



asociación iberoamericana de entidades
reguladoras de la energía

associação iberoamericana de entidades
reguladoras da energia



ariae

Aspectos medioambientales de la energía: energías renovables y biocombustibles

Modulo C.1: La cadena física del biocombustible

Waldyr L. R. Gallo

Asesor de Diretor – Agencia Nacional do Petróleo,
Gás Natural e Biocombustíveis - ANP

Prof. Dr. Dep. Energia – FEM – UNICAMP - Brasil

Febrero de 2009

Sumario del modulo C.1

- **Biocombustibles líquidos**
- **El etanol y los motores Otto**
- **Proceso de producción del etanol**
- **Aceites vegetales y los motores Diesel**
- **El biodiesel y los motores Diesel**
- **Proceso de producción del biodiesel**
- **La logística y la distribución**

Biocombustibles líquidos

- Biocombustibles – definición:
 - Productos conteniendo energía química proveniente de la fotosíntesis, almacenada en biomasa, a ser liberada por la combustión. Pueden ser sólidos (leña, residuos agrícolas), líquidos (etanol, biodiesel) o gaseosos (biogás, gasificación de sólidos)

- Fotosíntesis:



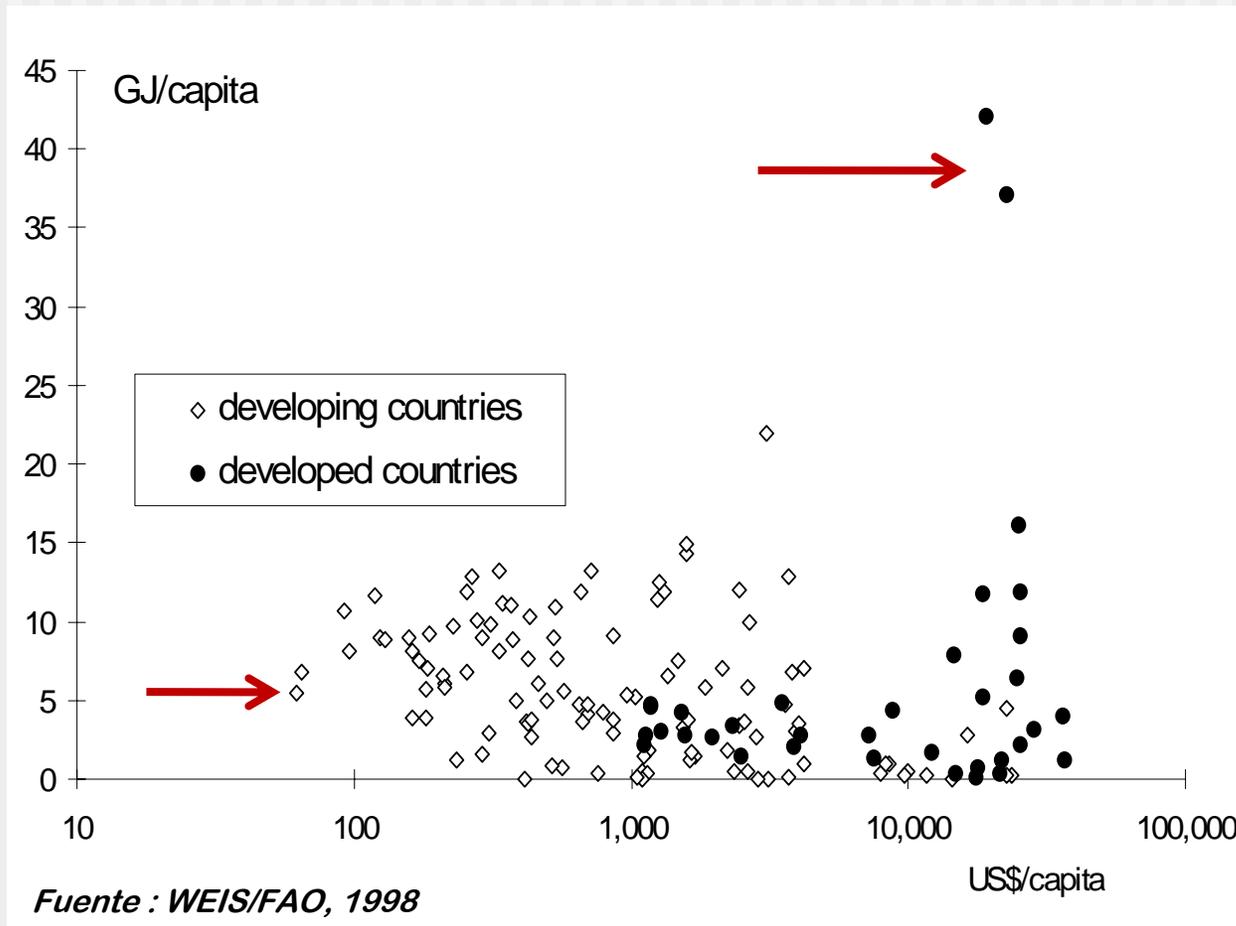
- Transformación de energía solar en energía química
- 1 kg azúcar \rightarrow 17,6 MJ de energía solar
- Condiciones para fotosíntesis: suelo, clima, agua, dióxido de carbono y luz solar (~50% de la rad. total es eficaz en la fotosíntesis)

Biocombustibles líquidos

- Uso del suelo en la Tierra:
 - Área total seca: 13.013 millones de ha
 - Tierras arables y de cultura permanente: 1.562 millones de ha
 - Área usada p/ pastajes: 3.406 millones de ha
 - Florestas: 3.952 millones de ha
 - Otros usos: 4.092 millones de ha
- Bioenergía - el viejo y el nuevo
 - Viejo paradigma: deforestación y/o extracción depredadora , bajas eficiencia y productividad. Ej. leña, carbonarías
 - Nuevo paradigma: sistemas innovadores y sostenibles, producción de biomasa p/ fines energéticos. Ej. alcohol de caña, biodiesel, manejo sostenible de florestas.

