

# JORNADAS BIOCOMBUSTIBLES CRISIS ENERGÉTICA, OPORTUNIDADES DE NEGOCIO

## Biocarburantes de segunda generación

Mercedes Ballesteros Perdices  
Jefe de la Unidad de Biomasa  
Departamento de Energía

CIEMAT

Valdesequera, 26 de noviembre de 2008

# INDUSTRIA DE BIOCARBURANTES BASADA EN CULTIVOS TRADICIONALES

- Materias ricas en azúcar: maíz, caña de azúcar, cereal, remolacha
- Oleaginosas: soja, colza, girasol, palma



MATERIA PRIMA EN COMPETENCIA CON LOS PRODUCTOS ALIMENTARIOS

## MALA IMAGEN MEDIÁTICA

Muchas voces en contra de los biocarburantes...

- Preocupación por los precios de los alimentos, deforestación, disponibilidad de agua, dudas acerca del balance de CO<sub>2</sub>, etc.
- Publicaciones de la FAO y la OCDE
- Posición de las ONGs

...que deben ser analizadas



## OPCIONES EN DISCUSIÓN

“Business as usual”: Cada país establecerá su política de acuerdo a sus intereses nacionales considerando sólo las implicaciones internacionales si son compatibles con sus prioridades.

Aproximación compatible con algunas salvaguardas.

Moratoria: Prohibición temporal de la producción hasta que se desarrollen las nuevas tecnologías y las estructuras regulatorias.

Consenso intergubernamental sobre la sostenibilidad de los biocarburos: Asumiendo que los efectos sobre la seguridad alimentaria, el cambio climático y la biodiversidad no pueden ser garantizados sólo a nivel nacional.

Foro para el intercambio de experiencias

Código de conducta con acuerdos internacionales

# LA CERTIFICACIÓN ES PARTE DE LA SOLUCIÓN

La Comisión Europea establecerá requisitos “muy estrictos” en la producción de biocarburantes para evitar cualquier impacto medioambiental o social negativo.

- Certificación obligatoria o los biocarburantes no contabilizarán o no tendrán incentivos fiscales
- Mínimo porcentaje de reducción de GEI (valor o método de cálculo estándar)
- No incentivar el cambio del uso de la tierra en zonas de alta biodiversidad

## NUEVOS CULTIVOS PARA FINES ENERGÉTICOS

- Existen más de 250.000 especies de vegetales superiores en la naturaleza.
- No más de 25 especies se dedican a cultivos extensivos (50% cereales)

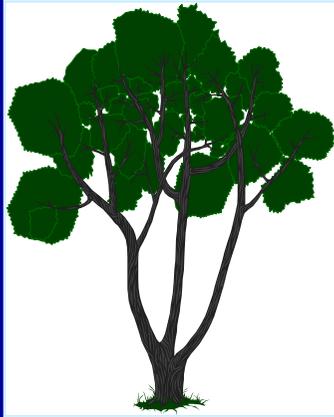


Gran potencial de selección de nuevas especies

## ¿Por qué B2G?

- No competencia con el sector alimentario
- Mayor rango de materias primas
- Mayores rendimientos por hectárea
- Mayores rendimiento energéticos
- No existe una clara división entre biocarburantes de 1ª y 2ª generación
- Se puede considerar como biocarburantes de 2ª generación aquellos que:
  - Utilizan materias primas no convencionales (ej. Lignocelulosa)
  - Se obtienen a partir de procesos complejos (ej. Fischer-Tropsch)

# Biomasa lignocelulósica



- Recursos suficientes para sustituir los derivados del petróleo
- Productos no ligados al mercado alimentario
- Muchos de ellos de origen residual
- Precios competitivos con los derivados del petróleo

## Procesos de transformación

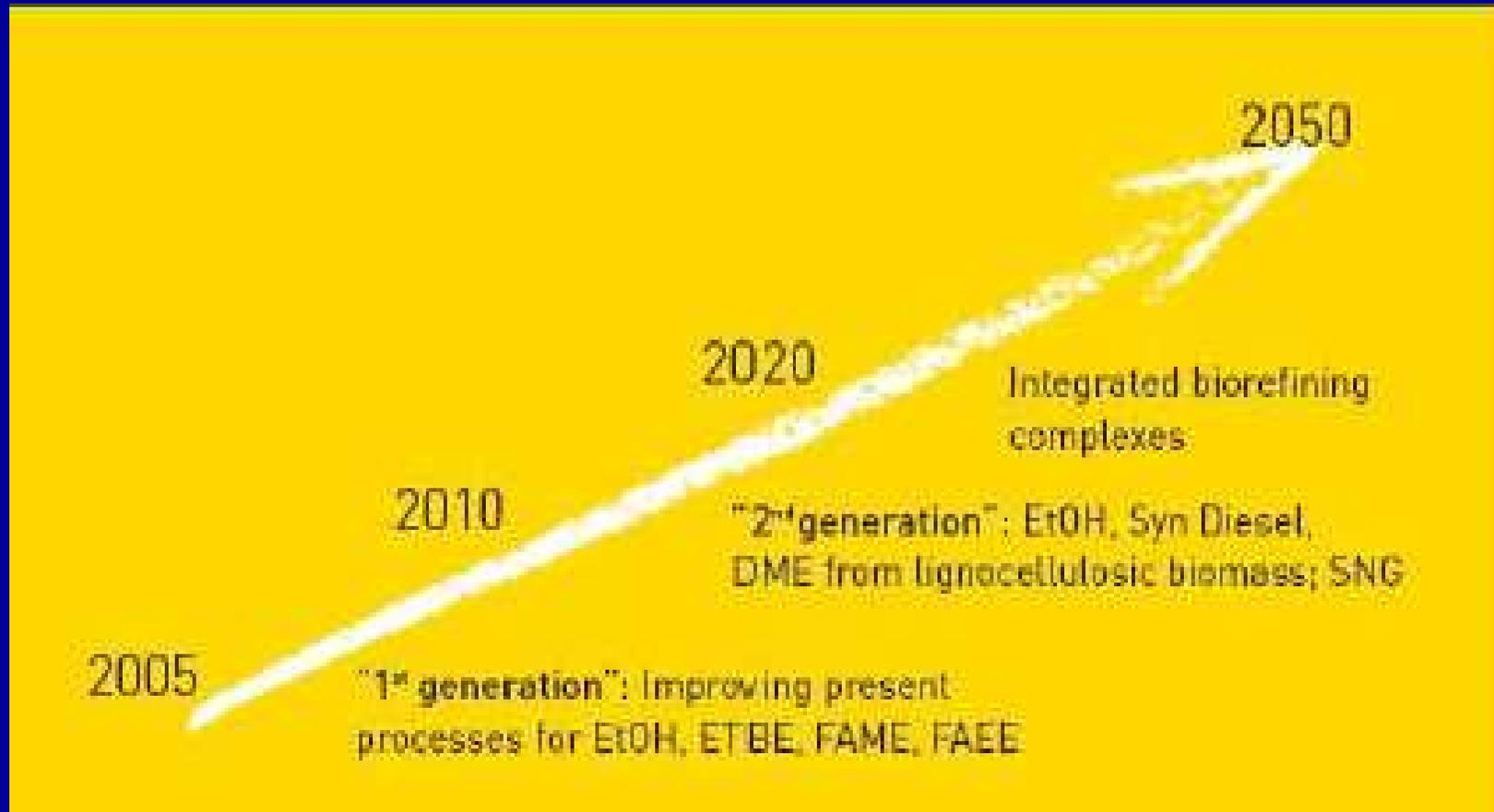
La conversión de lignocelulosa en biocarburantes es difícil

Actualmente no existen plantas de demostración o comerciales

Desarrollo de diversas alternativas (enzimáticas, gasificación, Fisher-Tropsch, licuefacción, etc)

