecto al peso conjunto del agua y de la madera seca. Esta denominación de la humedad es habitual en madera para combustión. Wet basis moisture (i); humitat en base humida (cat)

Humedad en base seca: porcentaje del peso del agua respecto al peso de la madera seca. Es la forma más habitual de expresar la humedad de la madera en tecnología e industria de la madera. Moisture content, dry basis moisture (i); humitat en base seca (cat)

Humedad de equilibrio higroscópico: contenido de agua en el que una madera no gana ni pierde humedad. Depende de las condiciones ambientales que rodean la madera. Equilibrium moisture content (i); humitat de equilibri higroscòpic (cat)

Índice volumétrico: factor que representa la conversión del volumen de diferentes productos madereros, como es el caso de la madera en rollo y la astilla. Volumetric index (i); índex volumètric (cat)

Leña: madera utilizable como combustible procedente de residuos de elaboraciones diversas. Comprende ramas, raberones, trozas defectuosas o pequeñas, desperdicios de madera y pies cortados especialmente para ello. Fuelwood, firewood (i); llenya (cat)

Licencia de disfrute: documento que acredita la autorización expresa por la administración forestal competente del derecho que tienen el titular de esta para la ejecución del aprove-

chamiento forestal con sujeción a las condiciones establecidas en el pliego de prescripciones técnico-facultativas en un monte de utilidad pública. Harvesting licence (i); llicència d'aprofitament, llicència de gaudiment (cat)

Licencia de corta: documento que acredita la autorización expresa por la administración competente del derecho que tiene el titular de esta para la ejecución de un aprovechamiento maderero con sujeción a las condiciones establecidas en el pliego de condiciones técnico-facultativas en un monte no gestionado por la administración forestal. Harvesting licence (i); llicència de tallada (cat)

Licencia FLEGT: documento que acredita que la madera de un país con el que se tiene un Acuerdo Voluntario de Asociación ha sido aprovechada, procesada y exportada cumplimiento la legislación nacional del país. FLEGT licence (i); llicència FLEGT (cat)

Licitación: procedimiento por el cual se procede a la contratación de una obra, bien o servicio o a la venta de un aprovechamiento. Tender (i); licitació (cat)

Liquidación final: modalidad de enajenación de los aprovechamientos en donde el importe final del mismo se determina cuando el aprovechamiento ha finalizado y se realiza su medición final. Final settlement (i); liquidació final (cat)

Madera anhidra: madera desecada hasta una humedad de 0%. Ovendry timber (i); fusta anhidra (cat)

Madera para canter: madera en rollo de las industrias de aserrado que debido a su escaso diámetro (15 a 28 cm) es conveniente procesarla mediante canters para aprovechar mejor las partes externas del tronco (cantos y costeros). Chipper canter wood (i); fusta per canter (cat)

Madera de compresión: madera de reacción que aparece en la parte inferior de troncos y ramas inclinados de coníferas. Compression wood (i); fusta de compresió (cat)

Madera de reacción: madera con características anatómicas diferenciadas que aparece en troncos y ramas inclinados que intentan recuperar la verticalidad. Este tipo de madera presenta contracciones longitudinales anormalmente elevadas. Reaction wood (i); fusta de reacció (cat)

Madera de tracción: madera de reacción que aparece en la parte superior de troncos y ramas inclinados de frondosas. Tension wood (i); fusta de tracció (cat)

Madera para sierra: madera en rollo cuyo destino es ser procesada en industrias de aserrado. Sawlog (i); fusta per a serra (cat)

Madera para trituración: madera en rollo cuyo destino es ser fragmentada en la fabricación de pasta de papel o tableros de trituración. Pulpwood (i); fusta per a trituració (cat)

Madera en rollo: madera de los árboles apeados que se desraman y se separan de la copa. Roundwood, round timber (i); fusta en roll (cat)

Madera en rollo industrial: madera apeada, desramada y despuntada destinada a una transformación industrial. Industrial roundwood (i); fusta en roll industrial (cat)

Madera en verde: madera con un porcentaje de humedad superior al punto de saturación de la fibra (aproximadamente 30%). Green timber (i); fusta en verd (cat)

