



PRODUCCIÓN DE BIOETANOL Y BIOREFINERÍA A PARTIR DE MATERIAL LIGNOCELULÓSICO

M.ELENA LIENQUEO C.

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA Y BIOTECNOLOGÍA
CENTRO DE BIOTECNOLOGÍA Y BIOINGENIERIA
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
UNIVERSIDAD DE CHILE

mlienque@ing.uchile.cl

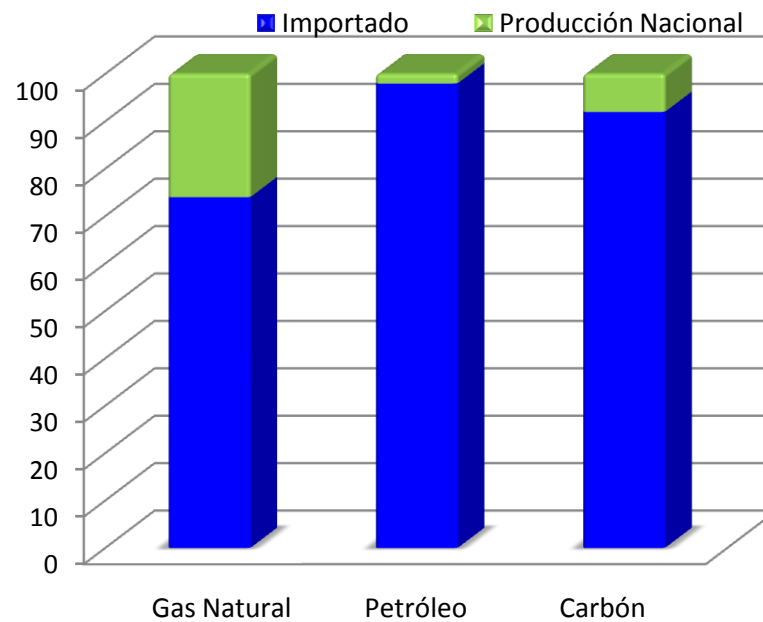
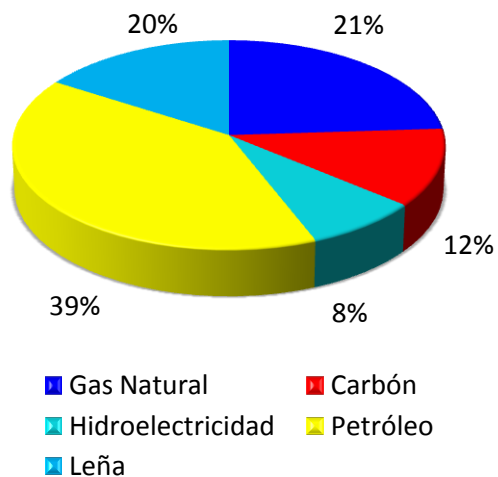
Introducción

Marco general y antecedentes

- Agotamiento combustibles fósiles:
 - Petróleo → 40 años
 - Gas natural → 70 años
 - Carbón → 170 años
- Problemas medio ambientales
 - Combustibles fósiles emanan gases que generan el efecto invernadero (CO₂ y NO₂)

Introducción

Matriz Energética Chilena y su origen



Necesidad

- Diversificar la matriz energética
- Con fuentes de origen renovables
 - Eólica
 - Solar
 - Geotérmica
 - Biomasa: Materia orgánica originada en forma sustentable en un proceso biológico reciente, espontáneo o provocado, utilizable como fuente de energía.
 - Biocombustibles

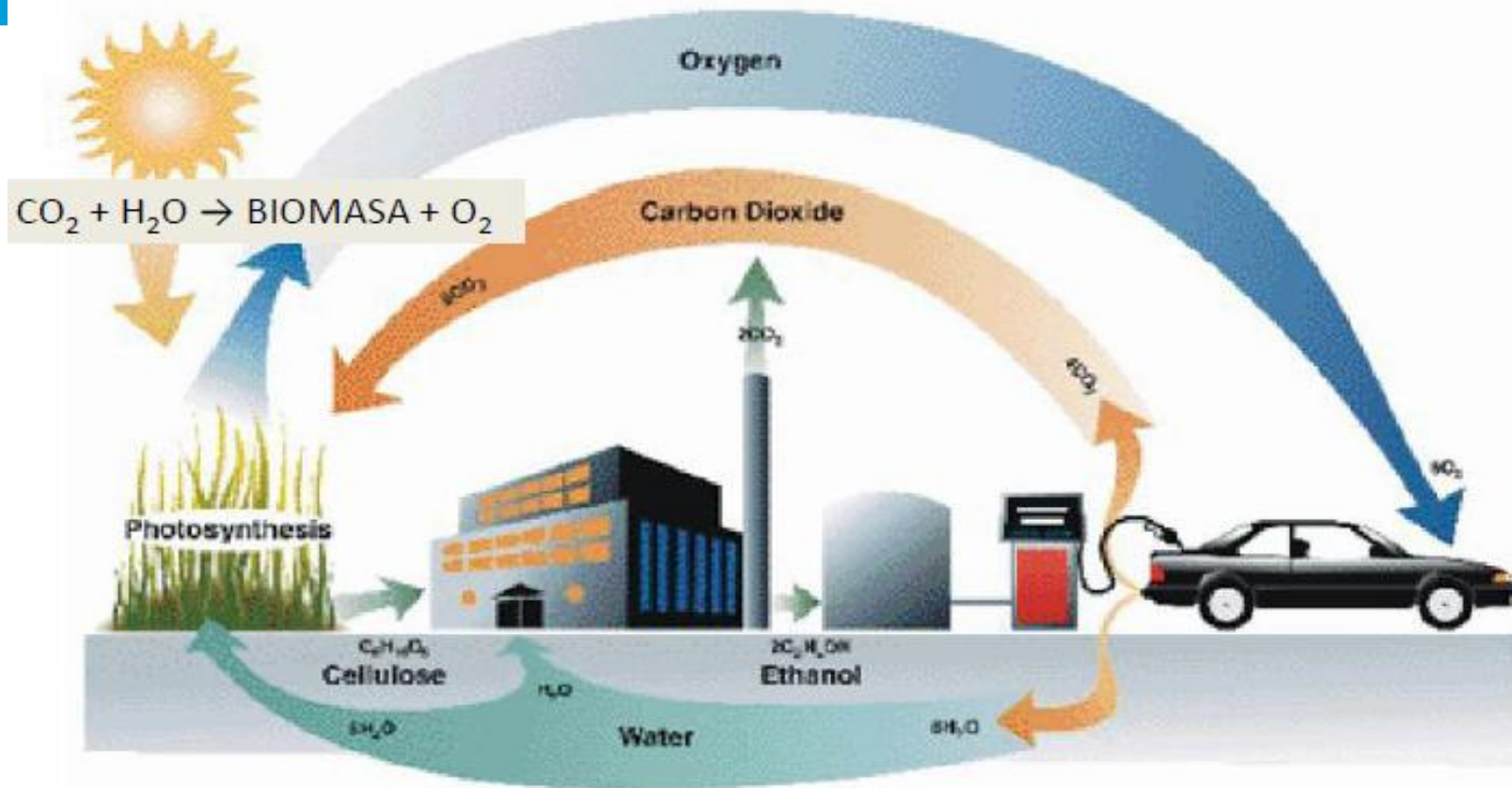
Biocombustibles

DEFINICION:

Los biocombustibles son cualquier combustible que derive de organismos recientemente vivos o de sus desechos metabólicos, que pueden sustituir en forma sustentable parte o totalidad del consumo de combustibles fósiles tradicionales.

- Biodiesel → Sustituye al Diesel
- Biogás/Biometano → Gas
- Bioetanol/Biobutanol → Sustituye a las gasolinas

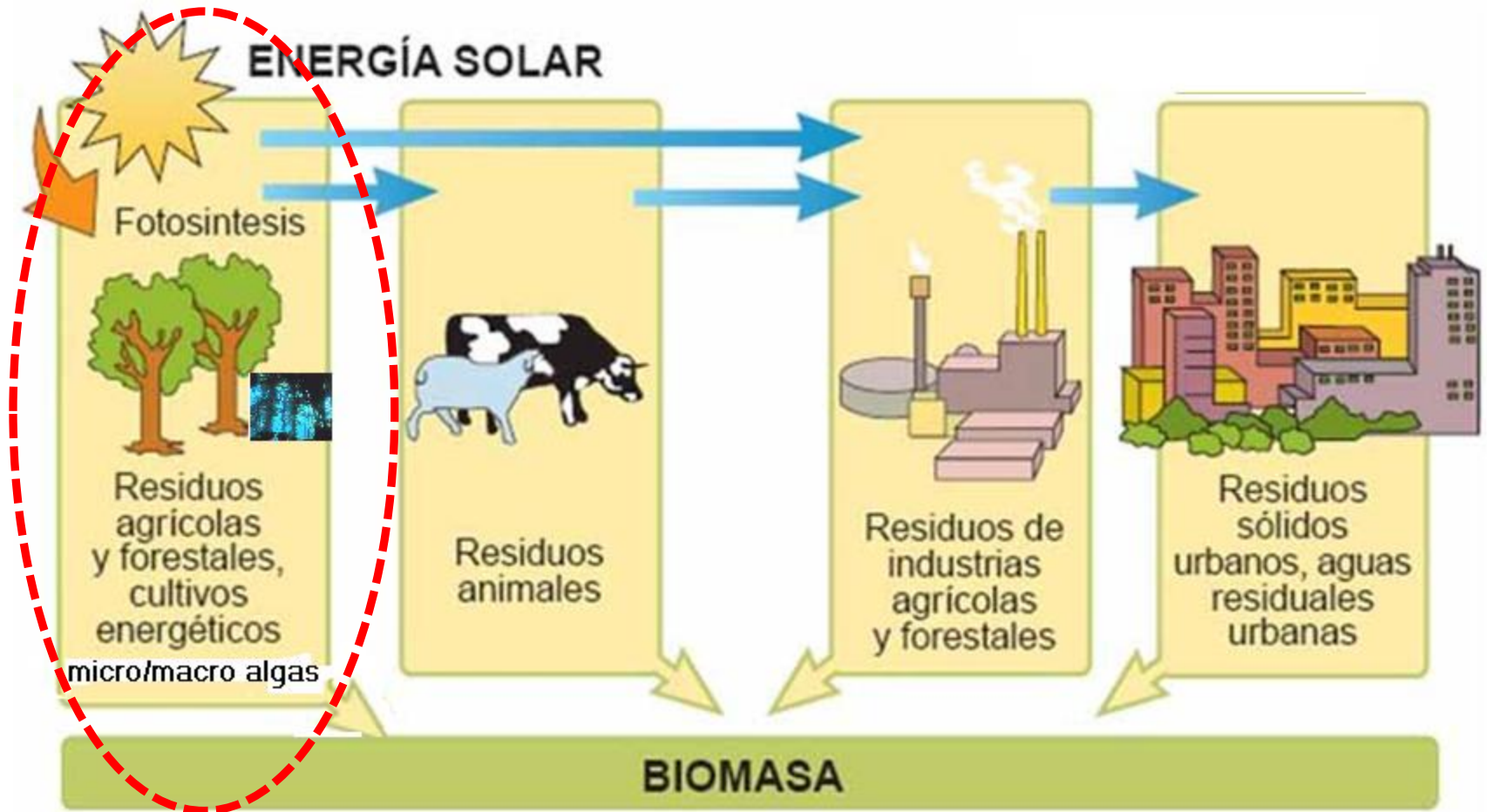
Ciclo de la biomasa en la generación de energía



Nota: las ecuaciones no están balanceadas
Para evaluar correctamente es necesario hacer un
Análisis de Ciclo de Vida (LCA).