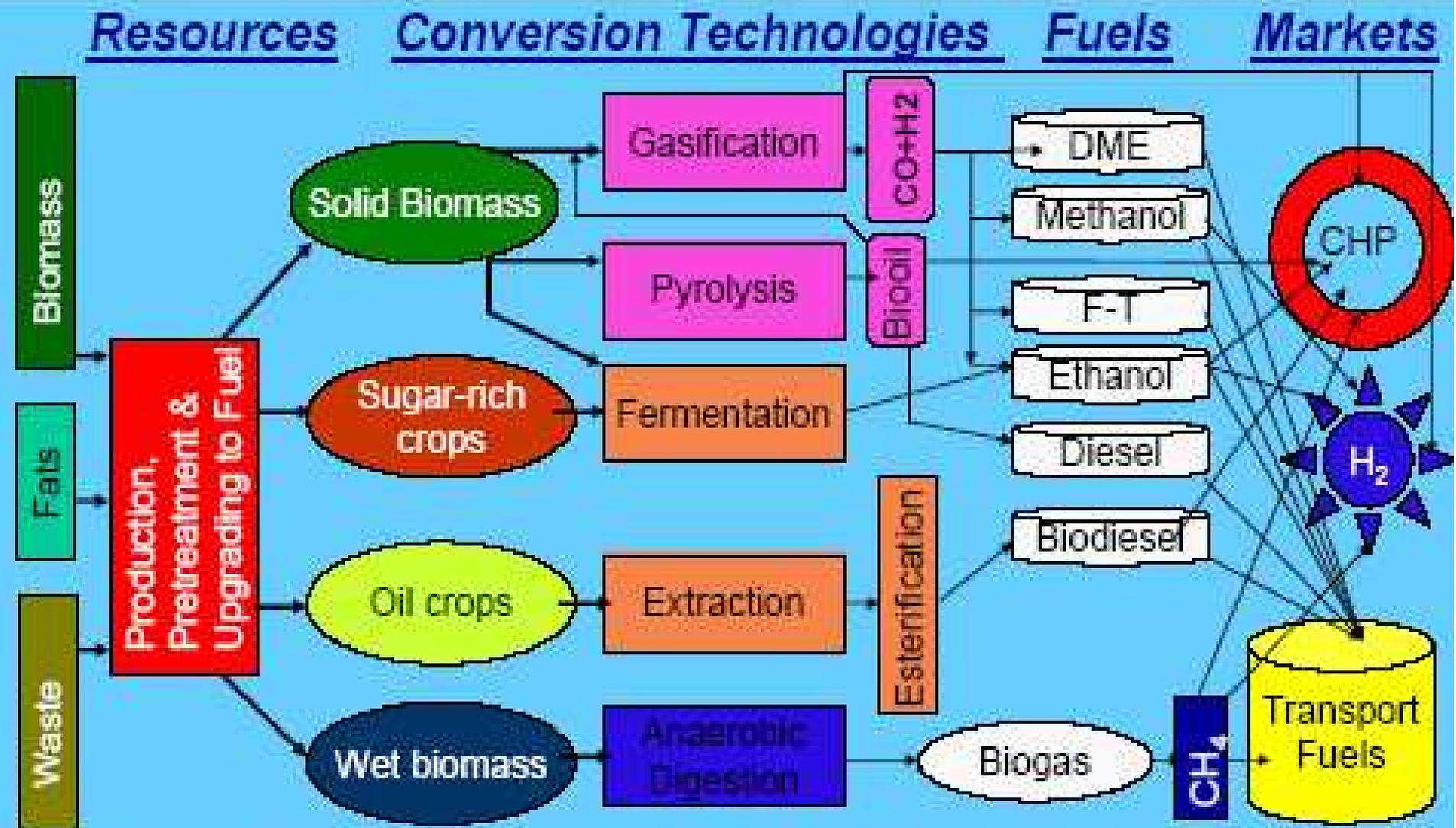
Muchos de los procesos avanzados de producción parecen caros y el potencial de futuro para reducirlos es incierto.

# HOJA DE RUTA DE LAS TECNOLOGÍAS



Fuente: Biofuels in the EU: A vision for 2030 and beyond

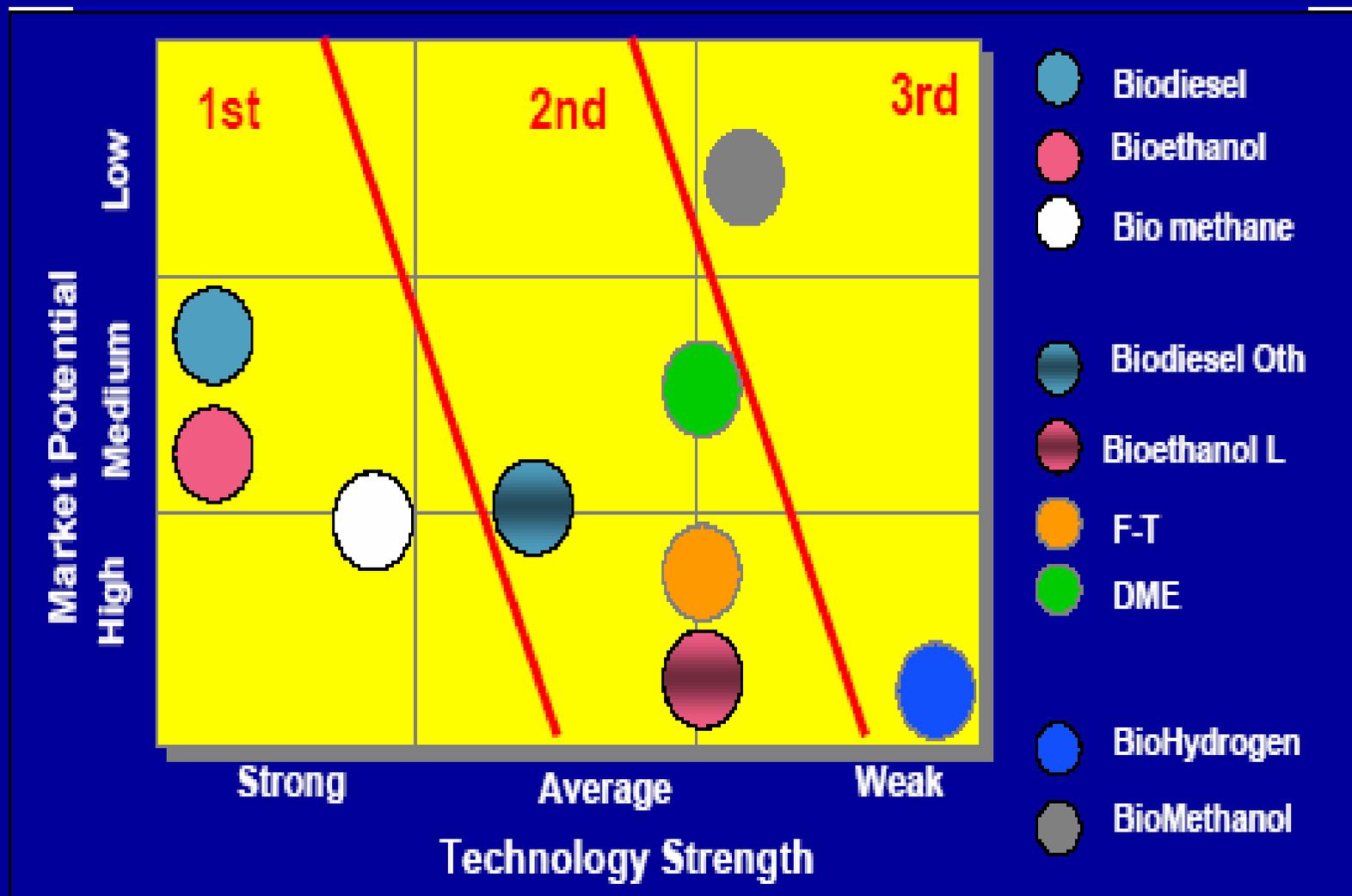
# RUTAS DE CONVERSIÓN



Source: DG TREN

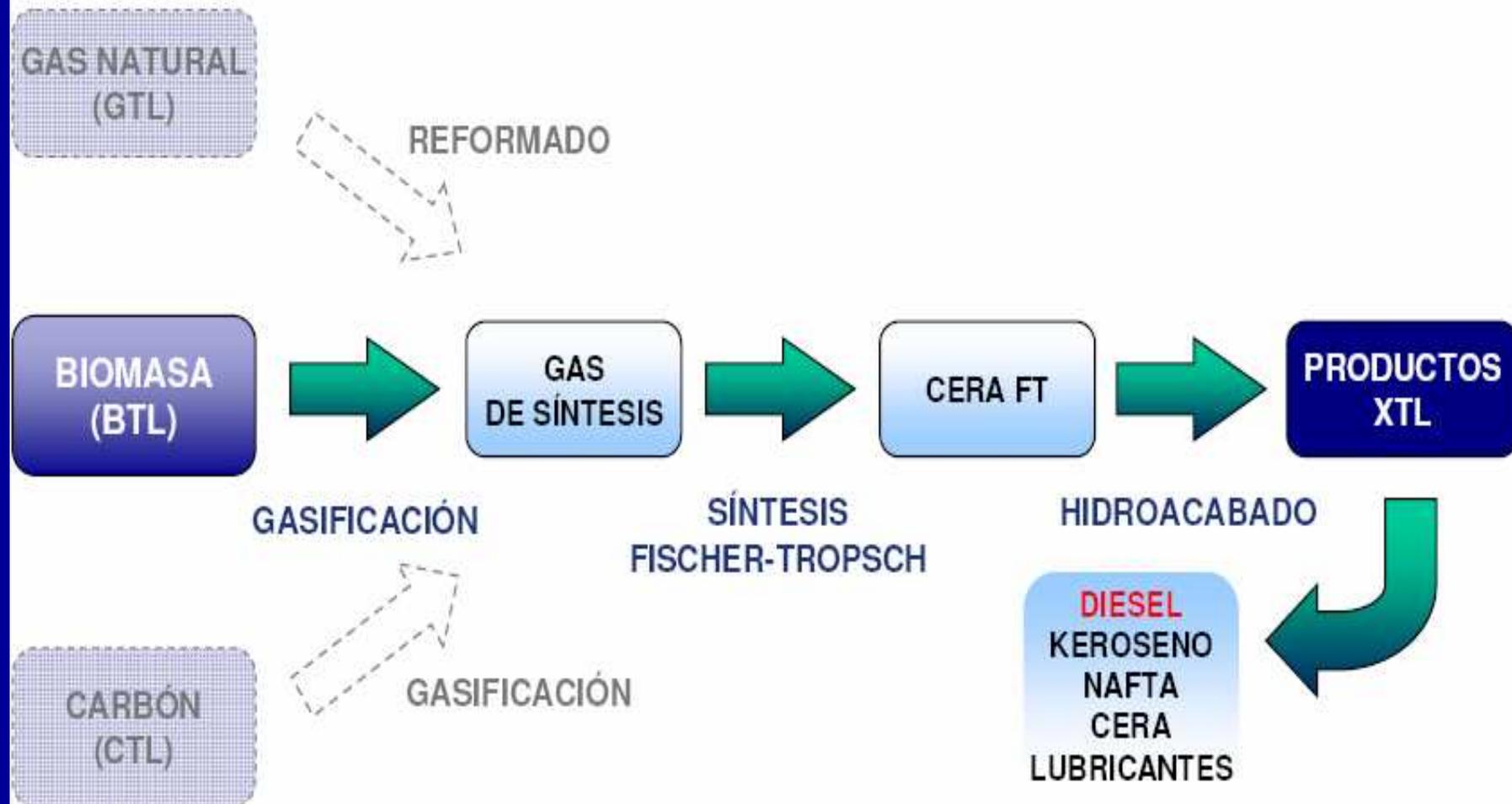
Note: Combustion not shown; Synthesis gas requires catalysts for upgrading  
 ▲ Indicates requirement of reformer