Madera seca al aire: madera en equilibrio higroscópico con el ambiente que la rodea. Air dry timber (i); fusta seca a l'aire (cat)

Metro cúbico a la real: denominación utilizada para el metro cúbico del Sistema Internacional en zonas donde se utiliza también el metro cúbico a la cuarta. Cubic meter (i); metre cúbic (cat)

Modo de transporte: cada uno de los tipos posibles de transporte de mercancías o pasajeros. En el transporte de la madera se distinguen el terrestre, por carretera y ferrocarril, y el marítimo. Transport modes (i); modes de transport (cat)

Motodesbrozadora: herramienta portátil autopropulsada que consta de un tubo portaherramientas, en cuyo extremo superior, va colocado un motor de explosión y en su extremo inferior, el elemento de corte. El tubo portaherramientas puede ser rígido, en cuyo caso la desbrozadora va dispuesta en bandolera enganchada al arnés, o flexible, en cuyo caso el grupo motor va dispuesto en una mochila situada a la espalda del operario. El elemento de corte es un disco de acero de 20 a 25 cm con un número variable de dientes de diferentes tipos que van triscados. Brushcutters (i); motodesbrossadora (cat)

Motosierra: herramienta portátil autopropulsada de corte por diente que se emplea para el apeo, desrame y tronzado de árboles. Consta de un conjunto motor que suministra la energía necesaria a un conjunto de corte cuya herramienta de corte es una sierra de cadena. Chainsaw (i); motoserra (cat)

Mula: animal de tiro utilizado para la reunión o desembosque de la madera mediante arrastre. Se obtiene mediante el cruce de burro con yegua. Mule (i); mula (cat)

Notificación: documento mediante el que los interesados ponen en conocimiento de la administración pública competente sus datos identificativos o cualquier otro dato relevante para el inicio de una actividad o el ejercicio de un derecho. Notification (i); notificació o comunicació (cat)

Oferta: propuesta de contenido económico o técnico-económico que realiza un licitador en un proceso público de licitación. Bid, offer, proposal (i); oferta (cat)

Palanca de derribo: herramienta manual consistente en un mango metálico terminado en una cuña que se utiliza para ayudar al derribo del árbol. Existen modelos que llevan sobre el mango un gancho de hierro que le permite también ser usado como giratroncos. Felling bar (i); palanca d'enderroc (cat)

Paso de la cadena: es la distancia entre tres remaches consecutivos divido por dos. Chain pitch (i); pas de la cadena (cat)

Pélet: biocombustible densificado de forma cilíndrica (de menos de 25 mm de diámetro), fabricado con biomasa triturada. Pellet (i); pèl·let (cat)

Peso de madera en verde: Peso de la madera que corresponde a una humedad superior al punto de saturación de la fibra (aproximadamente 30%). Weight of green wood (i); Pes de fusta en verd (cat)

Peso específico: relación entre el peso y el volumen. En el sector industrial y forestal es habitual referirse al peso específico con la denominación densidad. Specific weight (i); pes específ (cat)

Peso normal: Peso normalizado de la madera que corresponde a una humedad del 12%. Weight at 12% moisture content (i); pes al 12% de humitat (cat)

Pila: conjunto de trozas o fustes colocados paralelamente en capas para su posterior desembosque, transporte o almacenamiento en fábrica. Stack, wood pile (i); pila de fusta (cat)

Pinzas de agarre: herramienta manual formada por un asa abierta en la que se articulan dos ganchos que permiten agarrar las trozas para su manipulación o transporte. Timber tongs, skidding tongs (i); pinces (cat)

Pinzas de maderero: ver *pinzas de agarre*

Pipa: ver *asiento para cable portador*

Piso móvil: sistema hidráulico de carga y descarga para mercancía a granel mediante el deslizamiento de unas lamas en el suelo de la caja de los camiones. Walking floor, moving floor (i); pis mòbil (cat)

Pista de desembosque: infraestructura viaria de carácter permanente o temporal construida para la extracción de los productos forestales de una unidad de gestión y que une, normal-

mente, las diferentes calles de saca. Skidding road, skidding tracks (i); camí o pista de desembosc (cat)