Tipos de Biomasa



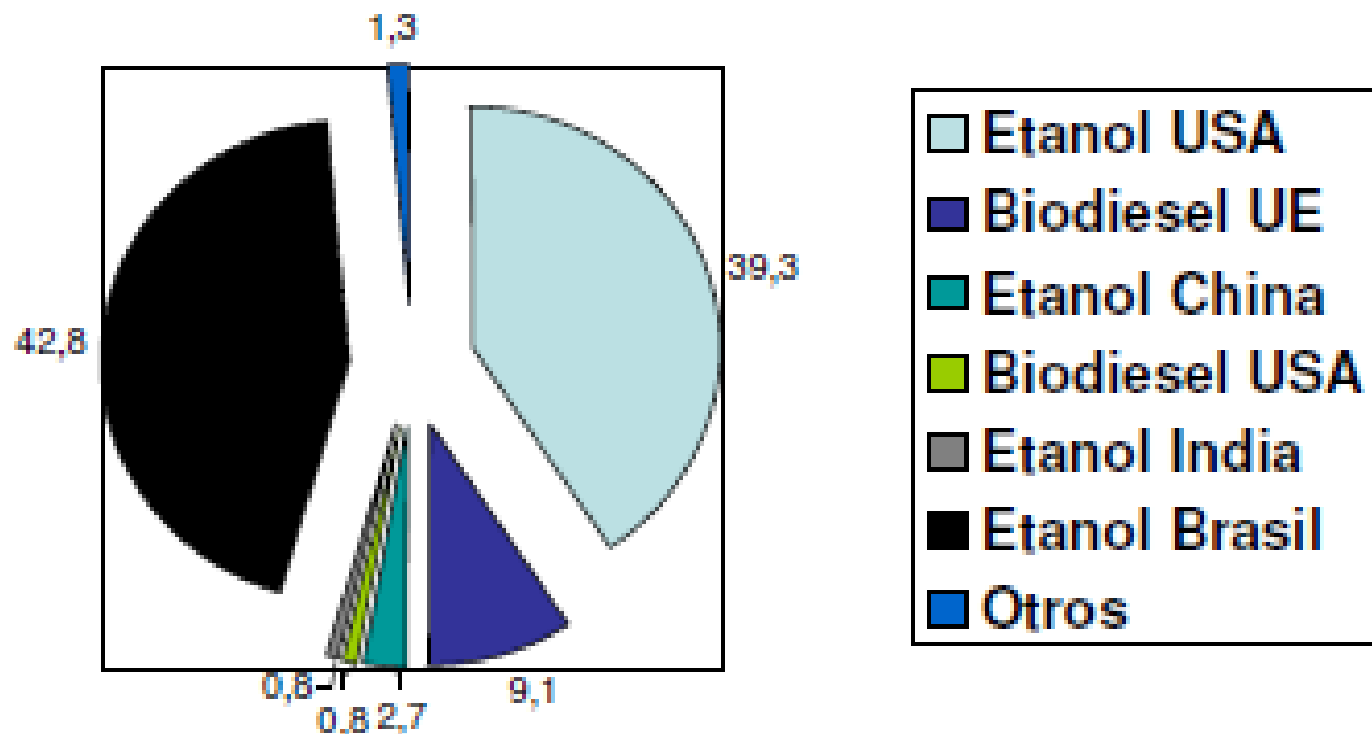
¿ Qué requisitos debería cumplir un biocombustible?

1. Entregar un balance energético positivo
2. Entregar beneficios medioambientales
3. Ser económicamente competitivo
4. Su escala de producción no debe poner en riesgo el suministro alimenticio.
5. Ser producido en forma sustentable

Consumo de biocombustibles a nivel mundial.

Fuente Lights, 2006 citado por Marcelo Poppe, CGGE

Los biocombustibles alcanzan el 2% del mercado de combustibles



Bioetanol

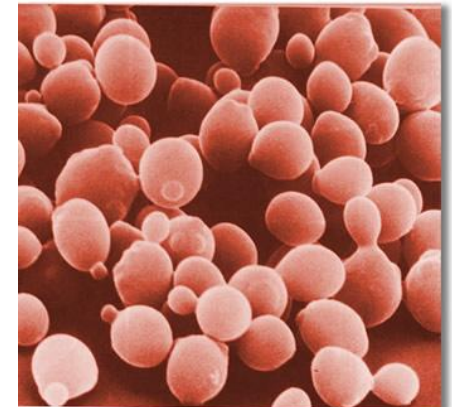
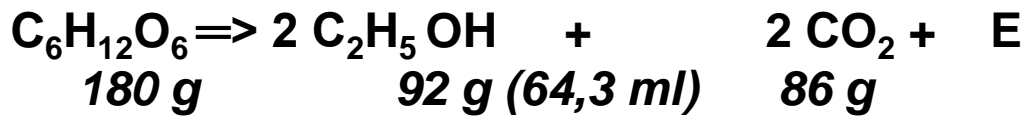
BIOETANOL

Poder calorífico etanol : 26,9 MJ/kg

Poder Calorífico gasolina: 44,9 MJ/kg

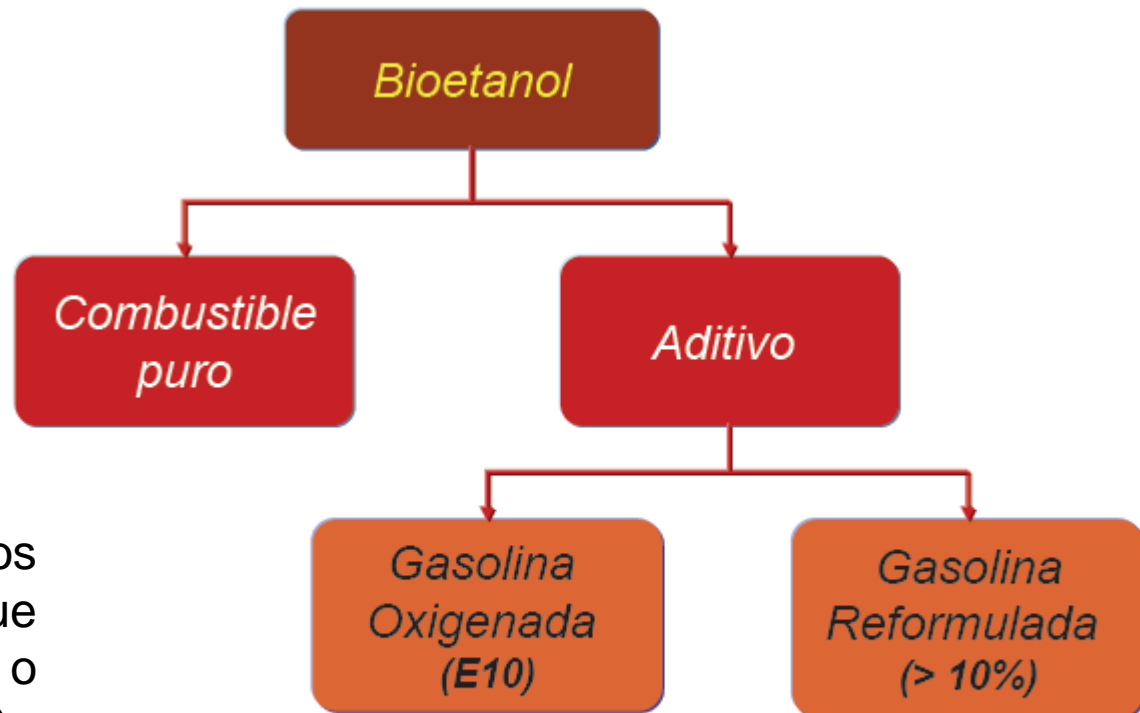
Definición

- **Alcohol etílico** obtenido por **fermentación** anaerobia a partir de azúcares provenientes de la caña de azúcar, almidones o celulosa.
- **La fermentación** es un proceso biotecnológico que emplea a la levadura *Saccharomyces cerevisiae* u otros microorganismos.



Usos de Bioetanol

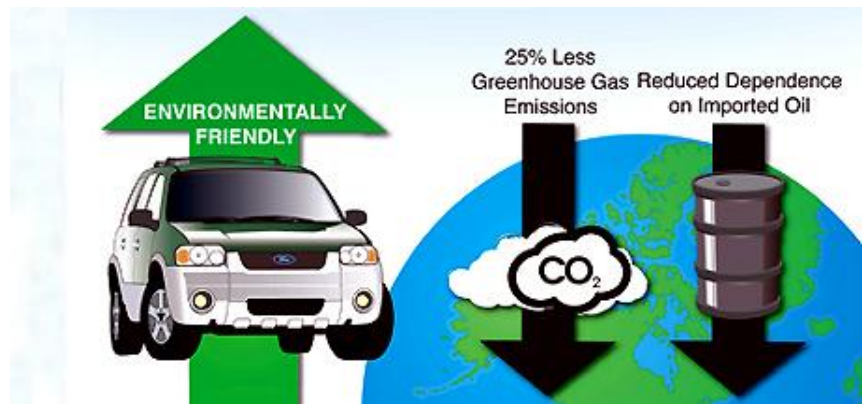
Todos los autos que se fabrican actualmente son compatibles con una mezcla E10, que contiene 10 % de etanol.



Existen en el mercado los autos flexibles que pueden utilizar gasolina o etanol ("flex-fuel vehicle")

VENTAJAS DEL BIOETANOL COMO COMBUSTIBLE

- Recurso renovable
- Balance de energía es positivo
- Reducción de las emisiones contaminantes
- Aporte de CO₂ a la atmósfera es “neutro”
- Mejora la capacidad antidetonante de la gasolina. Mayor octanaje



Avances - Marco Regulatorio

DS 11/08 Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción

Autoriza el uso de biocombustibles en vehículos motorizados

Bioetanol → solo podrá mezclarse con gasolina automotriz en un 2% o 5%

Biodiesel → solo podrá mezclarse con petróleo diesel en un 2% o 5%

Define especificaciones de calidad para bioetanol y biodiesel.

Circular N°30 del 16 de mayo de 2007 del Servicio de Impuestos Internos

Exime al bioetanol y biodiesel del pago de impuesto específico que afecta a la gasolina y al diesel.

Resolución Exenta N°746 de la Superintendencia de Electricidad y Combustibles

Norma técnicas para análisis y/o ensayos para bioetanol y biodiesel.

Bioetanol: Especificaciones Técnicas según la norma Chilena

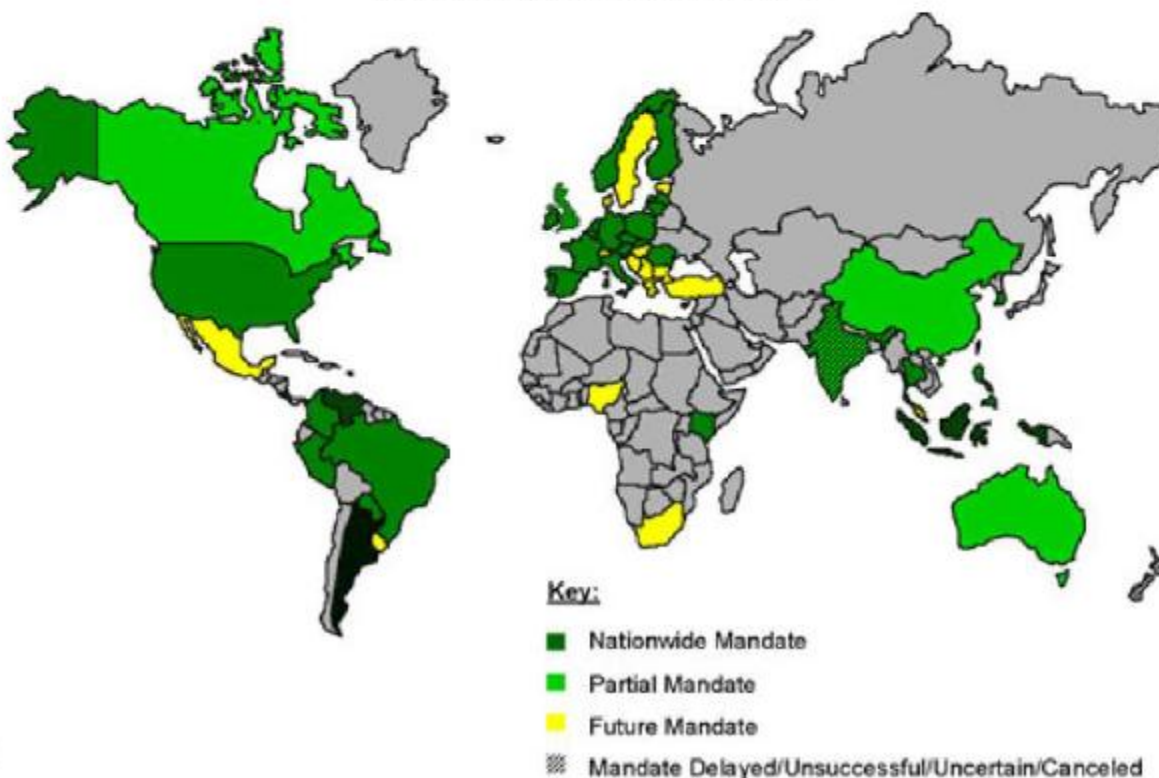
Propiedad	Unidad de medida	Valor
<i>Contenido de Etanol</i>	<i>% en volumen</i>	<i>mín. 92,1</i>
<i>Contenido de Metanol</i>	<i>% en volumen</i>	<i>máx. 0,5</i>
<i>Goma Lavada</i>	<i>mg/100 ml</i>	<i>máx. 5,0</i>
<i>Contenido de agua</i>	<i>% en volumen</i>	<i>máx. 1,0</i>
<i>Contenido de Desnaturalizador</i>	<i>% en volumen</i>	<i>mín. 1,96 máx. 5,0</i>
<i>Cloro Inorgánico</i>	<i>mg/l</i>	<i>máx. 32</i>
<i>Cobre</i>	<i>mg/kg</i>	<i>máx. 0,1</i>
<i>Acidez (como ácido acético)</i>	<i>mg/l</i>	<i>máx. 56</i>
<i>pHe</i>	<i>pH</i>	<i>mín. 6,5 máx. 9,0</i>
<i>Azufre</i>	<i>% masa</i>	<i>máx. 0,003</i>
<i>Sulfatos</i>	<i>ppm</i>	<i>máx. 4</i>
<i>Apariencia</i>		<i>Visualmente libre de sedimentos y material suspendido. Brillante y claro a temperatura ambiente o 21°C (la mayor de ambas)</i>