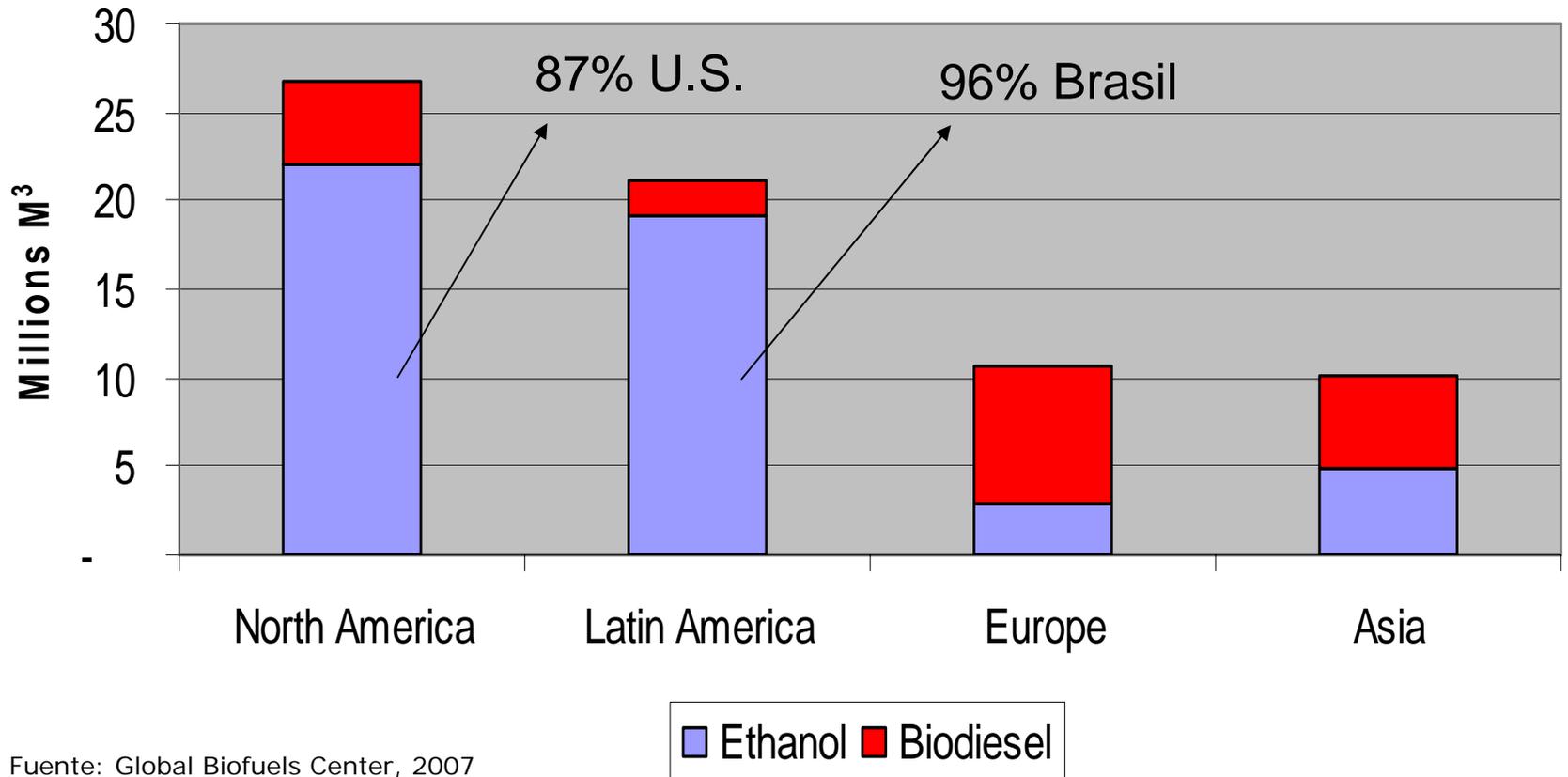
Biocombustibles líquidos

Demanda por biomasa energética vs. GNP *per capita*



Biocombustibles líquidos

Producción mundial de biocombustibles



Fuente: Global Biofuels Center, 2007

Biocombustibles líquidos

América del Nord

-E: Maíz, avena, trigo
-B: Soya, canola, aceite usado, grasas animales, palma

América Latina y Caribe

-E: Caña, maíz
-B: Soya, palma

África

-E: Caña
-B: palma, jatropha

Europa

-E: remolacha, trigo
-B: Colza

Asia

-E: Caña, maíz
-B: Palma, jatropha, aceite usado, grasas animales, coco

Biocombustibles líquidos

- Demanda creciente en el mundo
- Preocupaciones ambientales mas rigurosas
- Aumento do comercio internacional
- Avanzo en la productividad y balance energético de biocombustibles:
 - Biodiesel: nuevas oleaginosas (6.000 L/ha) *versus* culturas tradicionales (600 L/ha)
 - Etanol: nuevos métodos productivos (hidrólisis de bagazo/celulosis)
 - Bioelectricidad

O desarrollo de esta tecnología va traer:
Seguridad Energética + Seguridad Alimentar



El etanol y los motores Otto



El etanol y los motores Otto

- Etanol o alcohol etílico
 - definición: “sustancia pura”, moléculas C_2H_5OH + agua + impurezas del proceso de producción.
- Dos tipos de etanol combustible:
 - Etanol anhidro – usado para mezclarse con gasolina; bajo contenido de agua (0,4% máx.); producido a partir del etanol hidratado, posee producción mas costosa (eliminación de agua por solventes o por tamices moleculares)
 - Etanol hidratado – usado como combustible puro, sin mezcla; contenido de agua alrededor del 7% en masa; producido por destilación.