Pista forestal: infraestructura viaria permanente realizada para la gestión diaria de un monte, que puede tener o no comunicación con otros montes vecinos, y que tiene unas características constructivas menos exigentes que el camino forestal. Forest roads (i); camí secundari o pista forestal (cat)

Plan anual de aprovechamientos: documento de carácter técnico-facultativo que relaciona todos los aprovechamientos forestales aprobados que van a efectuarse durante el año en los montes que gestiona la administración forestal, bajo el criterio técnico de persistencia o sostenibilidad de los recursos forestales. Annual planning of forest harvesting resources (i) pla anual d'aprofitaments (cat)

Plazo de ejecución: en los contratos administrativos hace referencia al periodo de tiempo del que se dispone para la ejecución del contrato. Execution time (i); termini d'execució (cat)

Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares: documento que tienen un carácter contractual en donde se refieren las condiciones o cláusulas de carácter técnico que regulan el aprovechamiento y que son de obligado cumplimiento. Particular technical specifications (i); plec condicions tècniques particulars (cat)

Poder calorífico: energía que libera una unidad de masa o volumen durante su combustión. Calorific value, heating value (i); poder calorífic (cat)

Poder calorífico bruto: energía liberada en la combustión en una bomba calorimétrica en condiciones especificadas de una unidad de masa de combustible. Gross calorific value (i); poder calorífic superior (cat)

Poder calorífico bruto a volumen constante: ver *poder calorífico bruto*

Poder calorífico inferior: Ver *poder calorífico neto*

Poder calorífico neto: energía liberada por una unidad de masa de combustible en una combustión completa en presencia de oxígeno, de modo que toda el agua de los productos de combustión se elimine en forma de vapor de agua. Net calorific value (i); poder calorífic inferior (cat)

Poder calorífico neto a presión constante: poder calorífico neto obtenido en condiciones constantes de presión constante, como se produce en las calderas de combustión industriales o residenciales (a presión atmosférica). Net calorific value of the fuel at constant pressure (i); poder calorífic inferior a pressió constant (cat)

Poder calorífico neto a volumen constante: poder calorífico neto obtenido en condiciones constantes de volumen, como se produce en las bombas calorimétricas de los laboratorios. Net calorific value at constant volumen (i); poder calorífic inferior a volum constant (cat)

Poder calorífico superior: ver *poder calorífico bruto*

Poleas: mecanismo que consiste en una rueda giratoria de borde acanalado por el que se deslizan los cables. Rollers, block (i); politja (cat)

Porcentaje de corteza: volumen de la corteza dividido entre el volumen total con corteza. Bark volume percentage, proportion of bark volume (i); percentatge d'escorça (cat)

Poste: pieza alargada de madera en rollo para utilización como soporte vertical, de más de 12 cm de diámetro y más de 6 m de longitud. Wood pole (i); pal (cat)

Precio de tasación o base de licitación: representa el valor del aprovechamiento que se va a licitar o enajenar. En licitaciones mediante subastas al alza representa el valor mínimo del aprovechamiento. Tender price (i); preu taxació, preu base (cat)

Precio índice: en la enajenación por subasta de aprovechamientos en montes de las administraciones públicas representa el valor del aprovechamiento, superior al de tasación, por debajo del cual la entidad propietaria del monte puede ejercer el derecho de tanteo para adjudicarse el aprovechamiento. En aprovechamientos de maderas suele ser superior en un 25% al de licitación. Index price (i); preu índex (cat)

Producto forestal maderero: son aquellos que se basan en la madera, entendida esta como el material en forma de árboles en pie o apeados, o productos obtenidos después de su transformación. Wood forest product (i); producte forestal fustaner (cat)

Producto forestal no maderero (PFNM): son, según la Ley de Montes, el corcho, los de resina, pastos, caza, frutos, hongos, plantas aromáticas y medicinales, productos apícolas y los demás productos y servicios con valor de mercado característicos de los montes. Non – wood product (i); producte forestal no fustaner (cat)

Punta delgada: extremo de una pieza de madera en rollo que presenta menor diámetro. Small end (i); punta prima (cat)