# SITUACIÓN DE LOS PROCESOS



## □ BTL : “Biomass to Liquids”

- ✓ **Proceso** químico que transforma biomasa lignocelulósica en hidrocarburos líquidos
- ✓ **Producto** obtenido por dicho proceso. Típicamente combustible Diesel



# BTL: CARACTERÍSTICAS PROCESO PRINCIPALES

- **La capacidad de producción (>4.000 L/ha) es muy superior a la del bioetanol (2.500 L/ha) o el biodiesel (1.300 L/ha)**
- **Alta calidad del producto BTL como combustible diesel**
  - ✓ Elevado número de cetano
  - ✓ Muy bajo contenido en aromáticos
  - ✓ Cero azufre
  - ✓ Buen comportamiento ambiental: bajas emisiones de partículas, NOx, azufre...
  - ✓ Eficaz para reducir CO2 en la flota total de vehículos (nuevos y viejos)
- **Inconvenientes del proceso**
  - ✓ Coste de inversión muy alto
  - ✓ Costes de producción extremadamente altos
  - ✓ Baja densidad de la biomasa: Costes asociados al transporte
  - ✓ Variabilidad de composición de la materia prima y falta de especificación

# INSTALACIONES (15-45 Mw térmicos) DE BTL EN EUROPA

CHOREN INDUSTRIES (Alemania): Madera

CHEMREC A.B. (Suecia): Utiliza las leñas negras



VARNAMO IGCC (Suecia)



ECN & SHELL (Holanda):  
Diversas materias primas



GUISSING      CHP  
Materiales



# COMPOSICIÓN Y ESTRUCTURA DE LA HEMICELULOSA

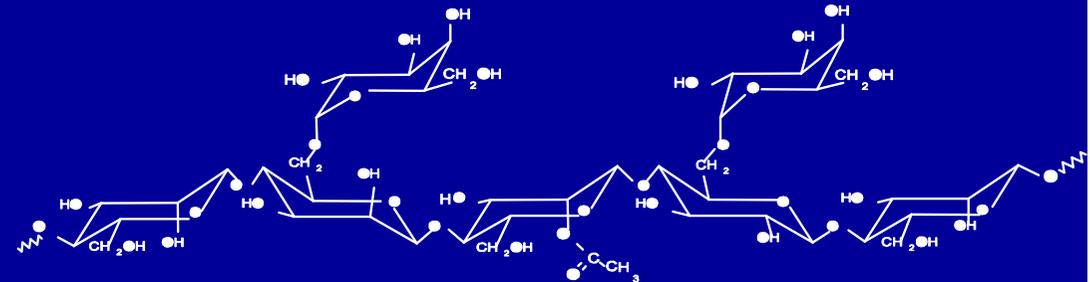
## □ Xilanos

✓ Maderas duras.

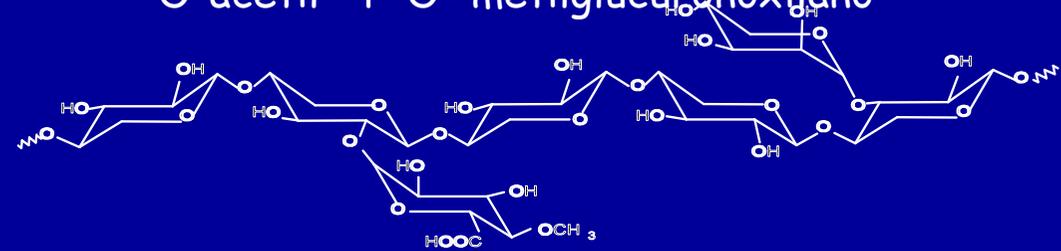
(xilosa  $\beta(1-4)$ , 4-O-metilglucurónico  $\alpha(1-2)$ , grupos acetilo).

✓ Maderas blandas.

(xilosa  $\beta(1-4)$ , 4-O-metilglucurónico  $\alpha(1-2)$ , arabinosa  $\alpha(1-3)$ ).



O-acetil- 4- O- metilglucuronoxilano



arabino- 4- O- metilglucuronoxilano

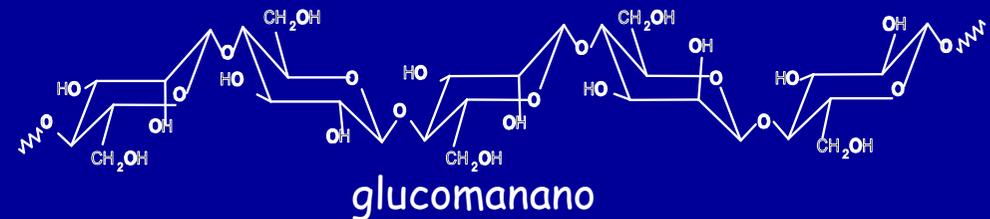
## □ Glucomananos

✓ Maderas duras

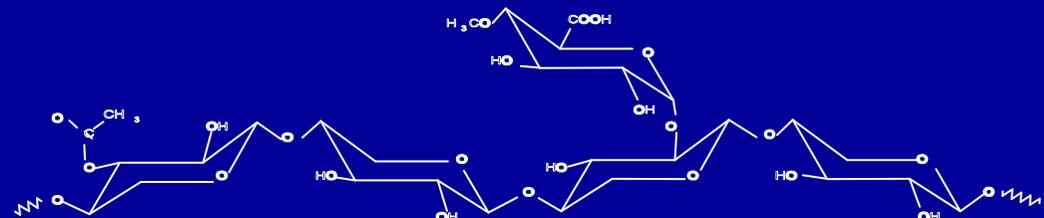
(glucosa - manosa  $\beta(1-4)$ )

✓ Maderas blandas

(glucosa - manosa  $\beta(1-4)$ , O-acetil, galactosa  $\alpha(1-6)$ )