Especificaciones de calidad Bioetanol, Decreto N° 11/2008 del Ministerio de Economía:

POLITICAS DE USOS DE BIOCOMBUSTIBLES

- La materialización de objetivos estratégicos se ha traducido en la implementación de ambiciosas políticas para su promoción
- Los mandatos para la mezcla de biocombustibles en combustibles vehiculares se han promulgado en al menos 24 países a nivel nacional y 41 estados/provincias.
- La mayoría de los mandatos requieren una mezcla de 10-15% de etanol con gasolina y 2-5% de biodiesel con diesel.

Figure 1: Global Biofuels Mandates



Etanol

COLOMBIA

- Julio de 2005 10% para Zonas Metropolitanas (60% del consumo total).
- Mezcla obligatoria para todo el país en 2007.
- Producción 1000m³/día (5 plantas)

ECUADOR

- Plan piloto para mezclar etanol anhidro (máximo 10%vol)

PERU

- Ley vigente para la promoción de Biocombustibles
- 7.8%vol de etanol anhidro – Los plazos dependen del área geográfica :
30 de Junio de 2006 – 1 de Enero de 2007 – 1 de Enero de 2010.

BRASIL

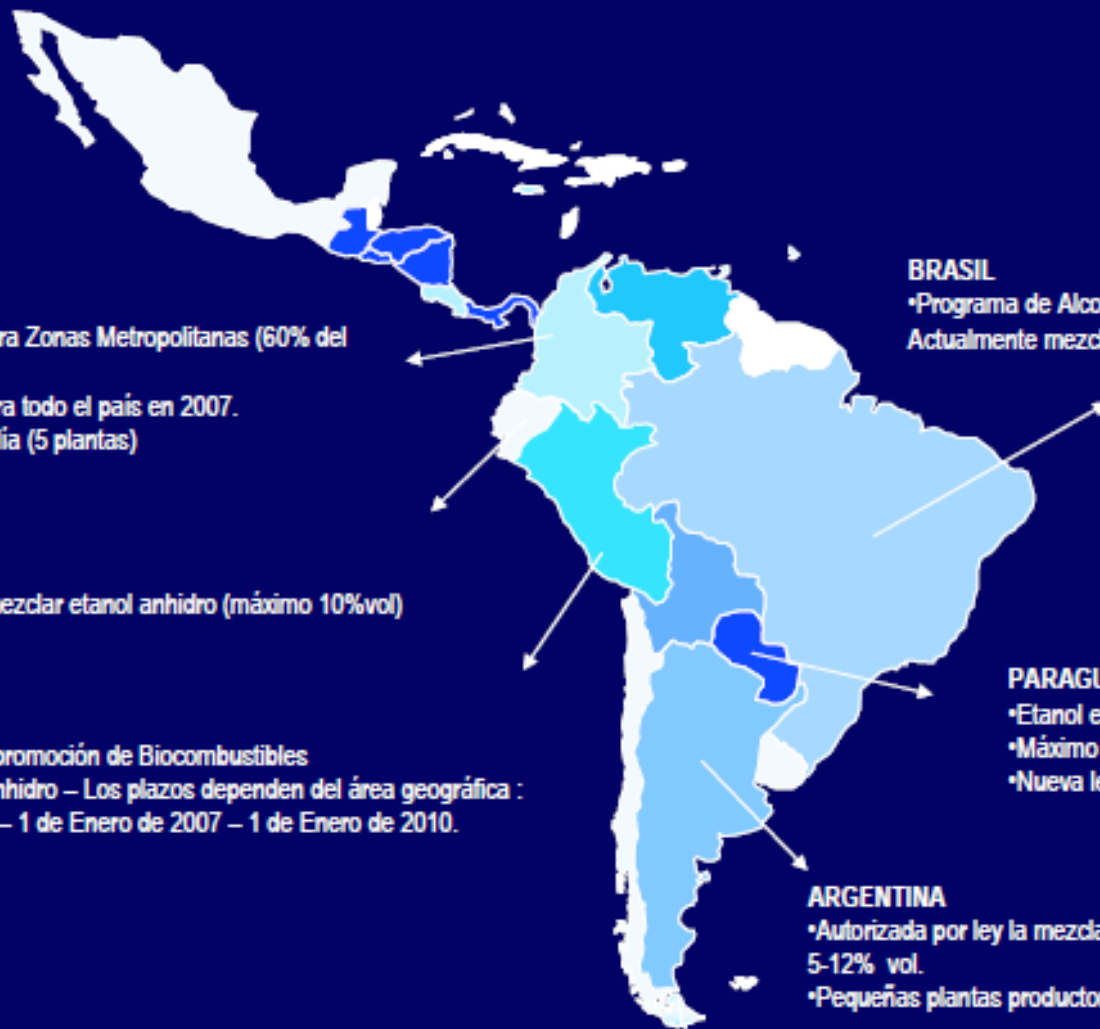
- Programa de Alcohol (PROALCOOL)
- Actualmente mezclas de 20 - 25% vol.

PARAGUAY

- Etanol en Gasolinas desde 1982.
- Máximo autorizado 18%vol.
- Nueva ley prevé 25% vol.

ARGENTINA

- Autorizada por ley la mezcla de etanol en gasolina 5-12% vol.
- Pequeñas plantas productoras.



Producción de Bioetanol

Procesos de producción de bioetanol

BIO-ETHANOL PRODUCTION with various feedstocks

1st generation

sucrose-containing
feedstocks

sugar beet



sugar cane



sweet sorghum

starchy materials

wheat



corn

barley



2nd generation

lignocellulosic
biomass

wood



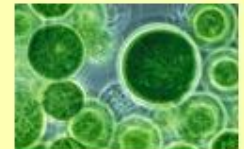
straw

grass

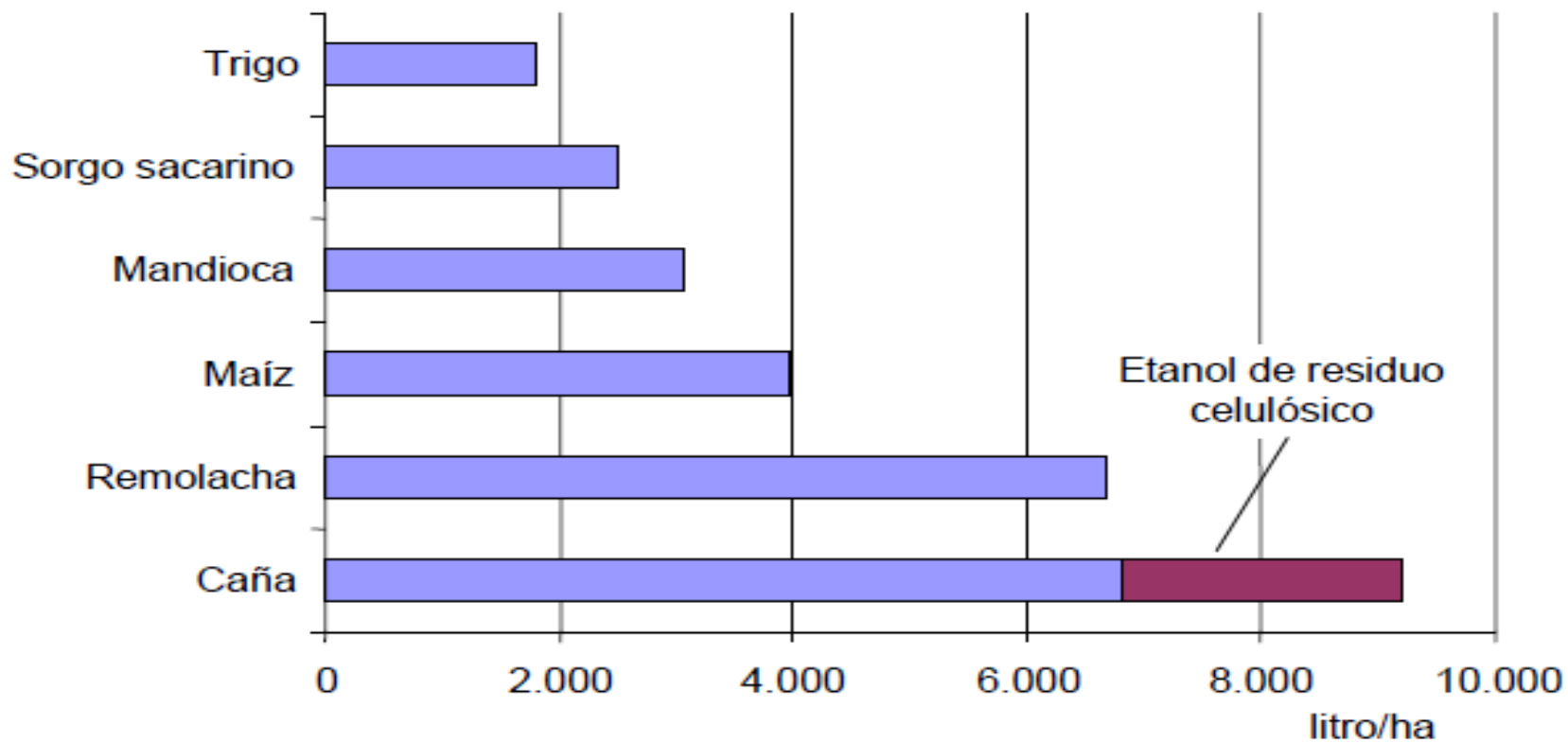


3rd generation

algal biomass



Productividad de etanol de diferentes tipos de biomasa por hectárea plantada



Comparación de las diferentes materias primas para la producción de bioetanol

Materia prima	Relación de energía	Emisiones evitadas
Caña	9,3	89%
Maíz	0,6 – 2,0	-30% a 38%
Trigo	0,97 – 1,11	19% a 47%
Remolacha	1,2 – 1,8	35% a 56%
Mandioca	1,6 – 1,7	63%
Residuos lignocelulósicos*	8,3 – 8,4	66% a 73%

*Estimativas teóricas, proceso en desarrollo.

Fuente: Elaborado en base a Dai et al. (2006), EBAMM (2005), IEA (2004), Macedo et al. (2007) y Nguyen et al. (2007).