Puntal: ver estaca

Punto de saturación de las fibras: situación que se produce cuando la pared celular contiene la máxima cantidad de humedad mientras que el lumen no contiene agua. Fiber saturation point (i); punt de saturació de les fibres (cat)

Raberón: parte superior del árbol que resulta de la operación de descopado. Suele ser un resto o residuo de la corta. Top, end piece (i) torrat (cat)

Raigal: engrosamiento de la parte inferior del fuste. Butt swelling (i); raigal (cat)

Reconocimiento final: operación por la que se comprueba si la ejecución del aprovechamiento se corresponde con lo prescrito en el Pliego de Prescripciones técnico-facultativas de este. Final reconnaissance (i); reconeixement final (cat)

Remolque: vehículo no autopropulsado diseñado y concebido para ser remolcado por un vehículo de motor. Trailer (i); remolc, tráiler (cat)

Residuo de corta: parte del árbol que no tiene aprovechamiento comercial y se deja en el monte después de una operación de corta. Forest debris (i); restes de tallada (cat)

Resto de corta: ver *residuo de corta*

Reunión: operación anterior a la fase de desembosque consistente en la agrupación de la madera, formando normalmente pilas, para facilitar su desembosque. Piling, bunching (i); arreplega (cat)

Riesgo y ventura: modalidad de enajenación del aprovechamiento en donde el precio del mismo se fija de manera definitiva al inicio, de forma que el adjudicatario pagará únicamente el importe fijado, con independencia de que el valor de lo aprovechado por él sea mayor o menor a ese precio. Risk and lucky (i); risc i ventura (cat)

Rodadas: deformación que se produce en la superficie del suelo como consecuencia del paso de vehículos. Rut (i); roderes (cat)

RTI: denominación utilizada en Cataluña para la madera en rollo torneada e impregnada. Treated machine round timber pole (i); RTI (cat)

Saca: operación de transporte de trozas desde el pie del tocón hasta zona accesible al camión de transporte. Puede estar formada por dos fases, la reunión y el desembosque. Timber extraction (i) desembosc (cat)

Secuencia (entre los dientes de una cadena de motosierra): distancia entre dos dientes de corte consecutivos en la sierra de cadena. Cutter sequence (i); seqüència entre les dents (cat)

Semirremolque: vehículo no autopropulsado diseñado y concebido para ser acoplado a un automóvil, sobre el que reposará parte de este, transfiriéndole una parte sustancial de su masa. Semi-trailer (i); semi remolc (cat)

Señalamiento: en los aprovechamientos madereros, operación previa a la enajenación del aprovechamiento mediante la cual se marcan los árboles objeto de esta. Marking (i); assenyalament (cat)

Silleta: ver *asiento para cable portador*

Sistema árbol completo: sistema de aprovechamiento en el que se desembosca el árbol sin desramar ni despuntar. Whole tree method, full-tree method (i) sistema d' arbre sencer (cat)

Sistema de aprovechamiento: tipo de organización de las operaciones del aprovechamiento según el grado de elaboración con que se extrae la madera del área de corta. Forest harvesting system (i); sistema d'aprofitament (cat)

Sistema de diligencia debida: sistema que desarrolla una serie de medidas y procedimientos que permiten asegurar el origen legal de la madera, y de sus productos derivados, comercializada en el mercado comunitario. Due diligence system (i); sistema diligència deguda (cat)

Sistema fuste entero: sistema de aprovechamiento en el que se desembosca el árbol desramado y despuntado. Tree-length method (i) sistema de tronc sencer (cat)

Sistema madera corta: sistema de aprovechamiento en el que se desemboscan trozas de 2 a 2,5 m. Cut-to-length method , shortwood method (i) sistema de fusta curta (cat)

Sistema madera larga: sistema de aprovechamiento en el que se desemboscan trozas de 4 a 5 m. Longwood method (i); sistema de fusta llarga (cat)

Soporte final: soporte último de una instalación de cable grúa. Define, con el inicial, la longitud de la instalación por donde circula el carro. Tailtree (i); suport final (cat)

Subasta: forma de adjudicación en la que interviene un único criterio, el económico, para la clasificación de las ofertas. Pueden ser al alza, la más habitual en los aprovechamientos forestales, o a la baja. Auction (i); subhasta (cat)