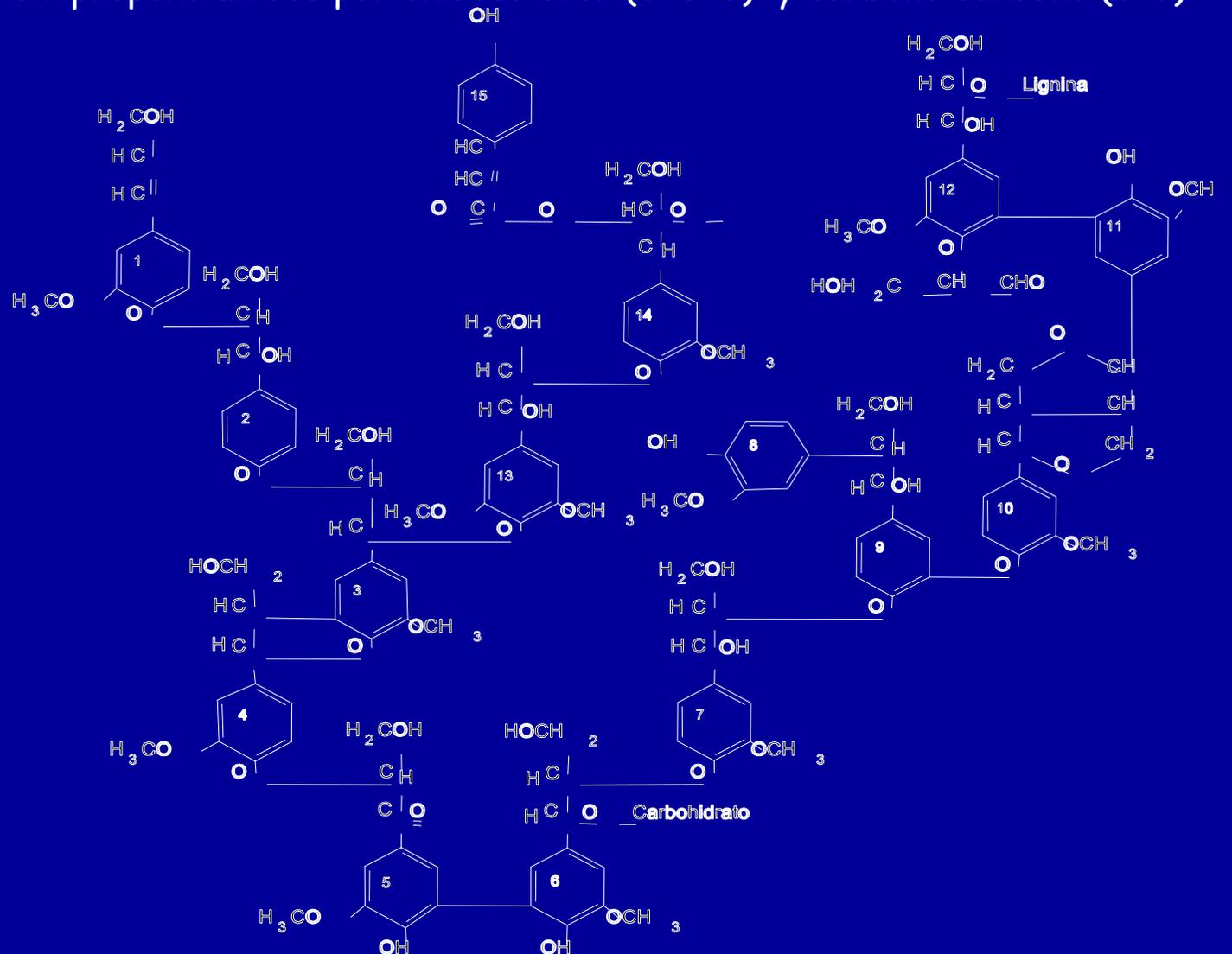
glucomanano



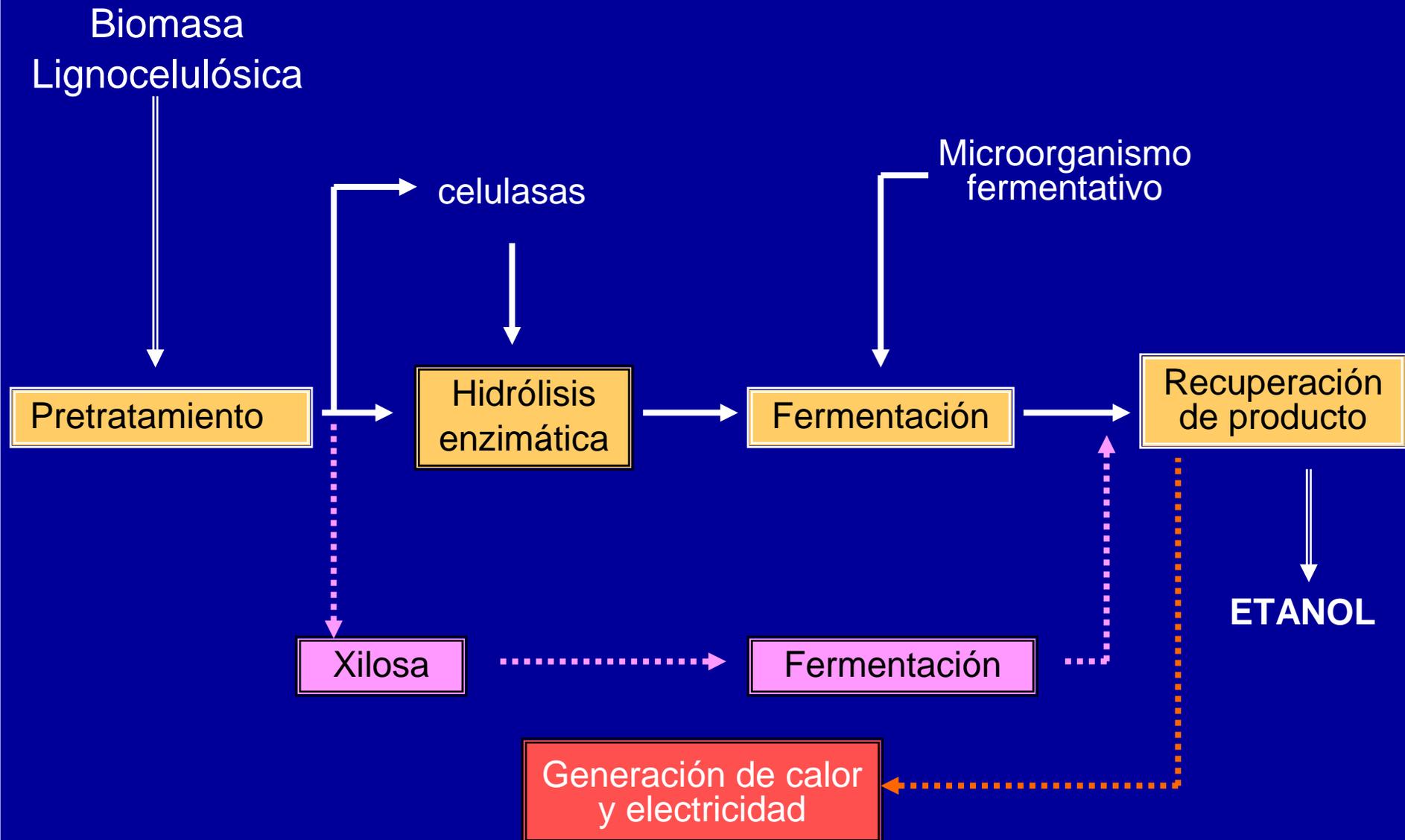
O-acetil - galactoglucomanano

# COMPOSICIÓN Y ESTRUCTURA DE LA LIGNINA

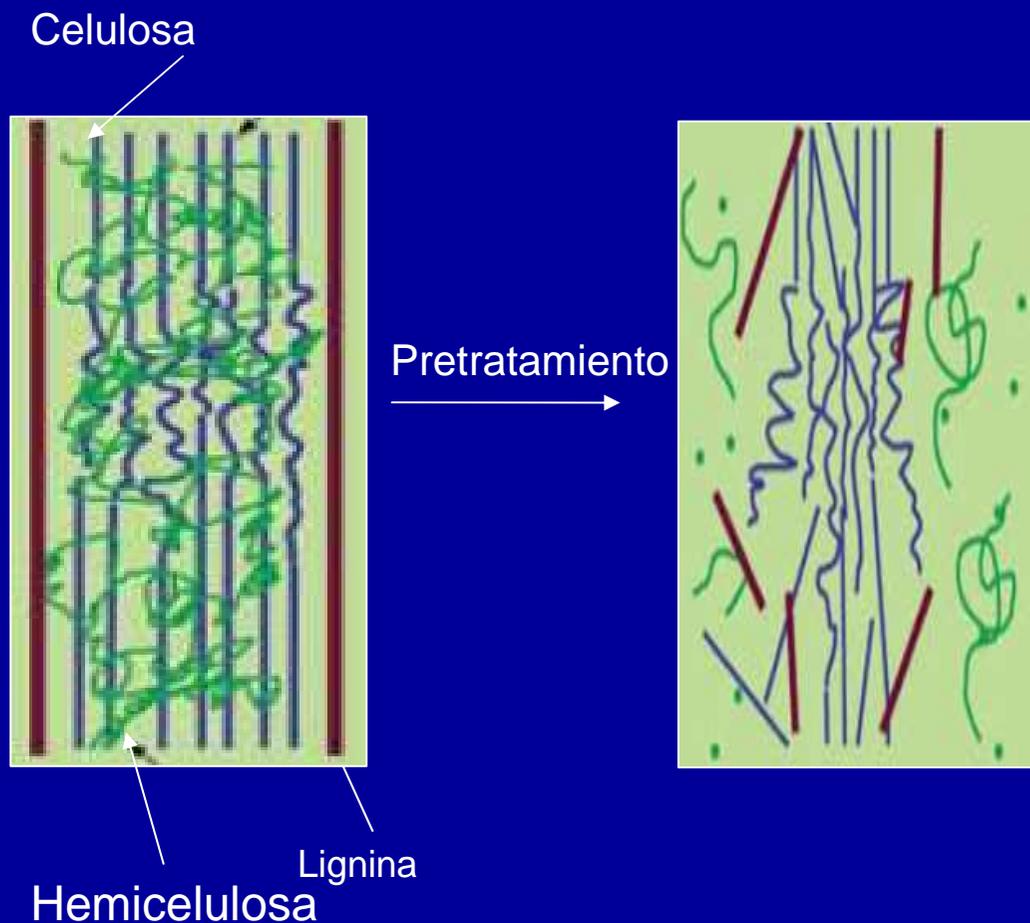
Fenilpropano unidas por enlaces éter (C-O-C) y carbono carbono (C-C)



# OBTENCIÓN DE ETANOL MEDIANTE HIDRÓLISIS ENZIMÁTICA



# PRETRATAMIENTO DE LA BIOMASA LIGNOCELULÓSICA

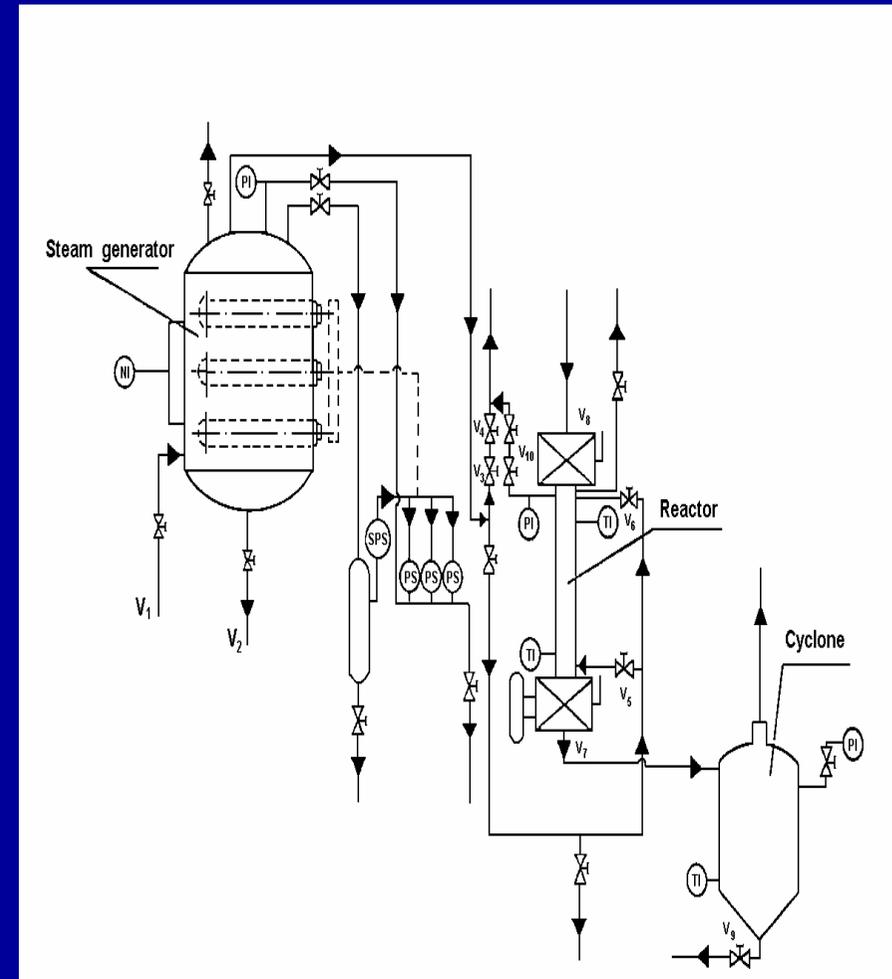


## OBJETIVOS:

- Bajo consumo energético
- Bajos costes de inversión
- Versatilidad
- Reactivos baratos
- Desarrollo comercial

# PRETRATAMIENTO: EXPLOSIÓN POR VAPOR

Efecto: Combina los efectos sobre la biomasa lignocelulósica de las altas temperaturas y presiones junto a la brusca descompresión.