El etanol y los motores Otto

- Propiedades de la gasolina e del etanol:

Parametro	Unidad	Gasolina	Etanol
Calor de combustión	kJ/kg	43.500	28.225
Tonalidad energía	kJ/l	32.180	22.350
Densidad	kg/l	0,72-0,78	0,792
Octanage RON		90-100	102-130
Octanage MON		80-92	89-96
calor de vaporización	kJ/kg	330-400	842-930
relación aire combustible esteq.		14,5	9,0
Presión de vapor	kPa	40-65	15-17
Temp. de ignición	°C	220	420
solubilidad em agua	%v/v	~ 0	100

El etanol y los motores Otto

- Etanol: combustible vehicular
 - Viable en motores de encendido por chispa, sustituye la gasolina total o parcialmente.
 - Mezclas etanol/gasolina – alcohol anhidro - “gasohol”.
Brasil: 20 a 25%. USA: 5 a 10%
 - Etanol puro (hidratado): motores adecuados a su empleo (optimizados para el etanol)
 - Motores “flex-fuel” en Brasil: aceptan cualquier mezcla entre el gasohol y el alcohol hidratado
 - Motores “flex” en USA: de gasolina pura hasta 85% de alcohol anhidro.
 - Hasta el 10% de etanol anhidro en la gasolina: sin alteraciones en el motor.

El etanol y los motores Otto

- Ventajas del empleo del alcohol:
 - Recurso renovable
 - Oxigenado: reduce emisiones de CO, C_xH_y y partículas
 - Octanaje elevada – eliminación del plomo
 - Mejor desempeño del motor – optimización
 - Mayor eficiencia energética – octanaje
 - Menores emisiones de CO₂ – ciclo de vida
 - Actividad agroindustrial
- Desventajas del empleo del alcohol:
 - Mayor consumo en km/litro (menor contenido energético)
 - Compatibilidad con algunos materiales (algunos tipos de caucho y ligas de aluminio)
 - Partencia del motor en frio
 - Separación de fases (agua en el etanol)

El etanol y los motores Otto

Alteraciones necesarias

Etanol en la gasolina	≤ 5%	≤10%	≤25%	≤85%	≥85%
Carburador					
inyección de combustible					
pompa de combustible					
filtro combustible					
sistema ignición					
tanque combustible					
catalizador					
motor básico					
aceite del motor					
colector admisión aire					
sistema de escape					
partencia en frio					

El etanol y los motores Otto

Alteraciones necesarias



Motor Básico

Tasa de Compresión
Eje Comando de Válvulas
Material de Válvulas e Sede de Válvulas
Cambio del Circuito de Blow-by

Carburador

Alteración de la relación de mezcla Aire / Combustible
Cambio de Tratamiento de Superficies
Sustitución de Materiales
bóias, orificios calibrados, ejes, juntas e anillas

Inyección Electrónica

Alteración de la relación de mezcla Aire / Combustible
Aumento da Presión de Trabajo
Cambio de la Estrategia / Calibración
Cambio en los Inyectores (materiales, flujo y spray)

Pompa de Combustible

Cambio de Tratamiento de Superficie y Materiales
Protección de Bornes y Rotor
Conectores Sellados
Aumento da Presión de Trabajo y flujo

Reg. de Presión del Combustible

Cambio de Tratamiento de Superficie y Materiales
Aumento da Presión de Trabajo y flujo

Filtro de Combustible

Cambio de Porosidad
Sustitución de Material de Colaje
Aumento da Presión de Trabajo
Sustitución del Encapsulamiento