Tala ilegal: la que se produce sin cumplir lo establecido en la legislación vigente del país donde tiene lugar el aprovechamiento. Illegal logging (i); tala il·legal (cat)

Tambor: parte del cabrestante en el que se arrolla el cable. Drum (i); tambor (cat)

Testa: extremo de una pieza de madera en rollo o aserrada, perpendicular al eje de la misma. End grain (i); testa (cat)

Tocón: parte del árbol que queda por encima del suelo después del apeo. Stump (i); soca (cat)

Tractocamión: automóvil concebido y construido para realizar, principalmente, el arrastre de un semirremolque. Tractor (i); cap tractora (cat)

Tractor agrícola: máquina autopropulsada utilizada para la realización de las labores propias de la agricultura. Farm tractor (i); tractor agrícola (cat)

Tractor forestal arrastrador: máquina autopropulsada todo terreno articulada con ruedas motrices que según el dispositivo que lleve implementado puede realizar el desembosque de la madera de forma arrastrada, semisuspendida o suspendida. Skidder (i); tractor forestal arrossegador (cat)

Transporte combinado: transporte intermodal de mercancías entre estados miembros de la Unión Europea en el cual los recorridos principales se realizan habitualmente en tren o por travesía marítima con el mínimo recorrido posible por carretera, exclusivamente en la etapa inicial y la final. Combined transport (i) transport combinat (cat)

Transporte intermodal: movimiento de mercancías en una misma unidad o vehículo usando sucesivamente dos o más modos de transporte sin manipular la mercancía en los intercambios de modo. Intermodal transport (i) transport intermodal (cat)

Transporte multimodal: movimiento de mercancías usando dos o más modos de transporte, cubierto por un contrato de transporte multimodal, entre lugares distintos. Multimodal transport (i) transport multimodal (cat)

Tren de carretera: conjunto de vehículos constituido por un vehículo a motor enganchado a un remolque. Road train (i); tren carretera (cat)

Troza: cada una de las porciones en las que se divide el tronco mediante cortes transversales. Block, log (i) trossada, roll (cat)

Tronzado: operación consistente en la división del fuste mediante cortes transversales. Cross-cutting (i); trossejar (cat)

Trozado: ver *tronzado*

Vehículo articulado: conjunto de vehículos compuesto por una cabeza tractora y un semiremolque o semitrailer. Articulated vehicle (i); vehicle articulat (cat)

Volumen aparente: volumen de la envolvente de una pila de madera. Corresponde al volumen del recipiente cuando la madera se almacena llenándolo completamente. Está formado por piezas de madera y los huecos existentes entre ellas. Stack volume, gross volume (i); volum aparent (cat)

Volumen real: en el caso de una pila de madera corresponde al espacio ocupado exclusivamente por las piezas de madera (descontando los huecos existentes entre ellas). Solid volume, net volume (i); volum real (cat)

Vientos: cables auxiliares que en las estaciones motrices móviles sirven para evitar el vuelco de la torre por el efecto de las tensiones a las que está sometida en su puesta en carga. Guyline (i); contravents (cat)

Yugo: accesorio que se implementan en una pareja de caballerías sobre su cuello para poder realizar de forma conjunta el tiro o arrastre. Yoke (i); jou (cat)

Glosario del corcho

Abrir: Fase del descorche que consiste en realizar cortes verticales en el corcho, con el hacha en el descorche tradicional, con la máquina de descorche en el caso de nuevas tecnologías. Cutting the cork vertically

Ahuecar: Fase del descorche que consiste en golpear con el revés del hacha en los bordes de la plancha de corcho. En el descorche con nuevas tecnologías es la fase en la que se aflojan las planchas entre sí por medio de la tenaza corchera. Beating of cork plank edge to separate it from the inner bark (i).

Barriga: Parte interior de la plancha, en contacto con la capa madre antes del descorche. Belly (i).

Bornizo: Primer corcho producido por el alcornoque. Virgin cork (i).

Burja (hurga, palanca): Herramienta de descorche consistente en una palanca de madera de unos 2 m de longitud y unos 5 cm de diámetro. Special lever for cork stripping (i).