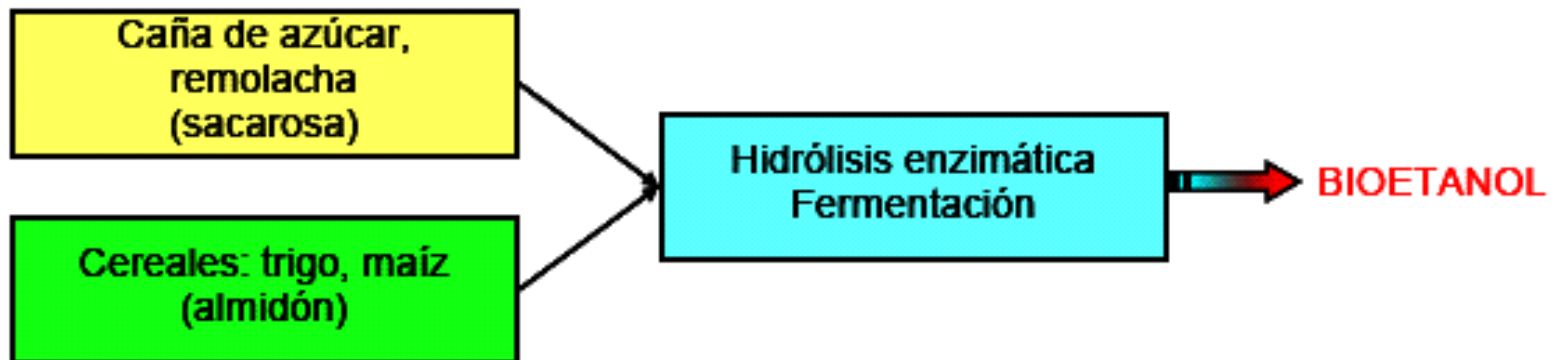
Producción de Bioetanol

Primera Generación
En plena producción

Bioetanol de primera generación

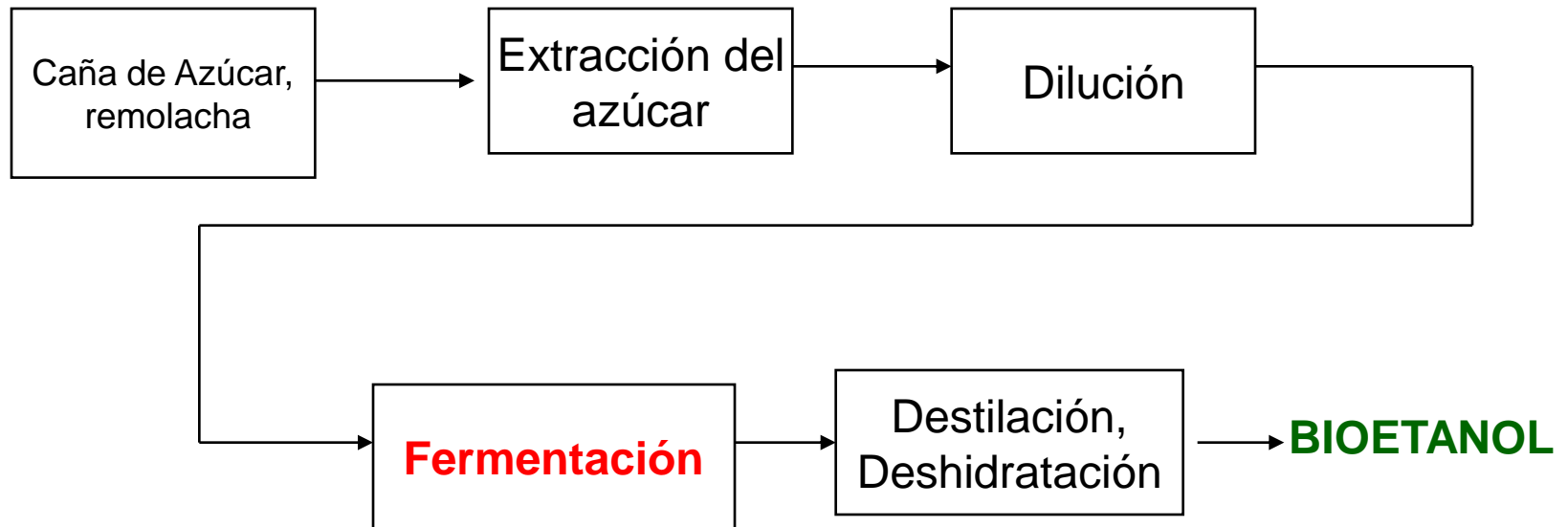
✓ Hidrólisis - fermentación

➤ Tecnología madura, desarrollo comercial (Brasil, USA, España)



Producción de Bioetanol de Primera Generación a partir de Azúcar

- Caña de azúcar (Brasil), remolacha, melaza, etc.
- Es el proceso más simple, basta con tener una melaza y fermentarla.



Planta de Bioetanol en Brasil

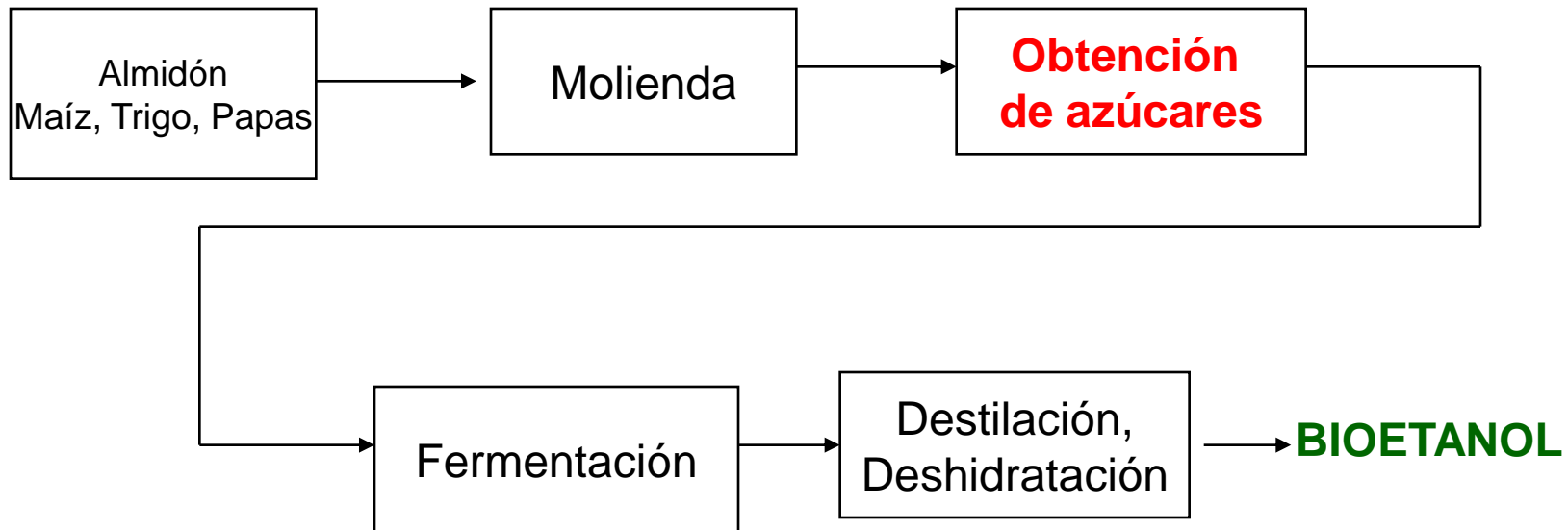


Producirá 340.000 toneladas de azúcar y 160.000 metros cúbicos de etanol por año a partir de 4,5 millones de toneladas de caña.

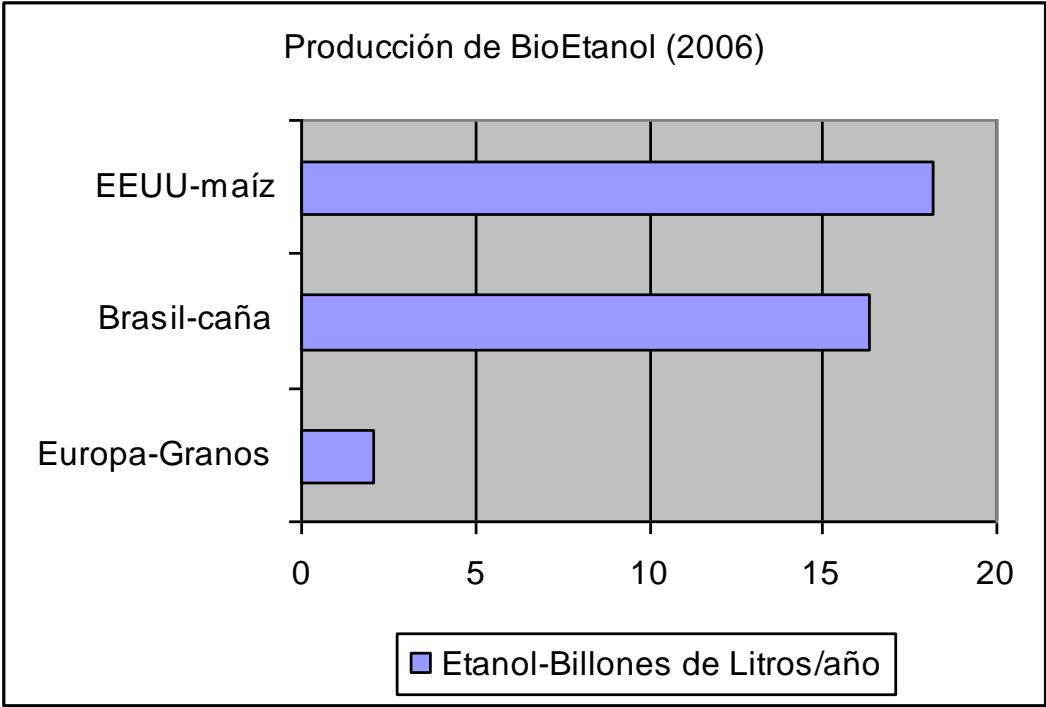
Inversión : 430 millones de dólares

Producción de Bioetanol de Primera Generación a partir de Almidón

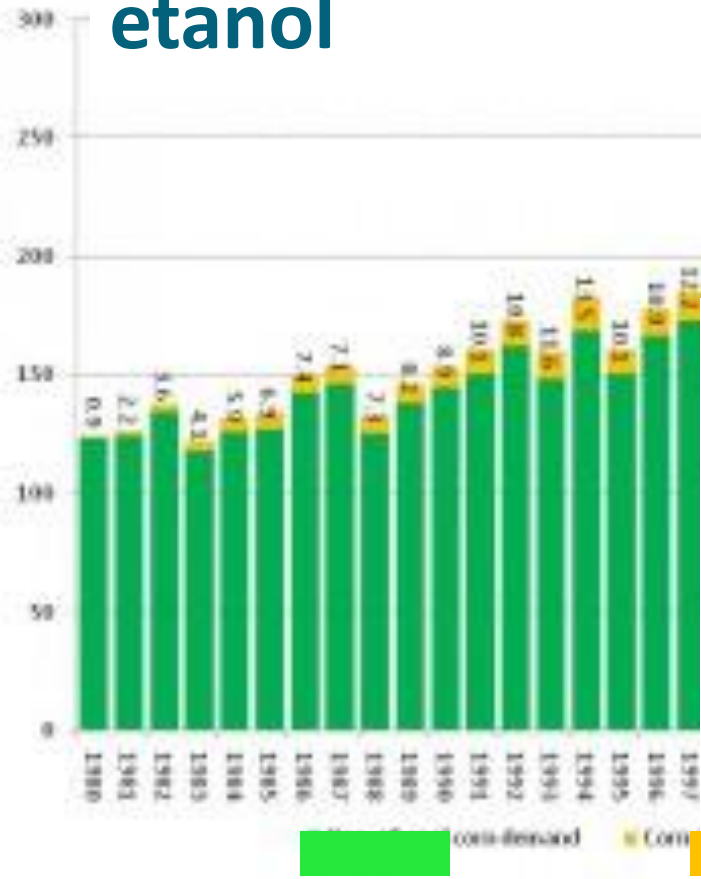
- A partir de granos: Maíz, Trigo, papas, etc.
- Es el proceso un poco más complejo dado que hay de transformar el almidón en glucosa y luego fermentarla