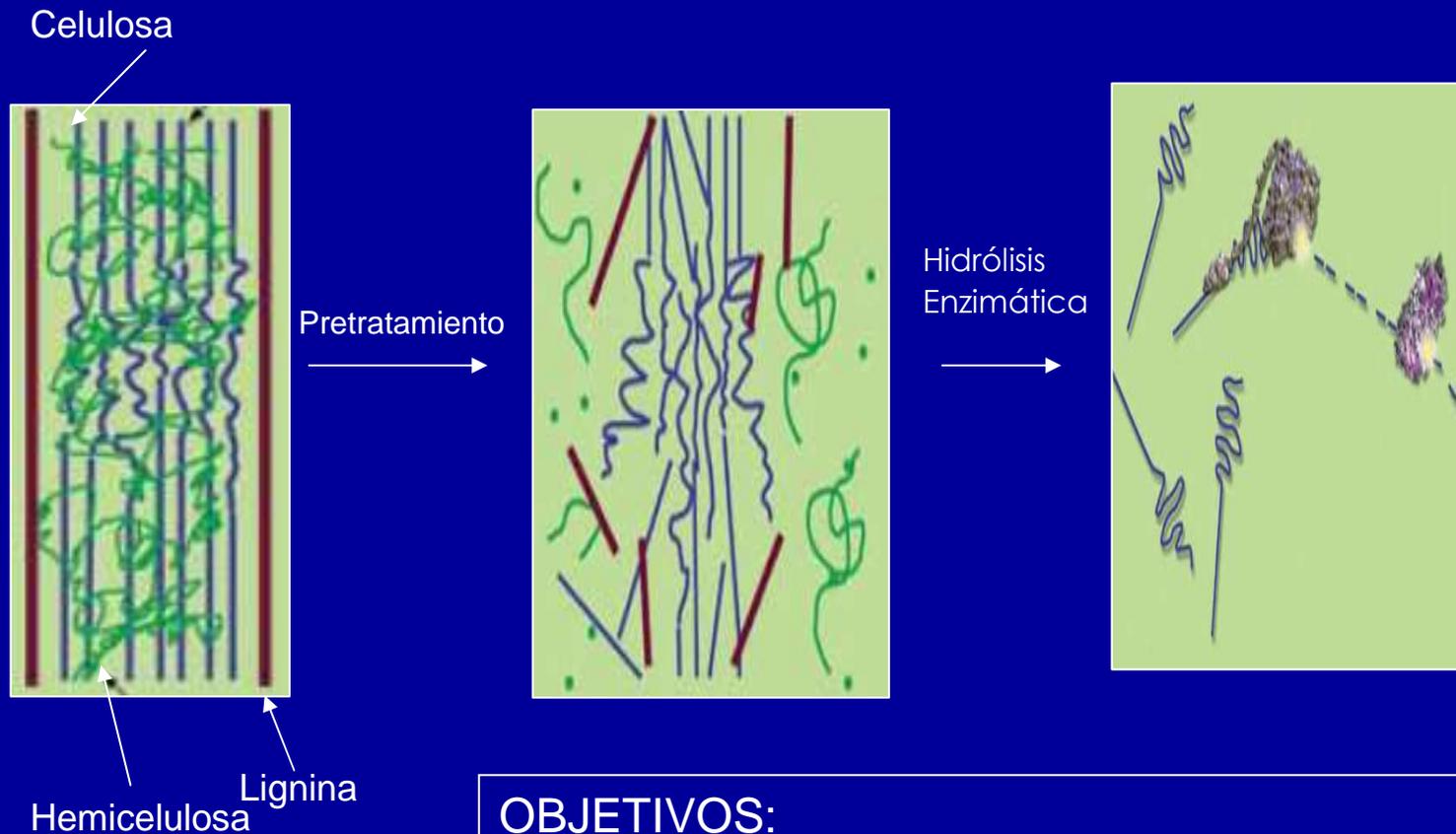


# PAJA DE TRIGO



|                 | Extractivos (%) | Celulosa (%) | Hemicelulosa (%) | Lignina (%) | Cenizas (%) |
|-----------------|-----------------|--------------|------------------|-------------|-------------|
| Paja            | 12              | 37           | 26               | 17          | 8           |
| Paja pretratada | ---             | 60           | 6                | 31          | 3           |

# HIDRÓLISIS ENZIMÁTICA



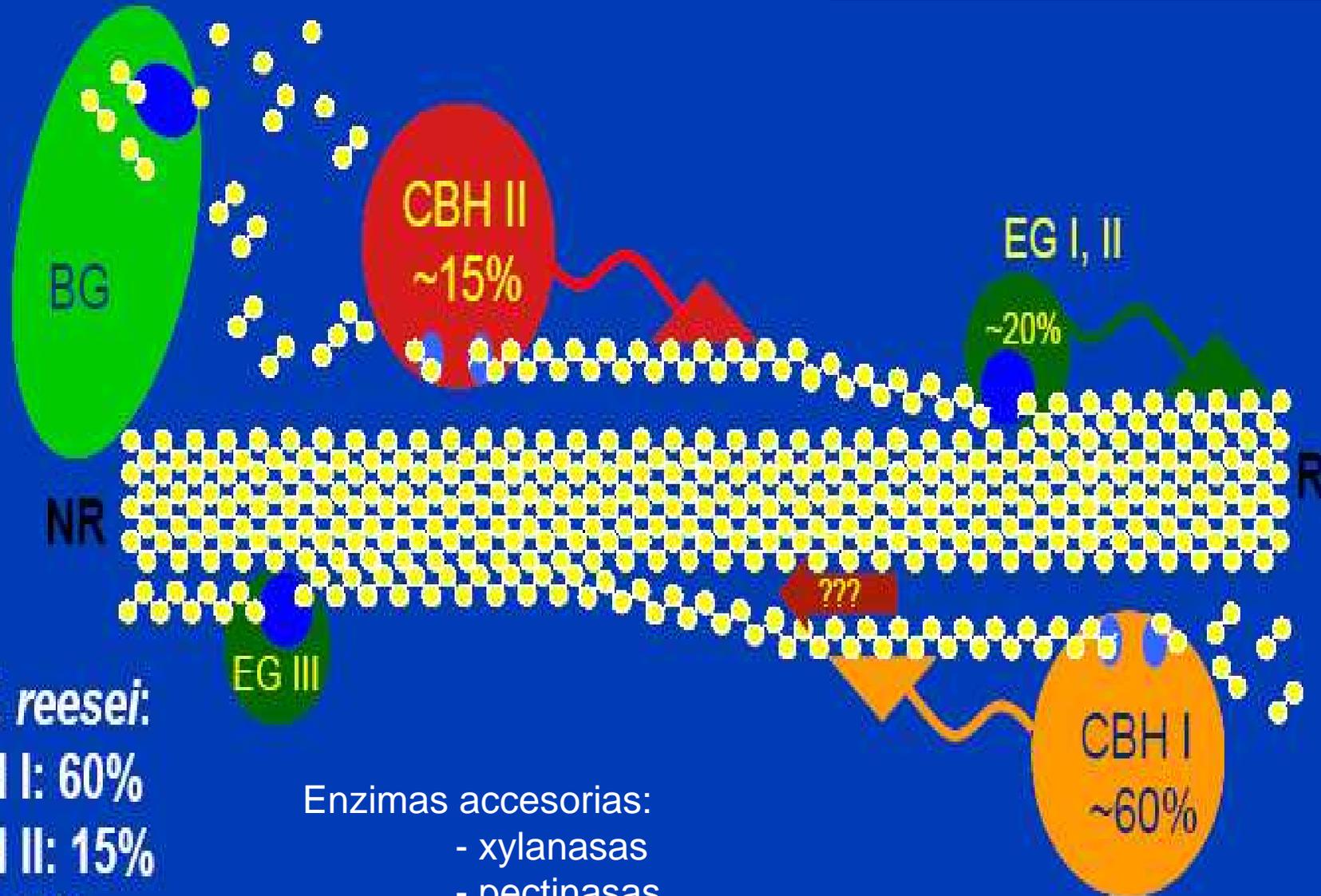
## OBJETIVOS:

- Incrementar la tasa de conversión (enzimas más activas)
- Utilizar menos enzimas (nuevas mezclas)
- Enzimas más baratas (nuevos microorganismos)

# Enzimas

## Complejo enzimático

- **Celulasas**
  - Endoglucanasas y exoglucanasas
  - Celobiohidrolasas
  - B- glucosidasa
- **Celulasas de hongos:** óptimo 50°C y pH 4 – 5
- **Alto costo de enzimas:** necesidad de producción en planta