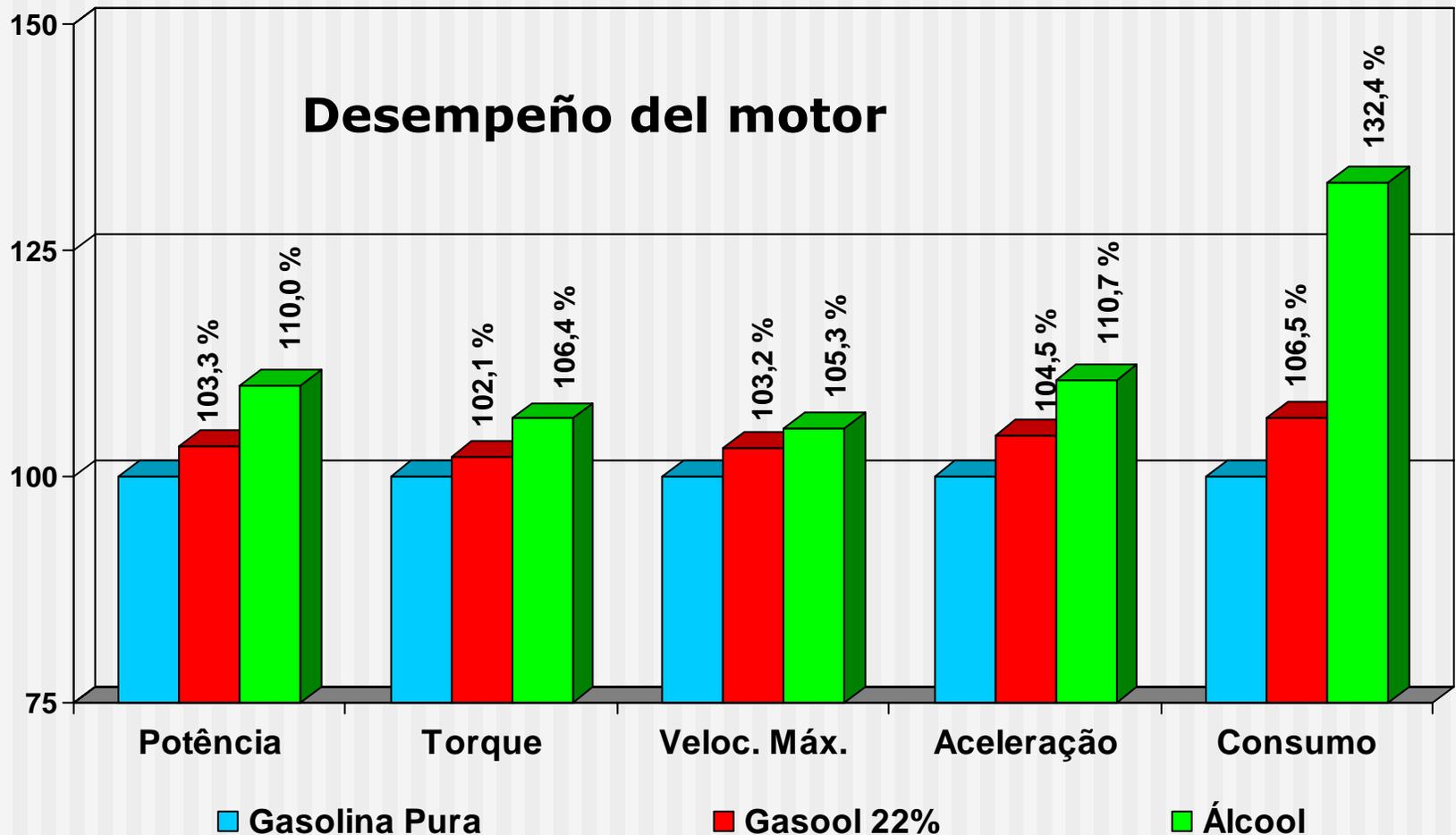
Colector de Admisión

Cambio del Perfil
Cambio de Flujo
Pre-calentamiento de la mezcla
Alteración de la Rugosidad de Paredes Internas

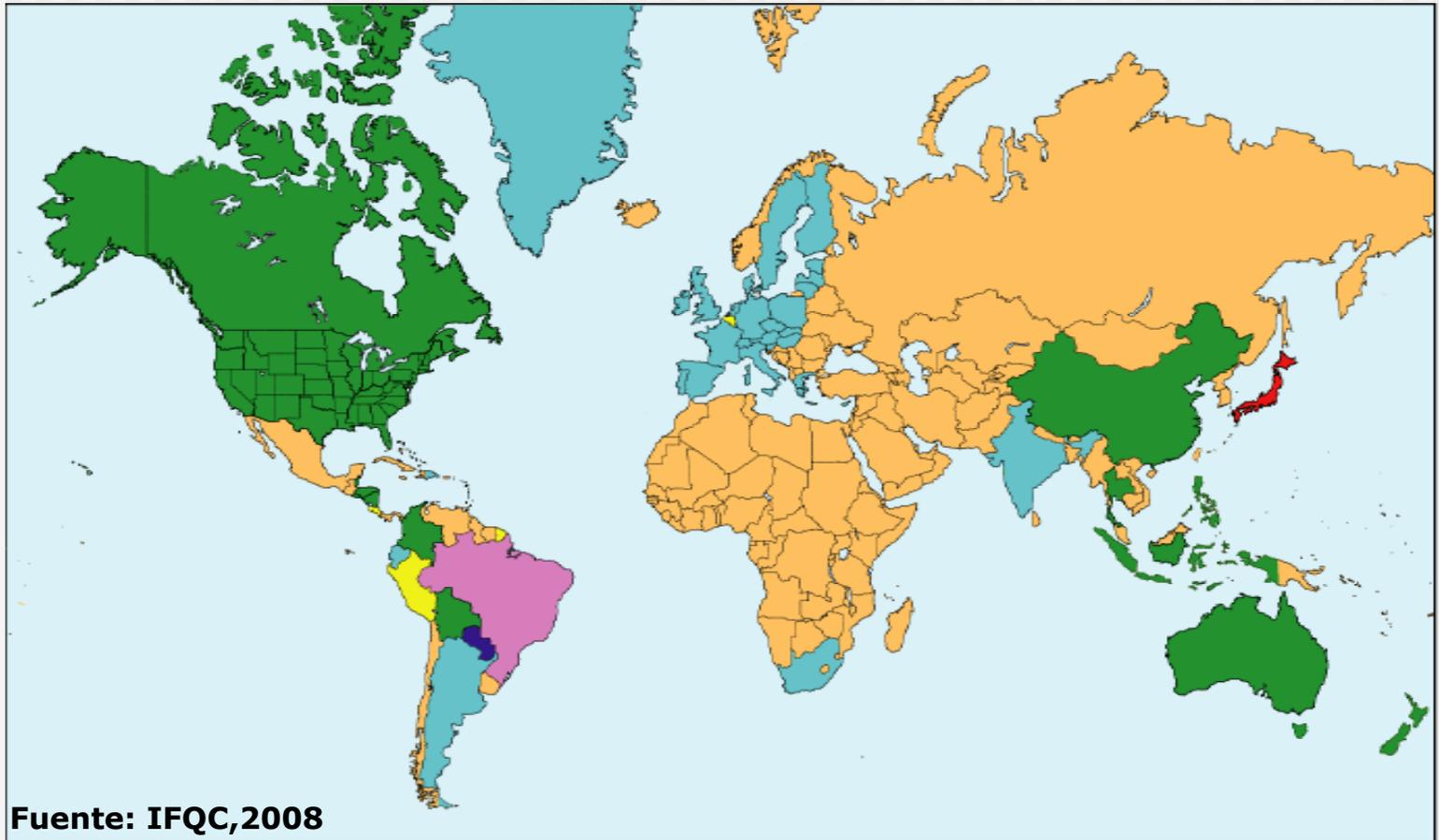
Ignición

Cambio del Avanzo
Sustitución de bujías por otras mas frías
Aumento de la Descarga de Chispas
Aumento de la Capacidad de Carga de la Batería