Calibre: Espesor del corcho, se puede medir en milímetros o líneas (1 línea = 2,256 mm). Cork thickness (i).

Capa madre: Capa situada entre el corcho y la madera en el alcornoque. Está constituida por 4 tejidos de células vivas: felógeno, felodermis, líber y cambium. Cork-generating layer or inner bark(i).

Collera: Pareja de sacadores que trabajan juntos. Cork stripping workers couple (i).

Colena: Grieta natural en el corcho, en el fondo de la cual casi puede apreciarse la capa madre. Crack in cork bark (i)

Corcho fábrica: El obtenido en el tercer y sucesivos descorches. Second reproduction cork (i).

Corcho de reproducción: El obtenido en el segundo y sucesivos descorches. Reproduction cork (i).

Cuello: Límite superior del descorche en un alcornoque. Neck (i).

Descorche: Extraer el corcho de los alcornoques. Cork striping, debarking (i).

Dislocar: Fase del descorche en la que se comienzan a desprender las planchas entre sí y de la capa madre. Separate the cork planks off the tree (i).

Espalda: Parte exterior de la plancha, en contacto con el aire antes del descorche. Backs (i).

Gavilán: Cada uno de los extremos puntiagudos de la hoja del hacha corchera. Hook (i).

Hacha corchera: Herramienta fundamental del descorche tradiciona. Está formada por una cabeza de acero y un mango ligeramente curvo de madera resistente. El filo tiene un radio de curvatura más pequeño que las hachas para madera. Cork axe (i).

Hachazo: Daño provocado por un corte de hacha en la capa madre. Axe cut damage (i).

Línea: Medida de longitud tradicional en el sector del corcho que equivale a 2,256 mm. Line (i).

Machero: Alcornoque joven que todavía no ha sido descorchado. Virgin cork oak (i).

Manijero: Capataz de una cuadrilla de sacadores. Foreman (i).

Pela: ver **descorche** . Cork stripping, debarking (i).

Plancha: Cada una de las piezas de corcho de reproducción de más de 400 cm^2 de superficie que resultan del descorche del alcornoque. Plank (i)

Quintal castellano: Medida de peso tradicional en el sector del corcho que equivale a 46 kg.

Recortar: Seccionar frentes y costados de las planchas de corcho para permitir una correcta visualización de su aspecto y calibre. Visage of cork plank(i).

Refugo: Corcho de reproducción de baja calidad no apto para tapones. Raw cork waste (i).

Retacear: Separar mediante corte las calidades diferentes de una plancha de corcho. Trace the cork plank (i).

Reunión: Fase del descorche que consiste en transportar las planchas desde el pie del árbol hasta un cargadero. Gathering cork in the field (i).

Ruedo: Desbroce alrededor del alcornoque, despejando básicamente la proyección de la copa.

Segundero: Corcho producido por el alcornoque una vez sacado el bornizo. First reproduction cork (i).

Saca: Conjunto de operaciones que se llevan a cabo para descorchar los alcornoques. Cork stripping, debarking, cork extraction (i).

Sacador: Trabajador especializado en el descorche. Cork stripping worker, person who removes cork from the tree (i).

Santo: Daño provocado por el arranque de un trozo de capa madre. Wounds damage (i).

Separar: Fase del descorche en la que se desprenden totalmente las planchas del alcornoque. Extracting the cork planks form the cork-oak (i).

Subericultura: Ciencia que trata del cuidado y explotación del alcornoque. Subericulture (i).

Suberoteca: Almacén de muestras de corcho, clasificadas por años y fincas. Cork collection (i).

Tenazas corcheras: Herramienta manual o mecánica que sirve para ahuecar durante el descorche. Cork pincer (i).

Trazar: Fase del descorche que consiste en realizar cortes horizontales en el corcho, con el hacha en el descorche tradicional, con la máquina de descorche en el caso de nuevas tecnologías. Cutting the cork horizontally. Make horizontal scores marking corkstripping área (i)

Trozo: Pedazo de corcho de reproducción de menos de 400 cm^2. Cork piece (i).