In *T. reesei*:

CBH I: 60%

CBH II: 15%

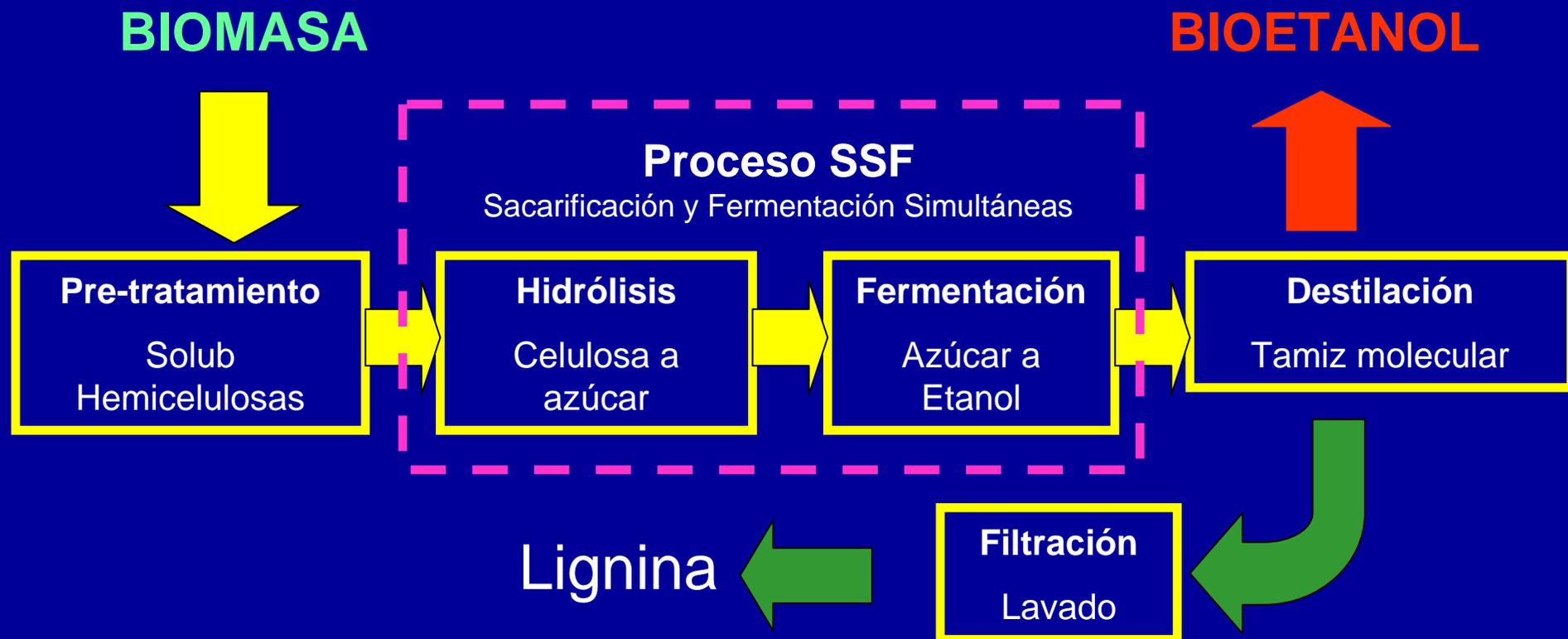
EG: 20%

BG: 2%

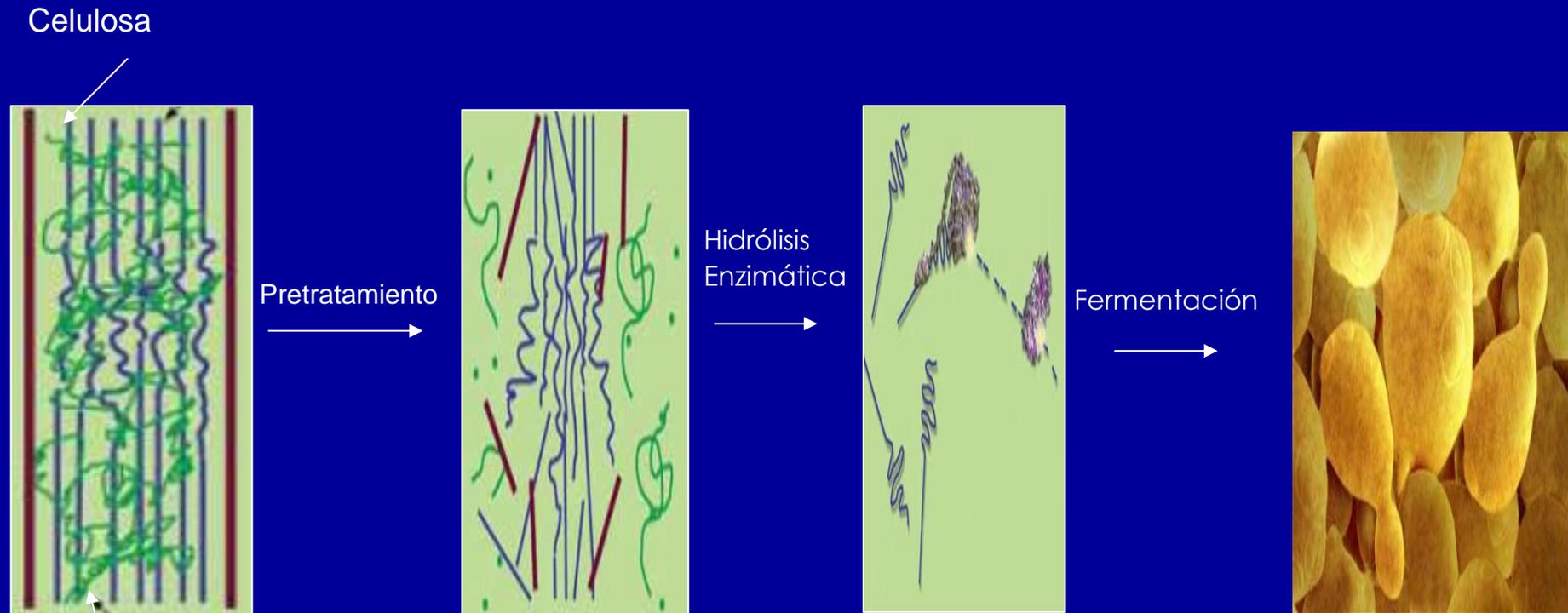
Enzimas accesorias:

- xylanasas
- pectinasas
- beta-glucosidasa
- extensinas

# Producción de Bioetanol de Biomasa Lignocelulósica



# FERMENTACIÓN A ETANOL



## OBJETIVOS:

- Buenos rendimientos en producción de etanol
- Resistencia a inhibidores
- Capaces de utilizar todos los azúcares (C5 y C6)

# Fermentación de Hidrolizados de Material Lignocelulósico



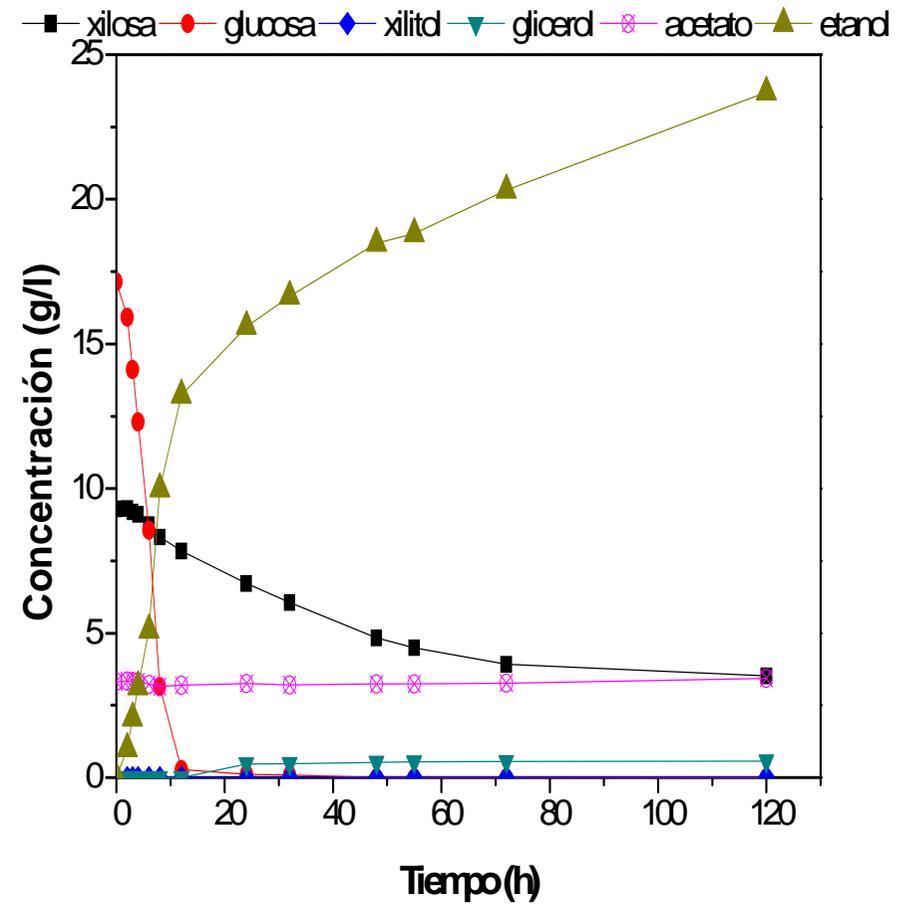
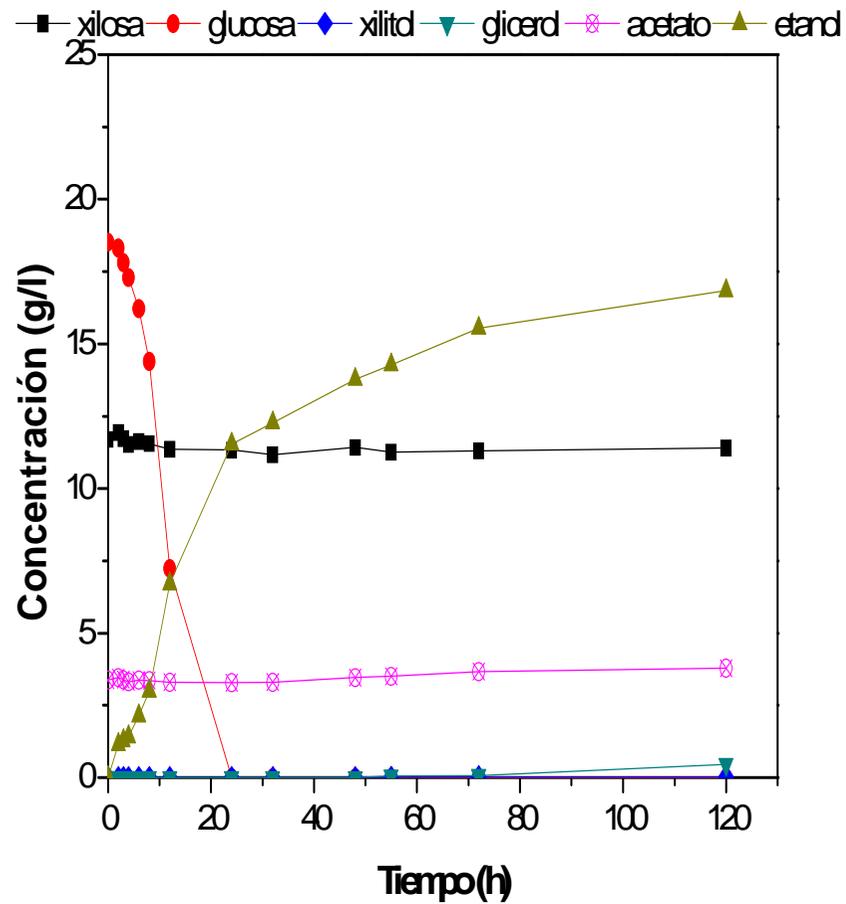
# Rendimiento Teórico de Etanol