Principales productores de BioEtanol

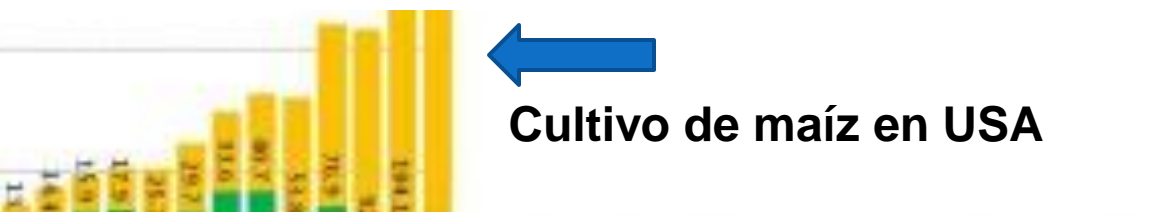


Desplazamiento del uso de tierra para producir etanol



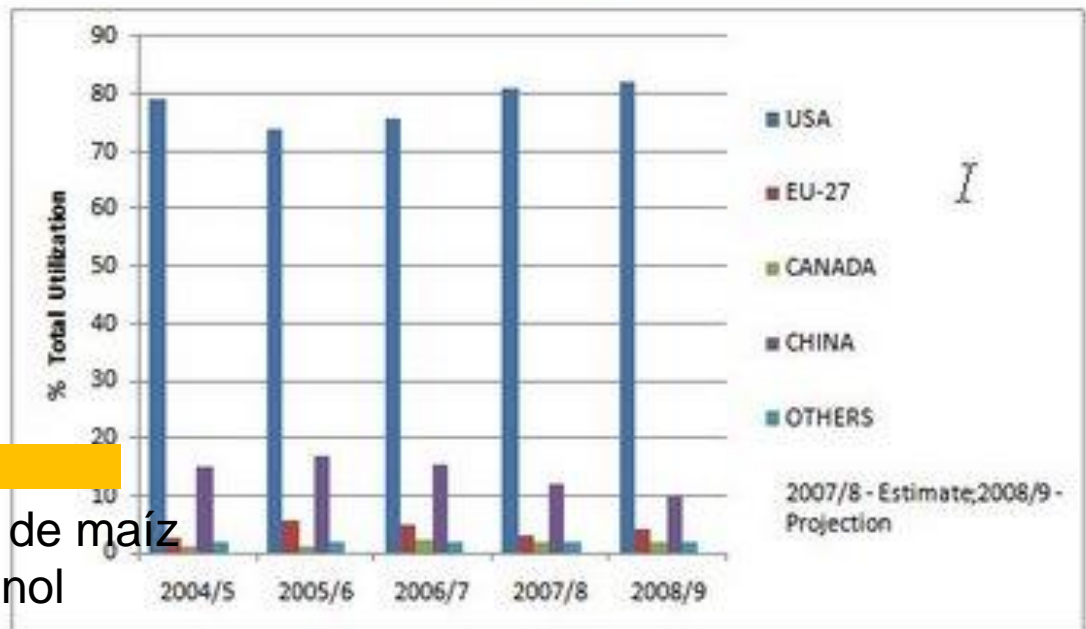
Cultivo de maíz con otros fines

Cultivos de maíz para etanol



Cultivo de maíz en USA

Figure 1. Global Utilization of Cereals for Ethanol Production 2004/5 to 2008/9



Source: von Braun, J.; 2008: Biofuels, International Food Prices and the Poor. IFPRI

Costos de producción de etanol (USD\$/L), sin costos de capital.

Fuente: USDA 2006,

Rubro Costo	USA, Maíz	USA, Caña	USA Remolacha	USA Melaza	USA Azúcar	Brasil Caña	UE Remolacha
Mat Prima	0,11	0,39	0,42	0,24	0,82	0.08	0,26
Proces	0,17	0,24	0,20	0,10	0,10	0,13	0,51
Total	0,28	0,63	0,62	0,34	0,92	0,21	0,77

Brasil	Tailandia	China	USA	UE
Caña	Yuca	Maíz	Maíz	Trigo
0.21	0.23	0.40	0.28	0.57

Precios Paridad Biocombustibles

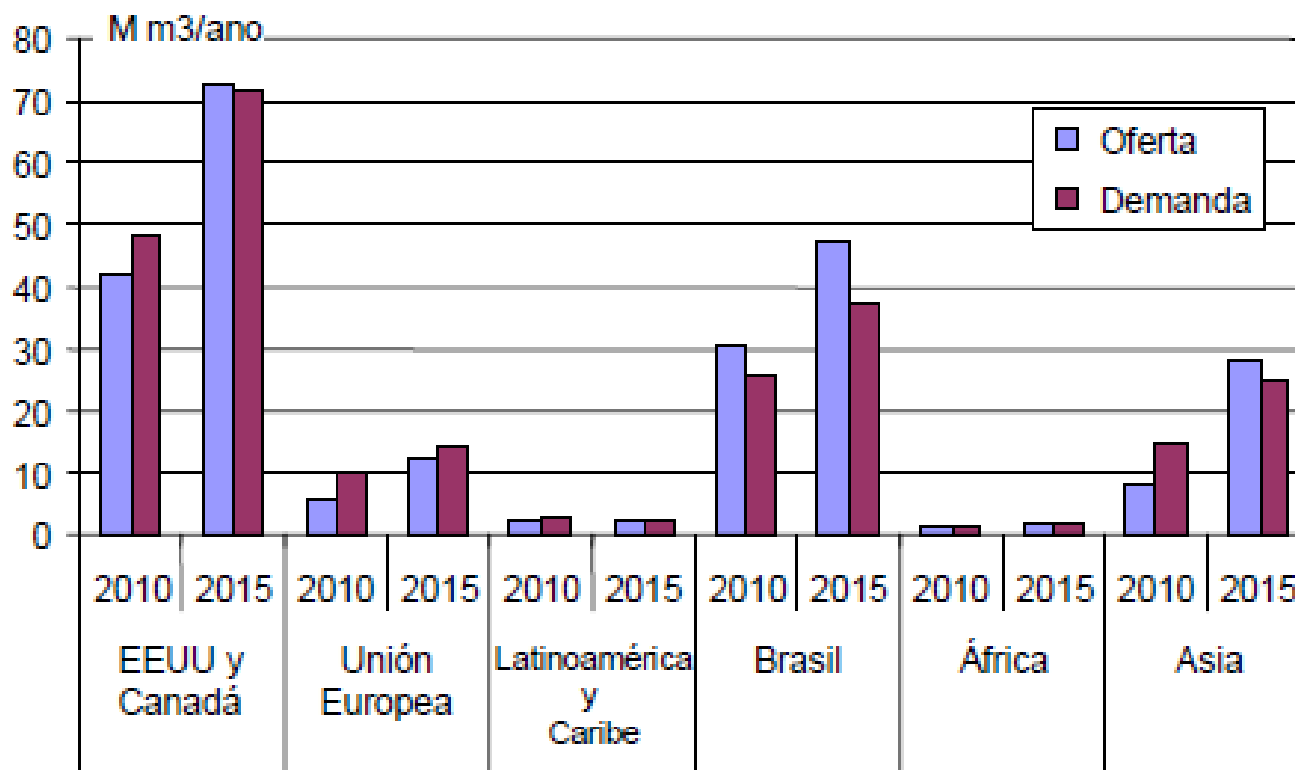
Comparación Paridades

PRECIO PARIDAD 2010

	C.Chr	Rott	Santos
	Etanol	Etanol	Etanol
FOB (Platts cpg)	229	244	253
US\$/m3	605	645	668
Flete (U\$/ton)	49.4	59.7	33.8
US\$/m3	39.0	47.1	26.7
Seguro US\$/m3	0.1	0.1	0.1
Arancel Ad. US\$/m3	0	0	0
Otros Ctos. US\$/m3	13.3	14.1	13.8
(Dcga, Finan, Merma)			
Tot. PARID. IMPORT.	658	706	708



· Estimativas de oferta y demanda de bioetanol combustible para 2010 y 2015



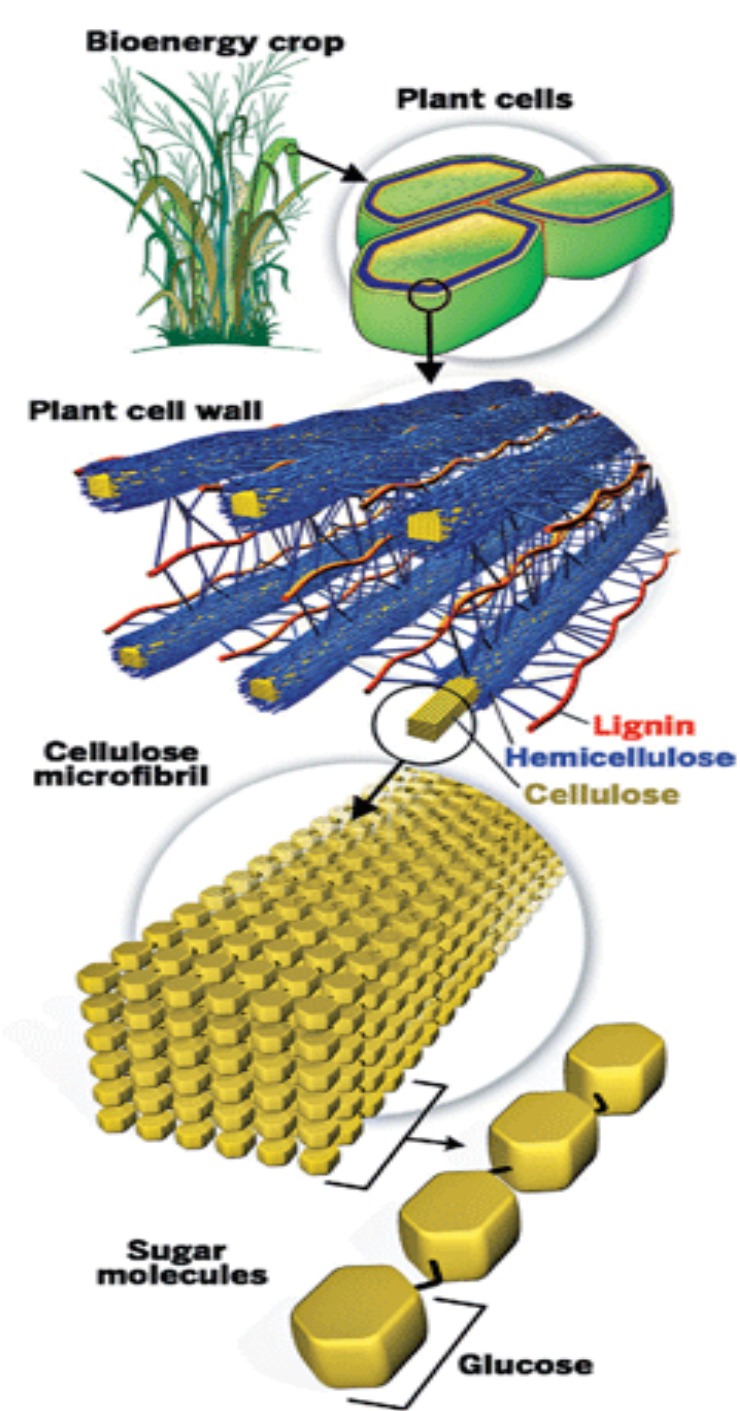
Fuente: Elaboración de Luiz Augusto Horta Nogueira.