Turno de descorche: Periodo de tiempo que medra entre dos descorches sucesivos. Cork stripping cycle (i).

Vereda: Sendero que permite desplazarse de un alcornoque a otro. Path (i).

Zapata: Corcho formado en la base del alcornoque, en contacto con el suelo. Cork wedge (i).

Glosario del aprovechamiento resinero

Aguarrás: *ver trementina*.

Alisador: Herramienta utilizada para igualar la corteza de la zona de pica cuando se procede al desroñado. Smoothing blade (i).

Azuela: Hacha especial utilizada para extraer tiras de madera en el método Hugues, también denominada hacha gubia o rubia. Blocking axe (i).

Barrasco: Conjunto de resina que se recoge al rascar la entalladura al final de la campaña. También es una herramienta utilizada para desroñar. Scrape (i).

Barrasquillo: Herramienta utilizada para la recogida del barrasco en el sistema de pica con estimulantes. Es parecido al alisador pero curvado. Pull down scraper (i).

Brea: Subproducto de la resinación resultante de la combustión lenta de sarros y otras sustancias en las pegueras. Pitch (i).

Cara: Conjunto de entalladuras que se hacen en un pino de resinación. Face (i).

Colofonia: Es la fracción no arrastrable por vapor de la oleorresina (fracción no volátil) y está constituida de una mezcla de ácidos resínicos, mayoritariamente el ácido abiético. Rosin, Colophony (i).

Desroñe: Operación que consiste en quitar la corteza en la zona donde se va a picar. Trim (i).

Entalladura: Conjunto de picas hechas sobre un mismo tronco y unidas entre si consecutivamente a lo largo de la campaña. Curf (i).

Escoda: Herramienta para dar la pica. En unas regiones se conoce por este nombre a la herramienta usada en el método de pica de corteza y en otras a la homóloga del método Hugues. Hack (i).

Esencia de trementina, trementina o aguarrás: Fracción volátil de la destilación de resina.

Grapa: Placa fina de zinc o hierro galvanizado que sirve para recoger la resina que escurre por la cara para llevarla al pote. Apron (i).

Hacha: Herramienta de corte utilizada para desroñar. Axe (i).

Hacha gubia: ver *azuela*.

Mata: Parte en la que se divide un pinar de resinación y que trabajará cada resinero. Lot to turpentine (i).

Media luna: Herramienta utilizada para realizar la hendidura en forma de arco en el tronco y donde se colocará la grapa en el sistema Hugues.

Melera: Troza basal de un pino resinado en la que quedan inscritas las caras.

Miera: Sustancia metabólica que producen las coníferas, usada como materia prima para obtener aguarrás y colofonia. Oleoresin (i)

Peguera: Construcciones utilizadas para la elaboración de pez.

Pez: Subproducto de la resinación resultante de la combustión lenta de sarros y otras sustancias en las pegueras. Pitch (i)

Pica: Incisión que se realiza sobre un pino para obtener la resina. Chipping face, tapping wound, groove (i)

Pote: Recipiente de barro cocido o plástico para recoger la resina. Cup (i).

Raedera: Herramienta utilizada para rascar la entalladura y despegar la miera pegada.

Raedura: Miera pegada a la entalladura que se recoge en la última remasa raspando con la raedera.

Sarro: Conjunto de acículas, corteza y otros restos vegetales situados bajo la cara en resinación que se impregnan de la resina que por diversas causas no ha sido recogida en el pote y ha caído al suelo.

Tea: Finas láminas o tiras de madera obtenidas al hacer los cortes o picas sobre el árbol, de gran contenido en resina, poder calorífico y combustión. Resin wood (i)

Trazador: Herramienta con dos guías que sirve para marcar la anchura de la cara a resinar en el método de pica de corteza.

Trementina: Fracción volátil de la destilación de resina. Está formado principalmente por una mezcla de hidrocarburos terpénicos, mayormente alfa y beta pinenos. Turpentine (i).

Uve: Herramienta utilizada para realizar la hendidura en forma de uve en el tronco y donde se colocará la grapa en el sistema de pica de corteza.

Universitat de Lleida

Colabora:

Colegio Oficial de Ingenieros de Montes