- 2 moles de etanol por mol de glucosa
  - 0,51 g Etanol / g Glucosa
- 5 moles de etanol por 3 moles de xilosa
  - 0,51 g Etanol / g Glucosa
- 1 ton materia prima (madera)
  - 400 kg celulosa → 200 kg etanol
  - 200 kg hemicelulosa → 100 kg etanol
  - 300 kg lignina

# SACARIFICACIÓN Y FERMENTACIÓN SIMULTÁNEAS (10% (p/v))

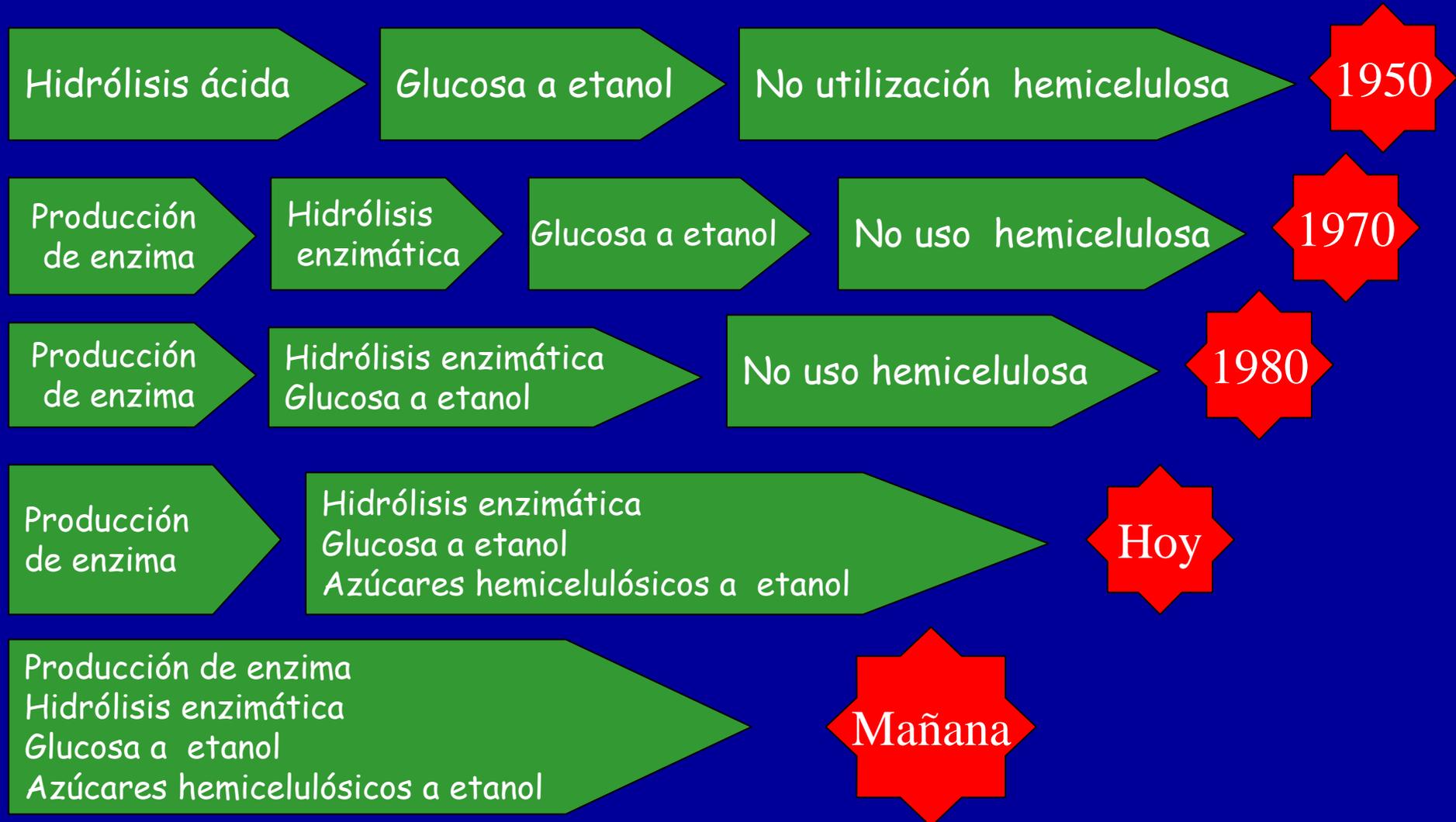
RED STAR

F12





# AVANCES EN LA INVESTIGACIÓN



## OBTENCIÓN DE ETANOL COMBUSTIBLE – PROCESO CIEMAT

Molienda: Tamaño de partícula entre 15-30 mm

Pretratamiento: Autohidrólisis con agua (190-230°C, 1-10 min)

Hidrólisis y fermentación simultáneas a 42°C y 72 h:

Celulasas comerciales y microorganismo termotolerante  
(*Kluyveromyces marxianus* CECT 10875)

Condiciones de proceso:

Concentración inicial de sustrato: 10%

Carga enzima: 15 FPU/g celulosa

Rendimiento en glucosa: 70%

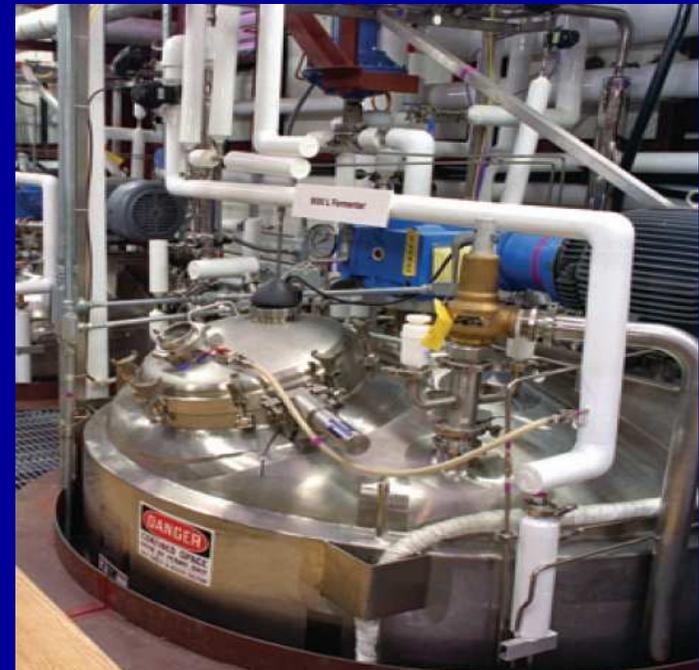
Rendimiento en xilosa: 50%

Concentración de etanol 2-3 % (p/p)

$Y_{\text{PROCESO}}$  APROX. 6 kg biomasa/litro etanol

# INTEGRACIÓN DE LAS ETAPAS DEL PROCESO

- Alto contenido en sólidos
- Reutilización del agua de proceso
- Baja concentración de enzima e inóculo
- Prehidrólisis
- Sacarificación y fermentación simultáneas



## OBTENCIÓN DE ETANOL COMBUSTIBLE – PROCESO CIEMAT

Molienda: Tamaño de partícula entre 15-30 mm

Pretratamiento: Autohidrólisis (190-230°C, 1-10 min)