Producción de Bioetanol

Segunda Generación Escala piloto

BIOETANOL DE SEGUNDA GENERACIÓN

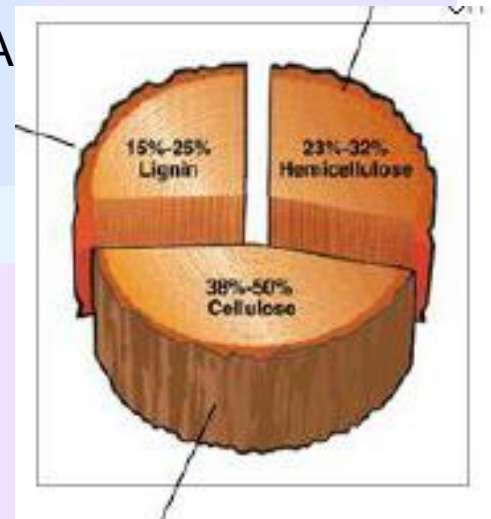
- Etanol obtenido desde biomasa lignocelulósica
 - ▣ Recursos suficientes para sustituir los derivados del petróleo
 - ▣ Productos no ligados al mercado alimentario
 - ▣ Muchos de ellos de origen residual



Estructura de lignocelulosa

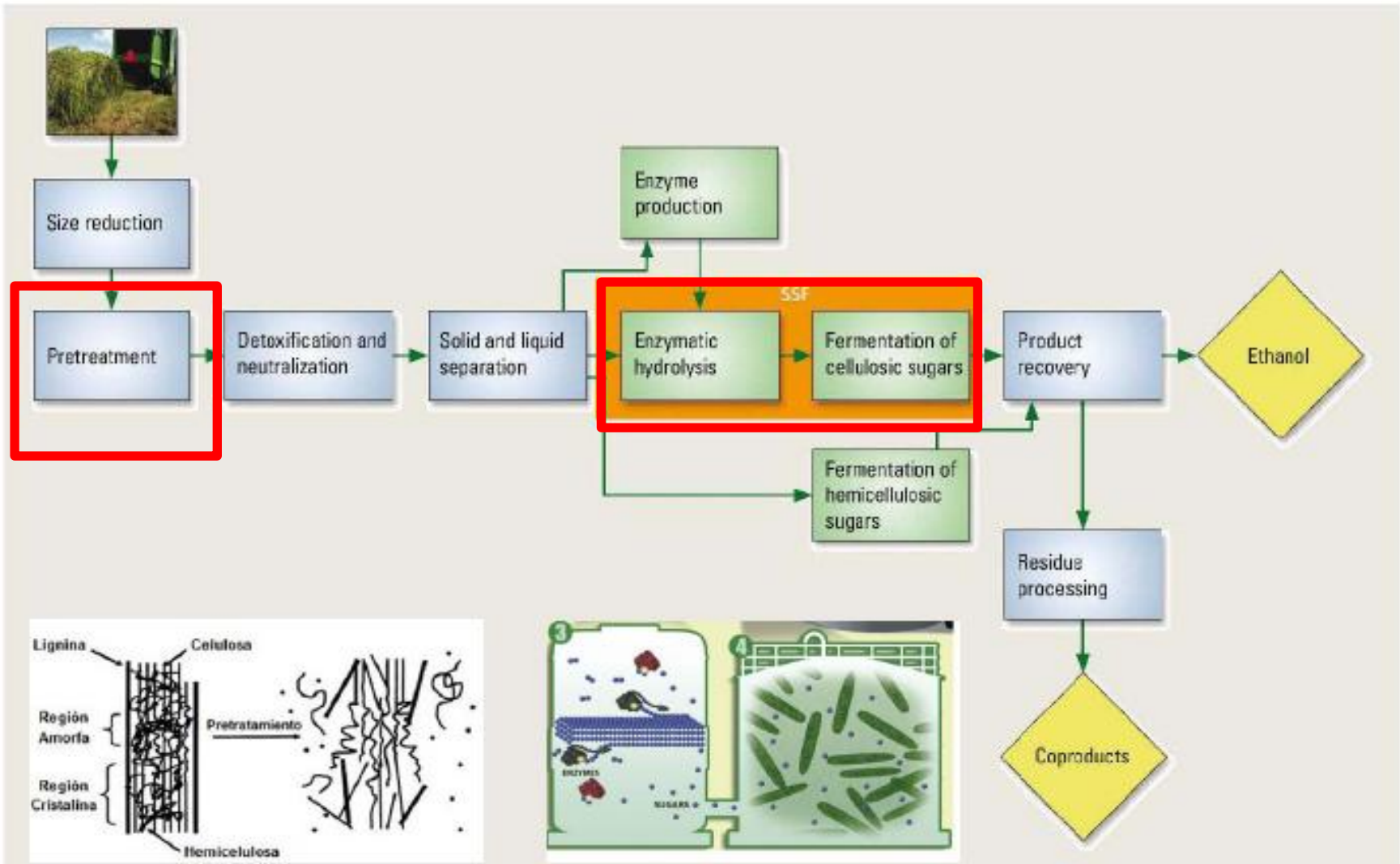
HEMICELULOSA 23-32 %

LIGNINA 15-25%



CELULOSA 38-50%

Producción of etanol de Segunda Generación



Comparación de las diferentes materias primas para la producción de bioetanol

Materia prima	Relación de energía	Emisiones evitadas
Caña	9,3	89%
Maíz	0,6 – 2,0	-30% a 38%
Trigo	0,97 – 1,11	19% a 47%
Remolacha	1,2 – 1,8	35% a 56%
Mandioca	1,6 – 1,7	63%
Residuos lignocelulósicos*	8,3 – 8,4	66% a 73%

*Estimativas teóricas, proceso en desarrollo.

Fuente: Elaborado en base a Dai et al. (2006), EBAMM (2005), IEA (2004), Macedo et al. (2007) y Nguyen et al. (2007).

Barreras técnicas del proceso de Bioetanol de 2ª generación

- Recalcitrancia de la biomasa lignocelulósica.
 - ▣ Requiere pretratamiento.
 - ▣ Requiere hidrólisis enzimática (enzimas son poco eficientes y caras).
- Alto consumo de agua.

Eficiencia

Fuente	Litros de etanol por hectárea plantada	Relación de la energía obtenida del etanol/energía gastada en su producción	Costo de producción (USD /galón)
Bioetanol desde Maíz	3.000	1.3	1.14 +0.51 (subsidio) Costo enzimas: 0.03-0.04 USD/galón
Bioetanol desde caña de azúcar	7.500	8	0.83
Bioetanol desde materiales lignocelulósicos (en experimentos)	25.000 ^a 44.000 ^b a: Eucaliptus; b: Pino radiata	2-36	2-4 Se requiere disminuir el costo de las enzimas en un factor 10-30 Valor esperado 0.27 USD/galón

Demanda para Chile E5 : 165.000 m³/año

Tabla 2: Plantas productoras de etanol a escala piloto e industrial

Compañía	Localización	Materia Prima	Producción Anual [m ³]	Año de Inicio
POET Cellulosic Ethanol Pilot Plant	Scotland, S.D.	Residuos agrícolas	80	2008
ETEK	Suecia	Residuos de maderas blandas	183	2015
Abengoa Bioenergía	Salamanca, España	Residuos agrícolas	5.000	2006
Inbicon	Kalundborg, Denmark.	Paja de trigo	5.400	2009
Arkenol-Sacto	Sacramento, California, USA.	Paja de arroz	15.000	2001
Ethanol Partners Masada	Middletown, Nueva York, USA.	Residuos urbanos	25.000	2001
Sealaska	South East Region, Arkansas, USA.	Residuos de maderas blandas	30.000	2003
Ethanol Partners Masada	Birmingham, Alabama, USA.	Residuos urbanos	51.000	2002
BCI4	Dedham, Massachusetts, USA.	Bagazo	75.600	2002
BC International	Jenning, Louisiana, USA.	Bagazo y arroz	80.000	2002
BCI Collins Pine	Chester, California, USA.	Residuos de madera	80.000	2002
BCI Gridley	Oroville, California, USA.	Paja de arroz	80.000	2002
Coskata	Denver, Boligee, USA.	Residuos agrícolas	207.000	2011
logen	Ottawa, Canadá.	Residuos agrícolas	378.000	2004
logen Corp-Shell-VW2	Alemania	Paja de trigo	-	2008/2010
PureVision Technology	Ft. Lupton, Colorado, USA.	Madera	Piloto	2002

Ejemplos de Casos

Inversión : US MM \$8
Producción anual : 75 m³ etanol

POET Cellulosic Ethanol Pilot Plant, Scotland, US



Precursora del
Proyecto LIBERTY
(2011).

Ejemplos de Casos

Inversión
Materia Prima
Producción anual

: MM €70
: 30,000 ton paja de trigo
: 5400 m³ etanol
13,100 ton lignina
11,000 ton C5 melaza

Inbicon plant in Kalundborg, Dinamarca (2009)



- Precursora del Proyecto [Great River Energy](#) (2015).
- 480.000 ton residuos agrícolas

Biorefinería

Necesidades del mercado

- Costos. Precios competitivos
- Calidad. Igual o mejor que los productos existentes.
- Necesidad de los consumidores. Nuevos productos, nutraceuticos, fármacos, etc.
- Regulaciones. Ambientales, alimentos, etc.
- Sustentabilidad. Económica, social y ambiental

Bioeconomía

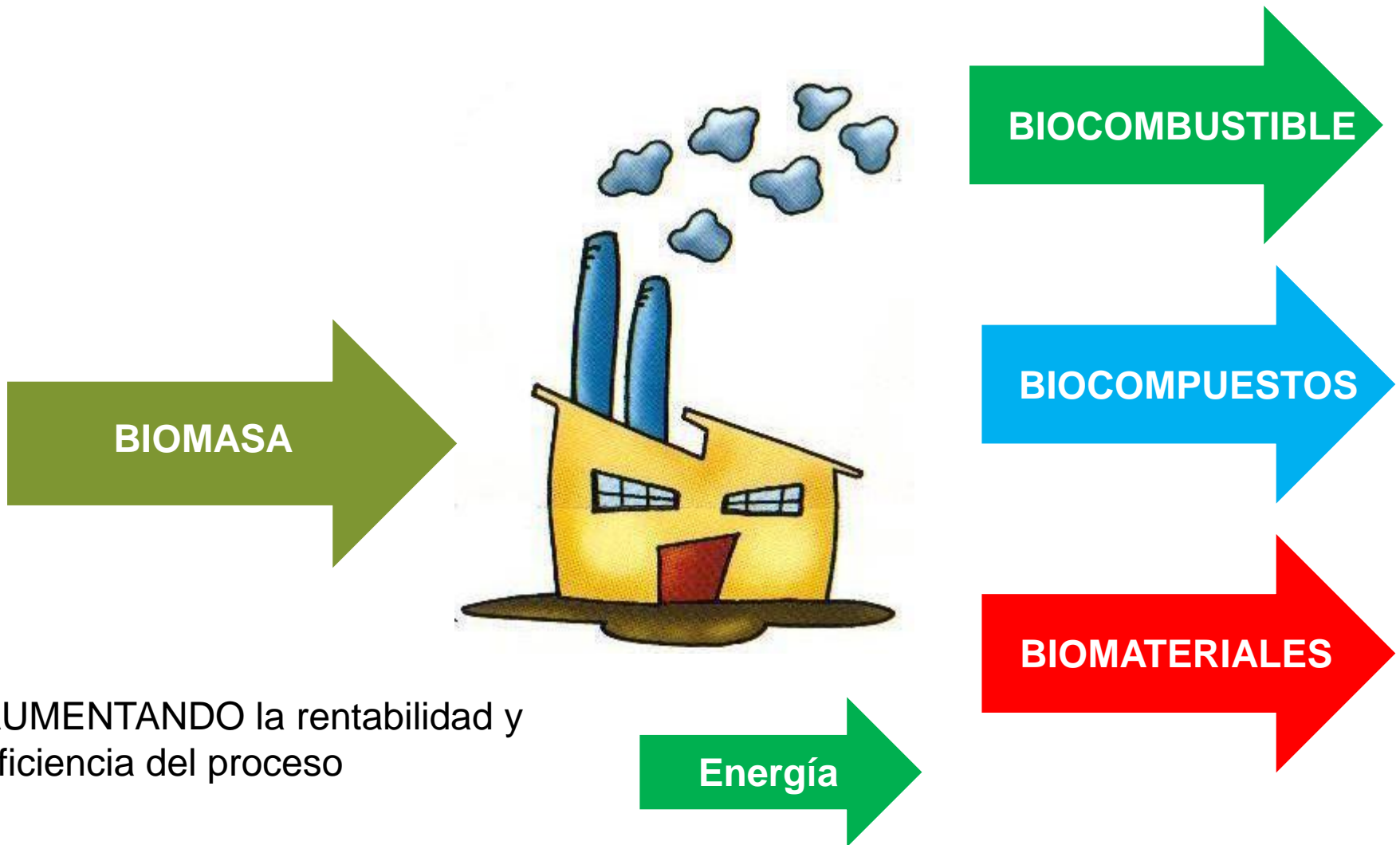
El concepto Biorefinería

Es una estructura que integra procesos de conversión de biomasa para producir **combustibles, energía y productos químicos** a partir de la biomasa.