El etanol y los motores Otto



El etanol y los motores Otto



20 vol% min

11-24 vol% max

10 vol% max

7-8 vol% max

5 vol% max

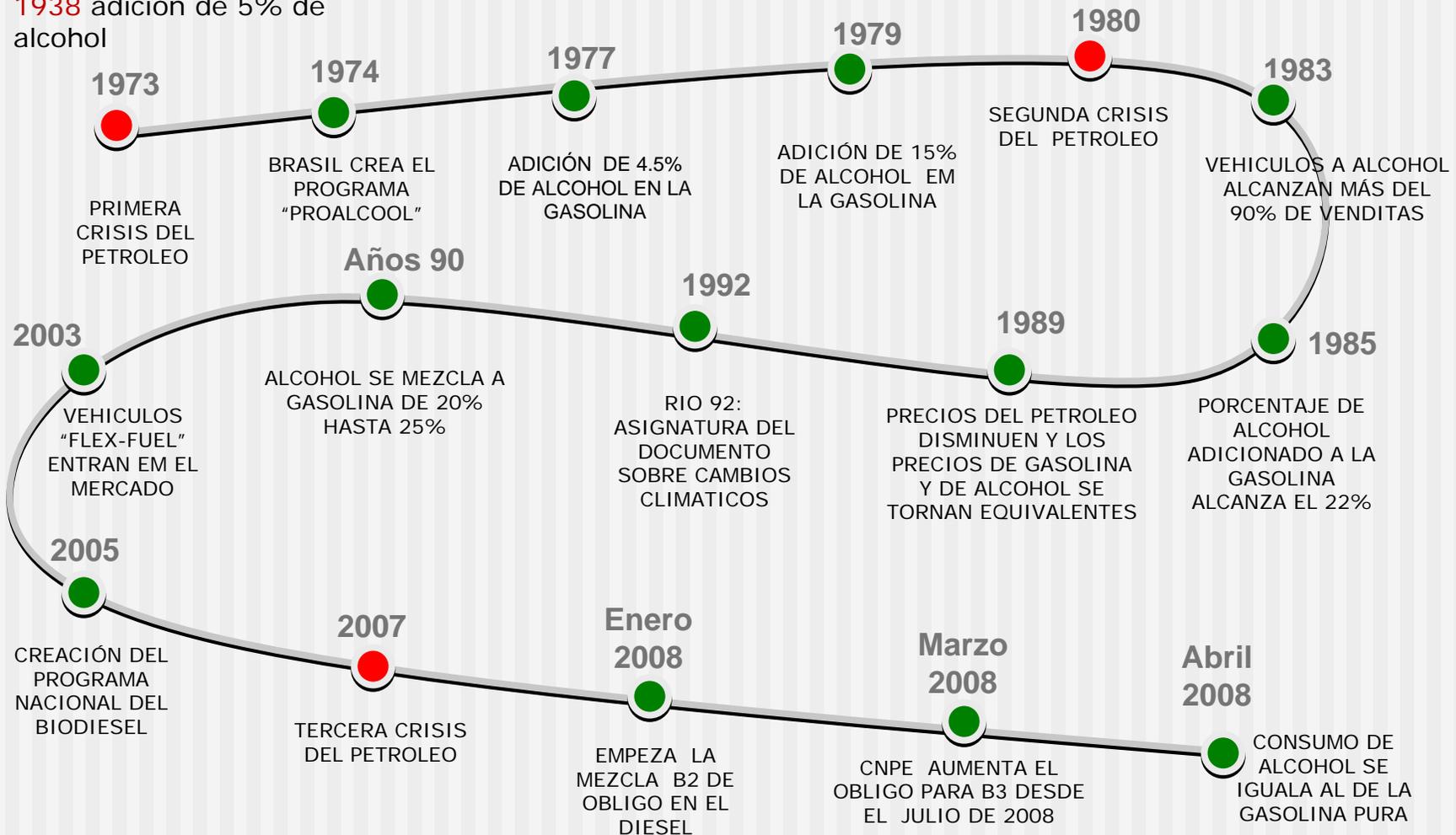
3 vol% max

No blends or data not available

El etanol y los motores Otto

El caso de Brasil

1938 adición de 5% de alcohol



El etanol y los motores Otto

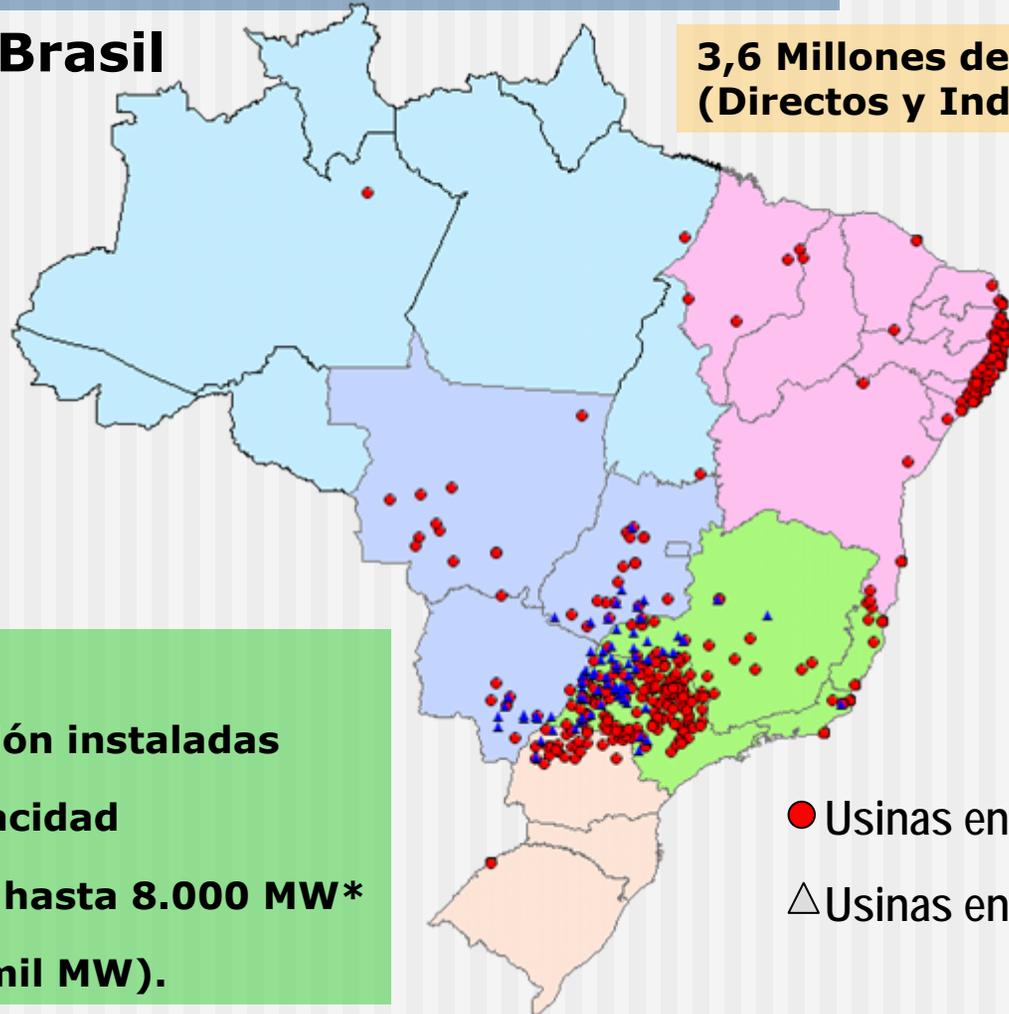
Uso de alcohol en Brasil

- Los números del etanol en 2007:
 - Producción: 22,5 millones de m³
 - Capacidad de Producción: 22,6 millones de m³
 - Área Cultivada: 7 millones de hectáreas
 - Exportación: 3,5 millones de m³