Hidrólisis y fermentación simultáneas a 42°C y 72 h:  
Celulasas comerciales y microorganismo termotolerante  
(*Kluyveromyces marxianus* CECT 10875)

Condiciones de proceso:

|  |   |         |
|--|---|---------|
| Concentración inicial de sustrato: 10% | → | 20%     |
| Carga enzima: 15 FPU/g celulosa        | → | 5 FPU/g |
| Rendimiento en glucosa: 70%            | → | 90%     |
| Rendimiento en xilosa: 50%             | → | 70%     |
| Concentración de etanol 2-3 % (p/p)    | → | 4%      |

$Y_{\text{PROCESO}}$  APROX. 6 kg biomasa/litro etanol → 5 kg/l

## PLANTAS DE DEMOSTRACION DE BIOETANOL DE 2ª GENERACIÓN POR VÍA BIOQUÍMICA EN EUROPA

| Localización                | Propietario | Tipo pretratamiento         | Materia prima                              | Capacidad               |   |
|-----------------------------|-------------|-----------------------------|--|-------------------------|---|
| Lyngby<br>Dinamarca         | BioGasol    | Oxidación húmeda            | Paja de trigo,<br>residuos de<br>madera    | 45 l<br>etanol/día      |    |
| Örnsköldsvik<br>Suecia      | SEKAB       | Hidrólisis ácida<br>diluida | Madera de<br>coníferas, paja<br>cereal     | 300-400 l<br>etanol/día |    |
| L´Alcudia<br>Valencia       | IMECAL      | Hidrólisis ácida<br>diluida | Residuos<br>agroalimentario<br>s y urbanos | 4 t<br>residuo/día      |  |
| Babilafuente<br>(Salamanca) | Abengoa     | Explosión con vapor         | Paja de trigo                              | 5 M l<br>etanol/año     |  |

# BIOETANOL LIGNOCELULOSICO EN EE.UU. ¿UNA REALIDAD?

- POET (Iowa) 35 MM gal/año
- Iogen Biorefineries Inc. (Idaho) 250 MM gal/año
- Abengoa Bioenergy (Kansas) 11,4 MM gal/año + ee
- ALICO Inc. (Florida) 13,9 MM gal/año + ee + H<sub>2</sub>
- Range Fuel Inv. (Georgia) 40 MM gal/año + 9 MeOH
- BlueFire Inc. (California) 90 MM gal/año

## RANGE FUEL

- Inversionistas: Merrick and Company; PRAJ Industries Ltd.; Western Research Institute; Georgia Forestry Commission; Yeomans Wood and Timber; Truetlen County Development Authority; BioConversion Technology; Khosla Ventures; CH2MHill; Gillis Ag and Timber.
- Inversión : 300 millones de dólares (40 % DOE)
- Ubicación: Soperton (Treutlen County), Georgia
- Proceso: Gasificación y síntesis
- Materia prima: Residuos de madera 1200 t/día
- Volumen de producción: 40 millones gal/año de,etanol y 9 MM gal/año de metanol

# ALICO

- Inversionistas: Alico Inc. Investor
- Inversión : 180 millones de dólares (40 % DOE)
- Ubicación: La Belle, Florida
- Proceso: Gasificación ( $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$  e  $\text{H}_2$ ) y fermentación anaerobia
- Materia prima: Residuos agrícolas del cultivo del maíz, paja cereal.
- Volumen de producción: 13.9 millones gal/año, 6.2 MW, 8.8 ton  $\text{H}_2$  y 50 toneladas de amonio

## BlueFire Ethanol Inc.

- Inversionistas: Waste Management Inc., JGC Corporation, MECS Inc.; NAES, Petrodiamod.
- Inversión: 100 millones de dólares (40 % DOE)
- Ubicación: Sur de California
- Proceso: Hidrólisis ácida y fermentación
- Materia prima: residuos lignocelulósicos de vertedero y residuos de madera
- Volumen de producción: 90 millones gal/año

# POET (Ex BrainCompanies)

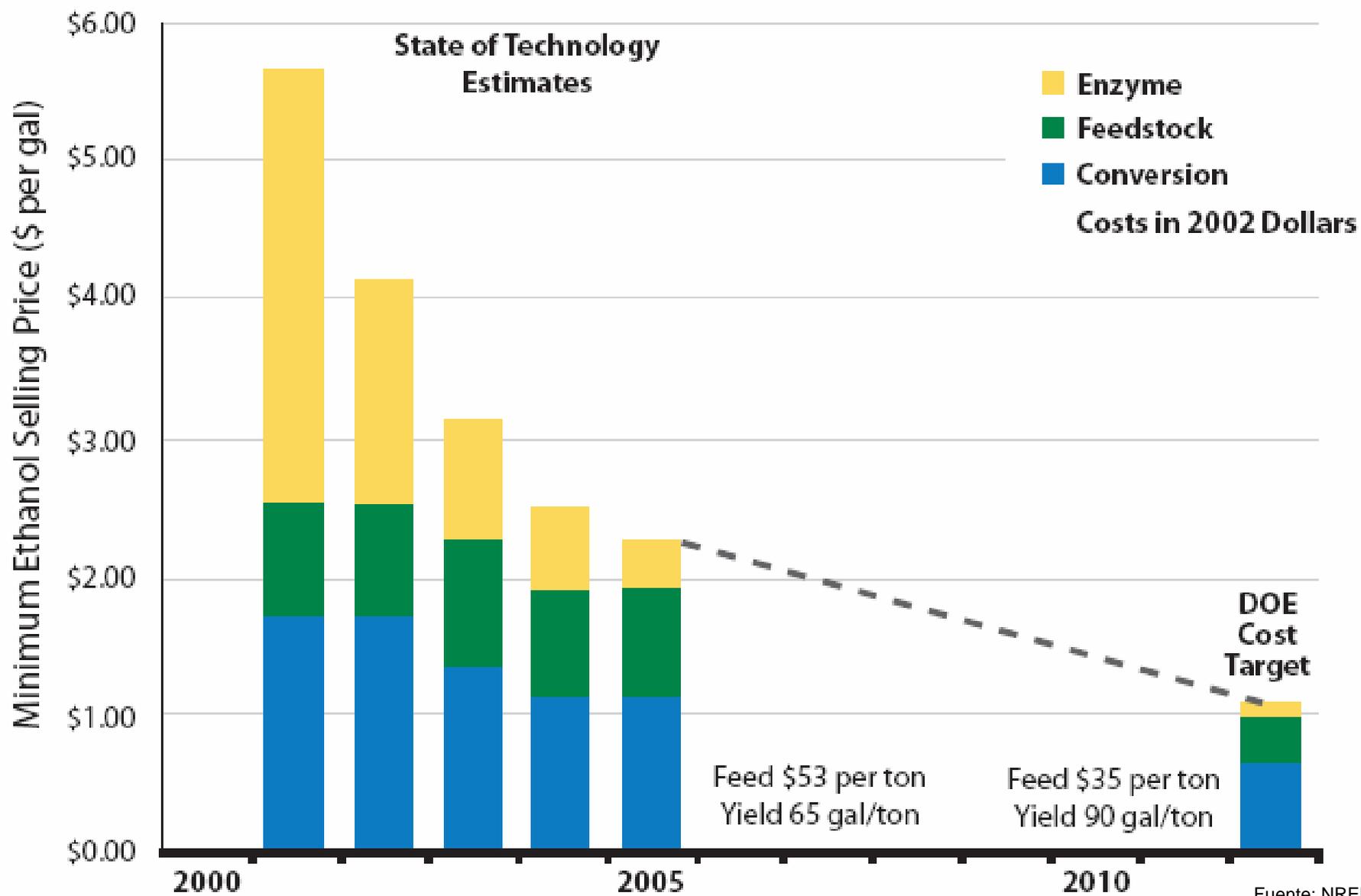
- Inversionistas:
  - E. I. du Pont de Nemours and Company; Novozymes North America, Inc.; and DOE's National Renewable Energy Laboratory
- Inversión : 200 millones de dólares (40 % DOE)
- Ubicación: Emmetsburg, Iowa
- Proceso: Hidrólisis enzimática y fermentación
- Materia prima: Residuos agrícolas del cultivo del maíz (842 ton/día)
- Volumen de producción: 35 millones gal/año

# IOGEN BIOREFINERIES

- Inversionistas:
  - Iogen Energy Corporation; Iogen Corporation; Goldman Sachs; and The Royal Dutch/Shell Group.
- Inversión: 380 millones de dólares (40 % DOE)
- Ubicación: Shelley, Idaho
- Proceso: Hidrólisis enzimática y fermentación
- Materia prima: Residuos agrícolas del cultivo del maíz, paja cereal, paja arroz (700 ton/día)
- Volumen de producción: 18 millones gal/año

# ABENGOA BIOENERGÍA

- Inversionistas:
  - Abengoa Bioenergía, Abengoa Engineering and Construction, LLC, Antares Corp., Taylor Engineering
- Ubicación: Kansas
- Inversión: 300 millones de dólares
- Proceso: Hidrólisis enzimática, fermentación y gasificación
- Materia prima: Residuos agrícolas del cultivo del maíz, paja cereal (700 ton/día)
- Volumen de producción: 57 millones litros/año



# REFLEXIONES FINALES

- Las tecnologías de segunda generación están en el camino hacia la comercialización
- Existen necesidades de avances tecnológicos que reduzcan los costes de producción del bioetanol para que sea competitivo con la gasolina
- La investigación básica, aplicada, el desarrollo y la demostración deben realizarse de manera coordinada

¡¡¡Muchas gracias por su atención!!!



[m.ballesteros@ciemat.es](mailto:m.ballesteros@ciemat.es)