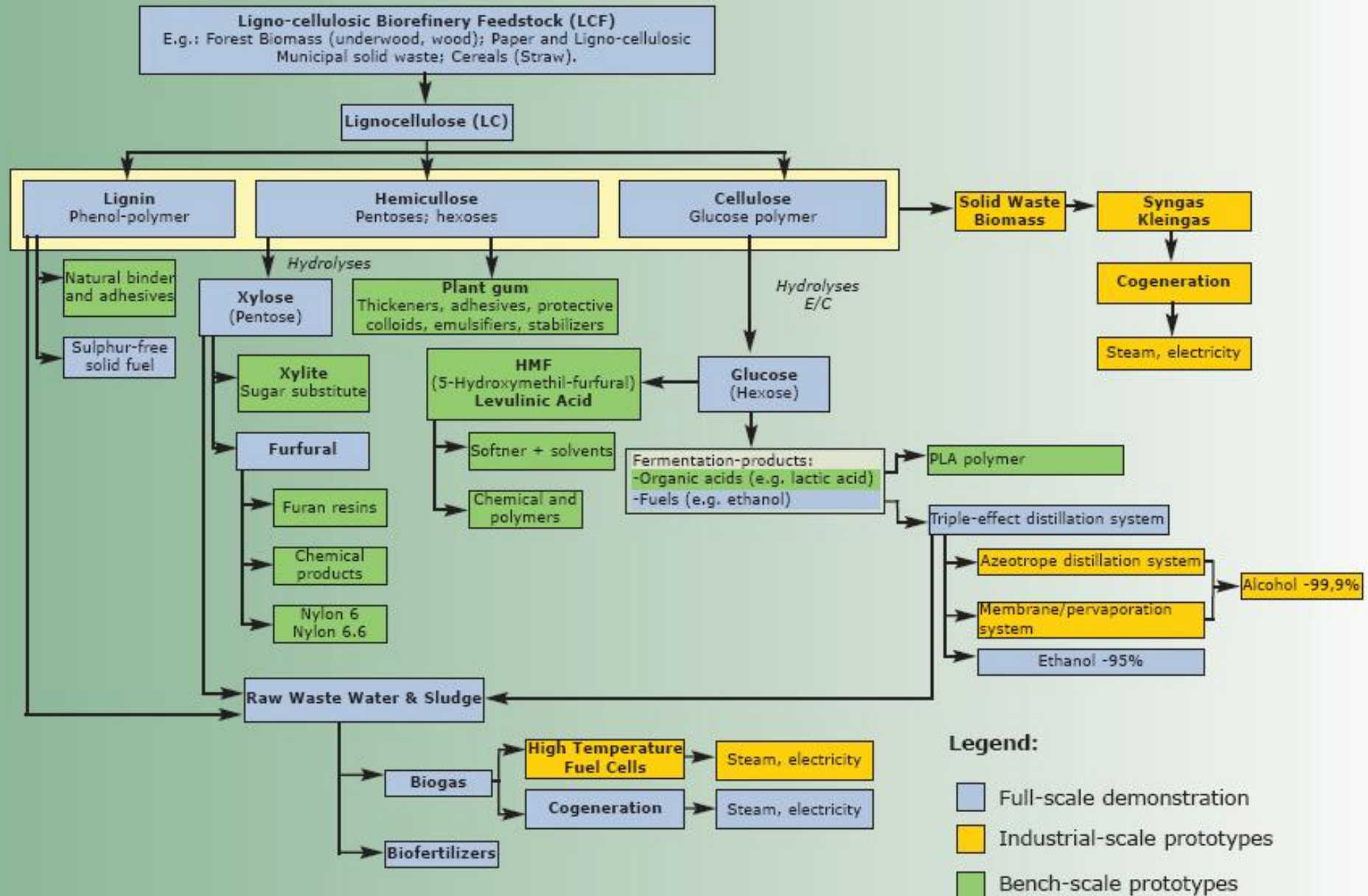
El concepto de biorefinería es análogo al de refinerías de petróleo, que producen múltiples combustibles y productos a partir del petróleo.

Las biorefinerías industriales han sido identificadas como el camino más prometedor para la creación de una nueva industria basada en la biomasa.

Biorefinería



Biorefinería a partir de material lignocelulósico



Biomateriales

- Sustitutos de plásticos y otros materiales derivados del petróleo
 - Empaque: Bolsas, ligas.
 - Recipientes: Botellas, vasos.
 - Medicina: Prótesis, implantes.





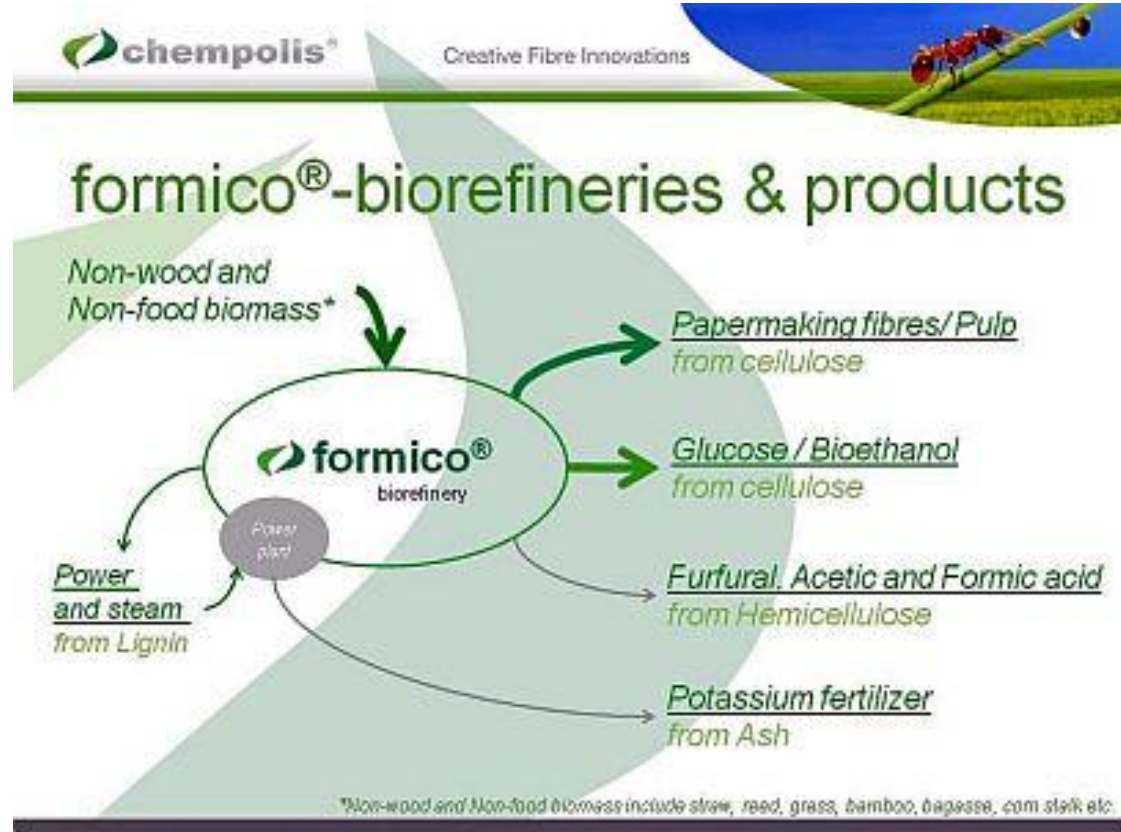
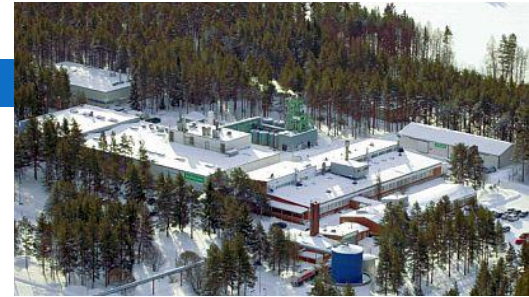
Lignina



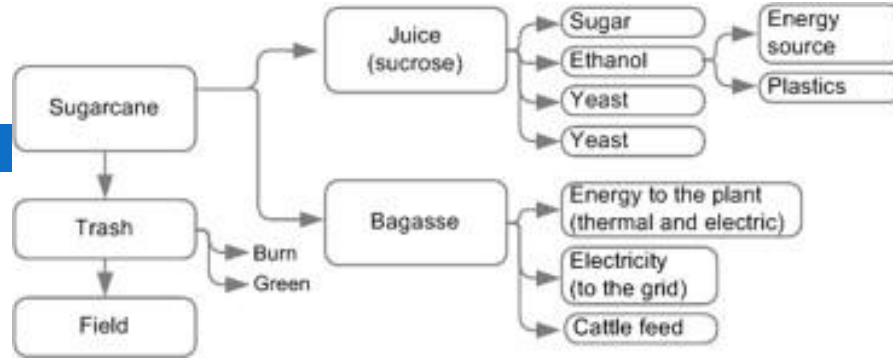
Algunos casos de estudio en Europa

50

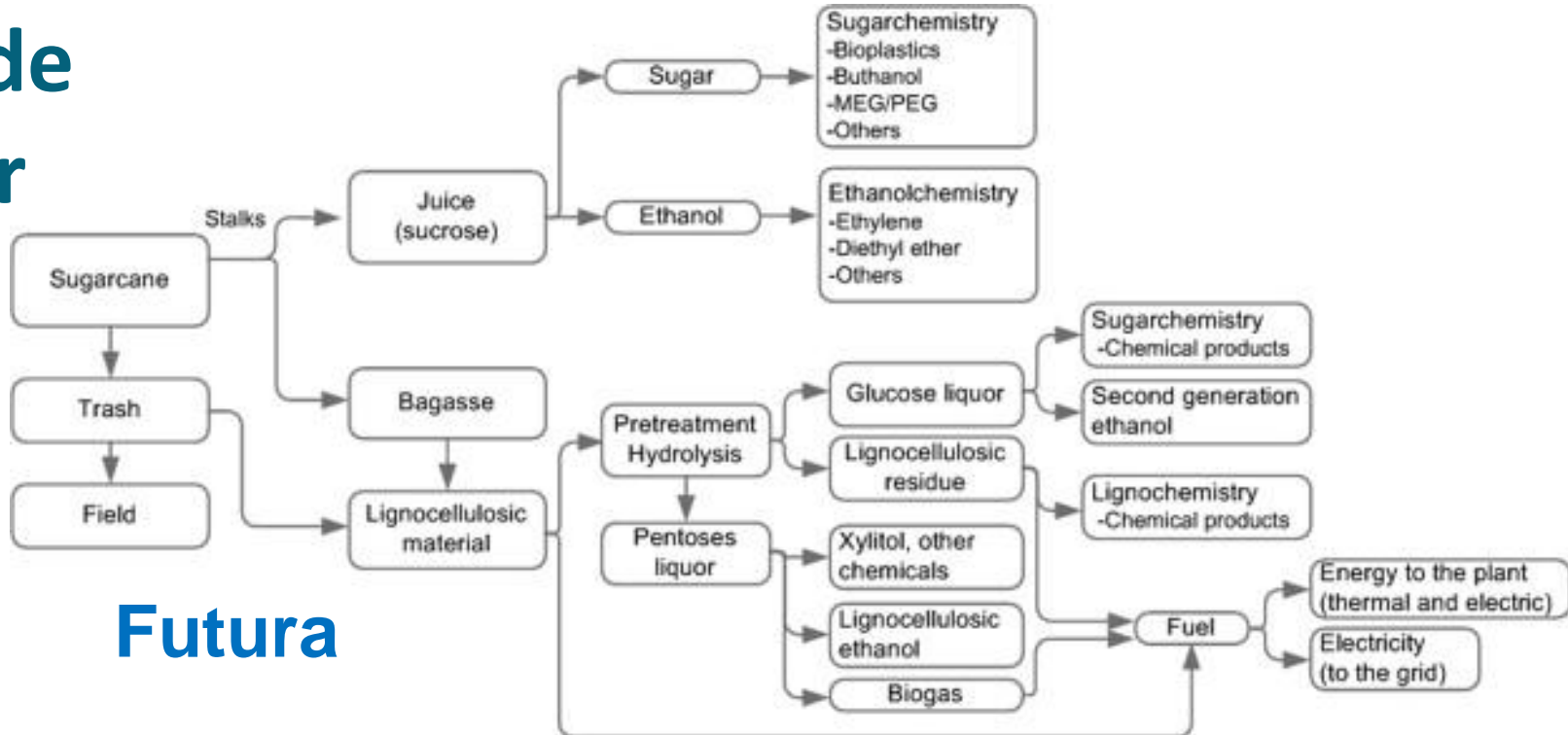
Chempolis
(Finlandia)
Utiliza como
materias primas
biomasas:
pajas, tallos de
maíz, bagazo.