 - Infra-estructura para exportación: 4 millones de m³/ano
 - Consumo Interno: 16 millones de m³
 - Productividad agrícola: 74 t caña/ha (mejores: 82 t caña/ha)
 - Productividad industrial: 79 l etanol/t caña (mejores: 83 l/t caña)
 - Productividad agroindustrial: 5.846 l etanol /t caña

El etanol y los motores Otto

Uso de alcohol en Brasil

3,6 Millones de empleos
(Directos e Indirectos)



Cogeneración de Energía

✓ 150 usinas de cogeneración instaladas

1.700 MW de capacidad

Potencial – 6.000 hasta 8.000 MW*

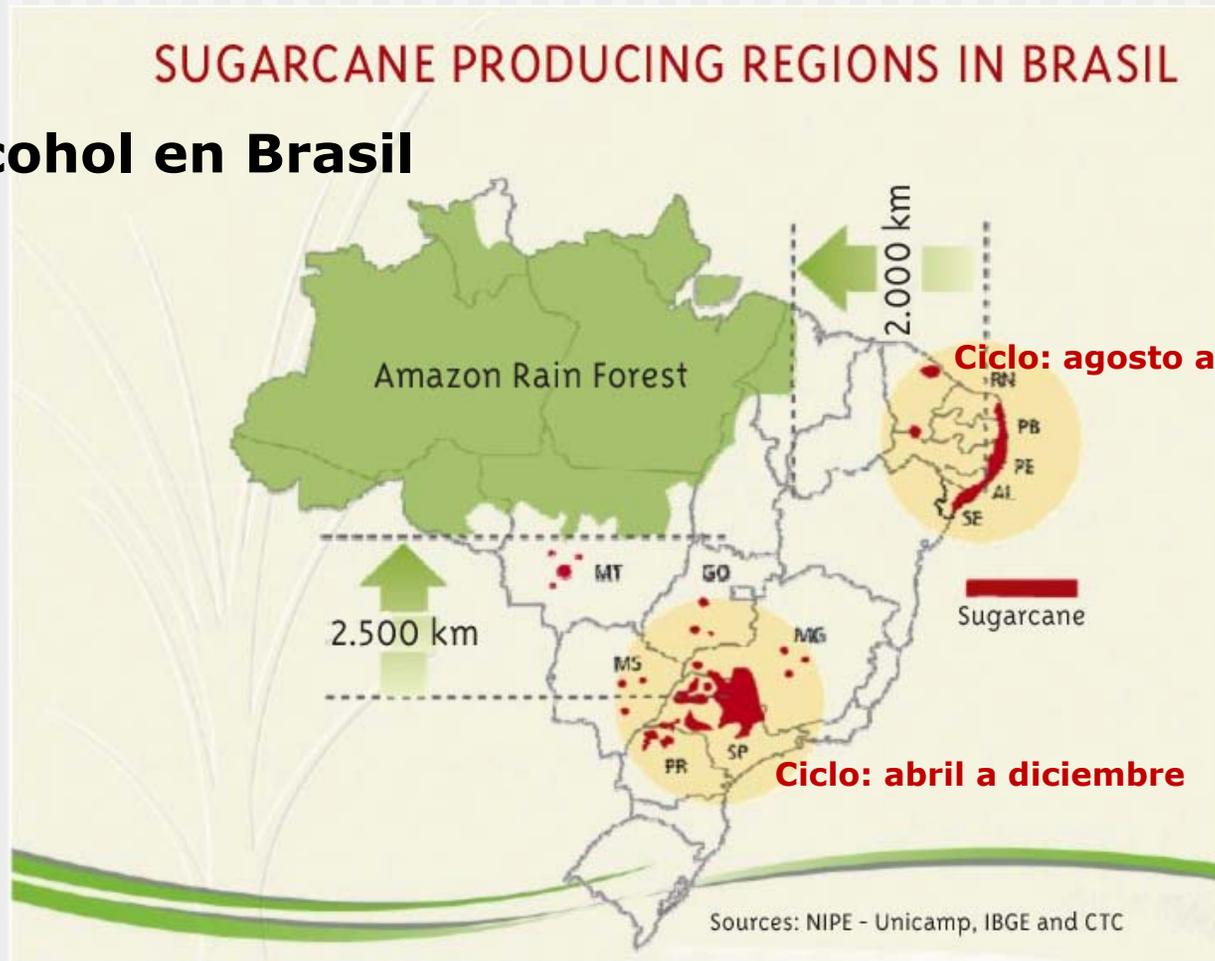
(*Capacidad de Itaipu: 14 mil MW).