Actual



Biorefinería en Brasil a partir de caña de azúcar



Futura

Biorefinería

- Gran potencial desde el punto de vista económico, ambiental y social.
- Fuente renovable de productos químicos que reemplacen a los provenientes del petróleo.
- Se deben buscar los productos y metodología adecuada para cada materia prima



Situación en Chile en relación a la producción de Bioetanol

¿Qué se hace en Chile en el área de Bioetanol de primera generación?

- Estudios de elaboración de etanol por Orafti Chile en Ñuble.
- Producción de etanol a partir de topinambur por Bioeigerber – Universidad de Concepción – INIA en Bío-Bío.
- Variedades de papa eficientes en la obtención de etanol: un aporte al desarrollo bioenergético de Chile”, XIV región. INIA Carrillanca, AgroLlanquihue, Papas Arcoriris, Prinal.
- Producción de etanol a partir de nabo forrajero por INIA en Aysén.
- Proyecto de Producción de etanol a partir de maíz por Etanol del Pacífico Sur.

¿Qué se hace en Chile en el área Bioetanol de segunda generación?

Creación del consorcio “Bioenercel”, para el estudio y generación de condiciones para la creación de plantas demostrativa de Bioetanol de segunda generación.

- Universidad de Concepción
- Universidad Católica de Valparaíso
- Consorcio maderero (Arauco)
- Fundación Chile
- CMPC Celulosa S.A.
- Masisa S.A.
- Financiamiento Corfo-Innova

La situación en Chile

Consumo de gasolina: 3.500.000 m³/año 2011

Si se reemplaza el 5% por bioetanol : 165.000 m³/año

- Si se utiliza MAIZ se necesitarían: 55.000 Hectáreas
1/3 del área usada en el cultivo de MAIZ.

¿?

Biomasa disponible en Chile: residuos agrícolas

Trigo y maíz son las especies más importante



314.000 ha/y



124.000 ha/y

Sobre 2.5. millones de toneladas de residuos al año

Desde residuos
de trigo:
50,000 m³

+

Desde residuos
de maíz
27,000 m³

Total: 77,000 m³

45 % de la demanda



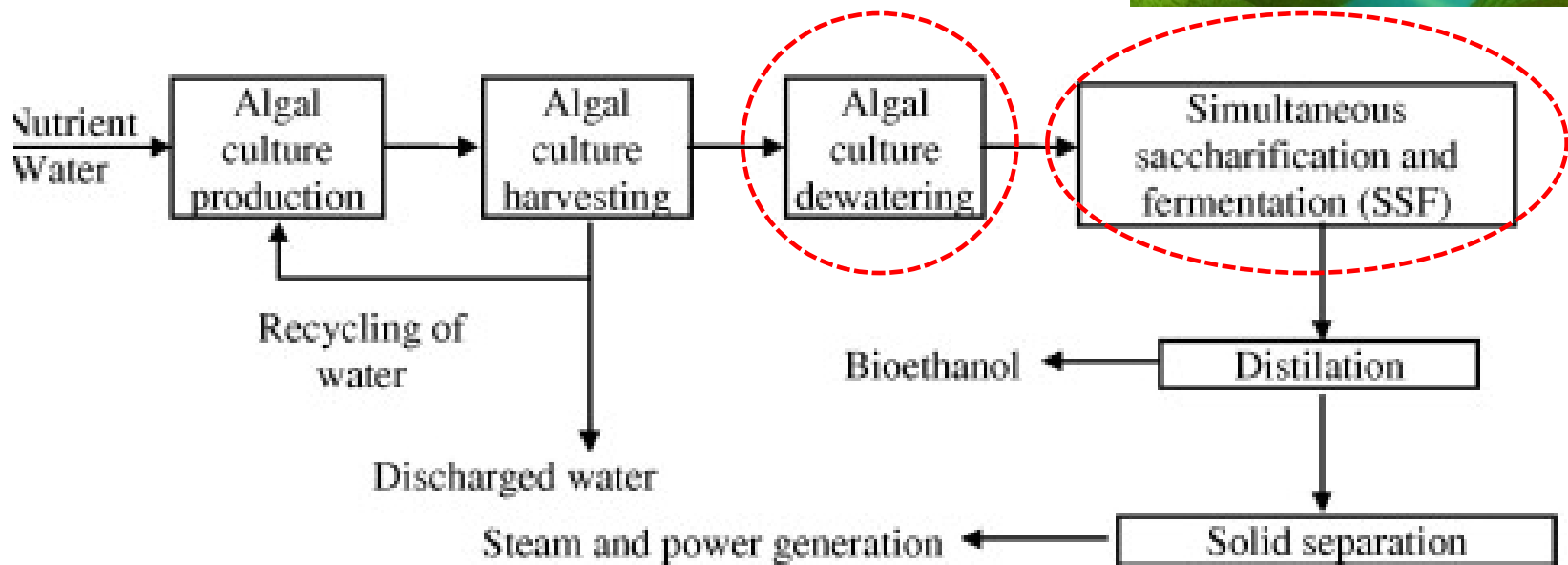
**Gasoline demand 2011
3.3 millions m³**

**Bioethanol demand
165,000 m³ for 5 % replacement**

Producción de Bioetanol

Tercera Generación En desarrollo

Bioetanol de 3ª generación: a partir de algas



Ventajas de etanol desde macroalgas

- La producción no depende de insumos agrícolas por lo que no incide en la cadena alimenticia.
- Balance energético muy positivo; la cantidad de energía que genera es muy superior a la que consume.
- Captura y recicla grandes cantidades de dióxido de carbono como insumo básico para las algas.
- La producción es continua, tiene menor dependencia de ciclos productivos.

Cont.

- El proceso productivo es muy eficiente en la producción de biocombustibles por hectárea por lo que la cantidad de terreno que requiere es mucho menor a la que necesitan las tecnologías tradicionales.
- No requiere tierras cultivables para la producción.
- No utiliza agroquímicos ni pesticidas.
- Recicla la totalidad del agua utilizada en el proceso.

¿Qué se hace en Chile en Bioetanol de 3 generación?

- BAL Biofuels, bioetanol desde algas marinas. Bio Architecture Lab (BAL), Universidad de Los Lagos y Enap. Otros coejecutores Universidades de Chile, Católica, Católica del Norte y de California (EE.UU). Financ. Corfo-Innova (U\$ 7 millones).
 - ▣ Cultivar *Macrocystis pyrifera* (huido) en agua de mar.

Consortrios de Biocombustibles 3era generación

3 consorcios para la producción de biocombustibles a partir de micro y macro algas (2010). Financiamiento: US\$19 millones aprox.

Consortrio	Tipo	Integrantes
ALGAEFUEL	Micro algas	Edelnor Copec Rentapack Bioscan Universidad Católica de Chile
DESERT BIOENERGY	Micro algas	Universidad de Antofagasta Electroandina S.A. Prodalmar Ltda. Molinera Gorbea Ltda. Universidad de la Frontera CICITEM
BAL BIOFUELS	Macro algas	BAL Chile Enap Refinerías Bio Architecture Lab Universidad de Los Lagos

Resumiendo

Conclusiones

- Bioetanol de primera generación:
 - Compite con tierras de cultivo de alimentos.
 - Balance energético está en el límite.
 - Emisión de CO₂ no es mucho mejor que en el caso de gasolina.
- Bioetanol de segunda generación:
 - No compite con la industria de alimentos.
 - Proceso mas complejo, falta un poco desarrollo tecnológico.

Barreras en Chile, a la producción de bioetanol

- Técnicas:
 - ▣ Transporte
 - ▣ Almacenamiento
 - ▣ Distribución
- Económicas
 - ▣ Costo y disponibilidad de las materias primas
 - ▣ Alto costo del proceso y falta de subsidios económicos
 - ▣ Incertidumbre regulatoria
- **La Biorefinería es una opción de mejorar los índices económicos de los biocombustibles**

Agradecimientos

- Programa de Investigación Domeyko de la Universidad de Chile.
- Instituto de Dinámica Celular y Biotecnología (ICDB).
- Comisión Nacional de Investigación Científica y Tecnológica (CONICYT) a través de su Programa AKA (Finlandia)-Conicyt (Chile).

Colaboración

J.P Mikkola (Ionic Liquid-Finlandia)

J Sadler (Forest Products Biotechnology-Canada)

M. Iglesias (Protic Ionic Liquid-Brasil)

B. Queguineur (Macroalgas-Irlanda)

A. Buschmann (Macroalgas-Chile)

R. Carmona (Ing. Forestal – U de Chile)

A. Garcia (Ing. Forestal- U de Chile)

Cristina Ravanal

Allison Leyton

Victoria Cortínez

Ricardo Pezoa

Ricardo Harris

Tomas Niklitschek C

Roberto Sotomayor

Diego Schneuer

Sebastian Juri

Leonardo Stari

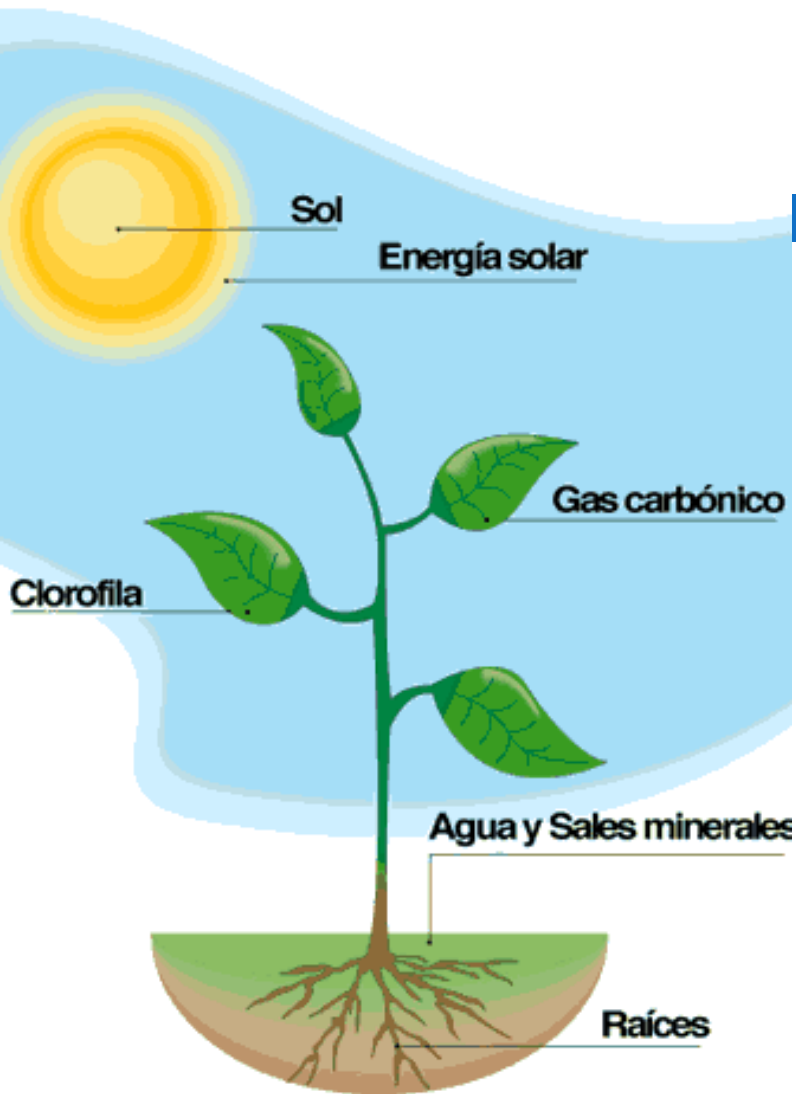
Loreto Martinez

Patricio Bosch

Christian Wilken


J. Asenjo (CeBIB, U de Chile)

O. Salazar (CeBIB, U de Chile)



Gracias

mlienque@ing.uchile.cl



Producción de Bioetanol y Biorefinería a partir de material
lignocelulósico - Junio 2014