● Usinas en operación

△ Usinas en construcción

El etanol y los motores Otto

Uso de alcohol en Brasil



El etanol y los motores Otto

Porcentaje promedio de etanol en la gasolina de Brasil



Fuente: Horta Nogueira, 2008 – datos de MME – Gobierno brasileño

El etanol y los motores Otto

Producción de vehículos a alcohol en Brasil



Fuente: ANFAVEA 2008 – citado por Horta Nogueira, 2008

El etanol y los motores Otto

Uso de alcohol en Brasil

Hoy, 8 marcas de vehículos, multinacionales, establecidas en Brasil, producen más de 100 modelos diferentes de vehículos "flex"

O carro mais querido do Brasil
Power Total Flex

1º vehículo "flexfuel"
en el mercado de Brasil
- marzo de 2003



Fuente: VW Brasil, 2003

El etanol y los motores Otto

Ventas de vehículos flex en Brasil



Fuente: ANFAVEA

El etanol y los motores Otto

Uso de alcohol en Brasil



Avión agrícola IPANEMA – EMBRAER

Es impulsado por un conjunto moto propulsor formado por el motor Lycoming IO-540-K1J5, de 320 hp para alcohol o de 300HP para gasolina a 2700 rpm y hélice Hartzell de velocidad constante.

Proceso de producción de etanol



Proceso de producción de etanol

Balance de masas de la caña

1200 kg de caña en el campo contiene:



Colmos
1000 kg
USINA

Paja y puntas
200 kg
CAMPO

146 kg
134 kg
720 kg
170 kg
30 kg

ATR



Bagazo

Agua

Paja

humedad

82 litros
900 litros

Etanol

Vinaza



O BIÉN

139 kg
10 kg

Azúcar

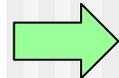
Melaza

Proceso de producción de etanol

El contenido energético de la caña



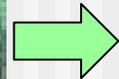
1 ton de caña



Azúcares

608×10^3 kcal

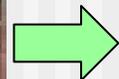
+



Bagazo

598×10^3 kcal

+



Paja y puntas

512×10^3 kcal

=

$1,718 \times 10^6$ kcal



1 barril de
petróleo

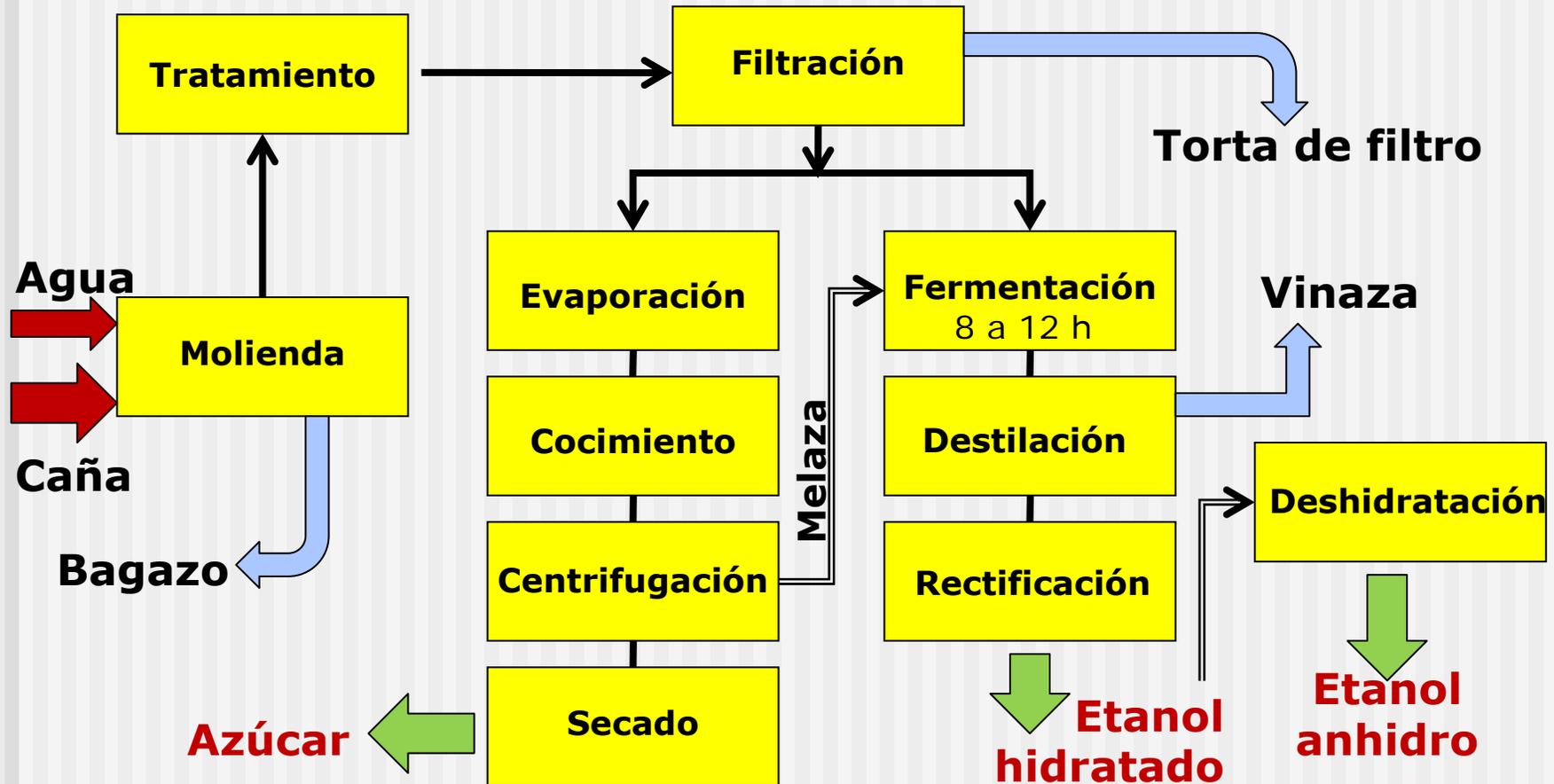
$1,386 \times 10^6$ kcal

Alrededor del 29 % del
contenido energético de
la caña no tiene aún
aprovechamiento

O sea: 1 ton caña \approx 1,2 barriles de
petróleo

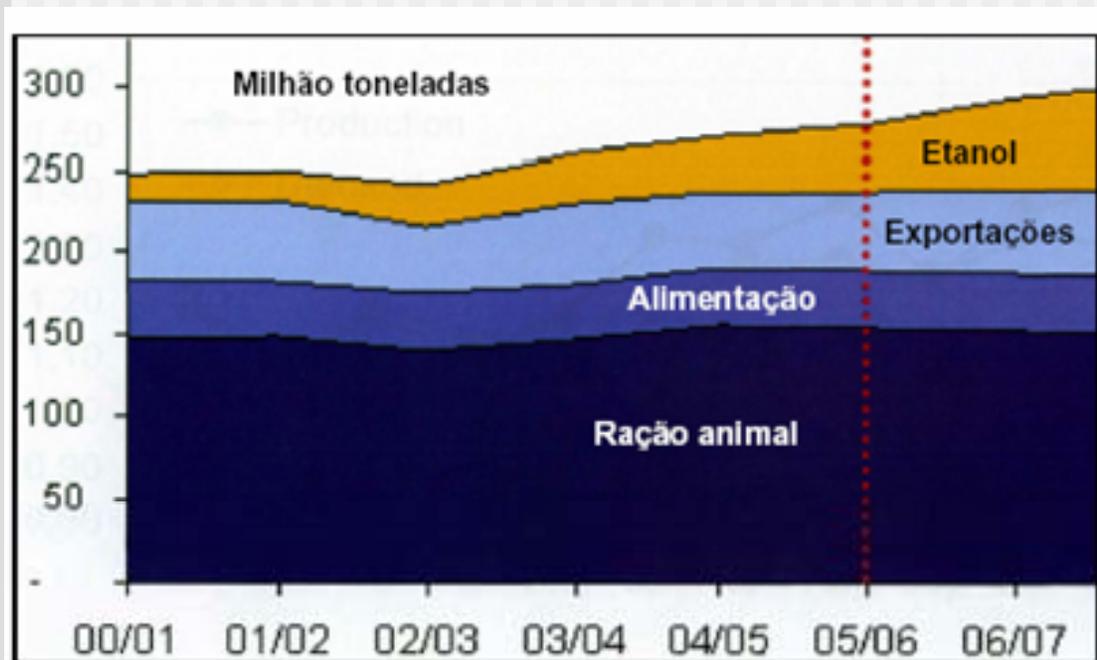
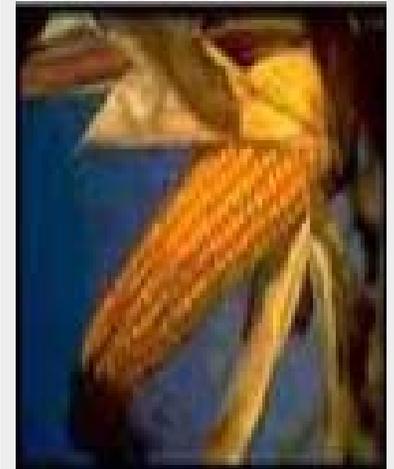
Proceso de producción de etanol

Diagrama de flujos en la producción de etanol de caña



Proceso de producción de etanol

El etanol de maíz



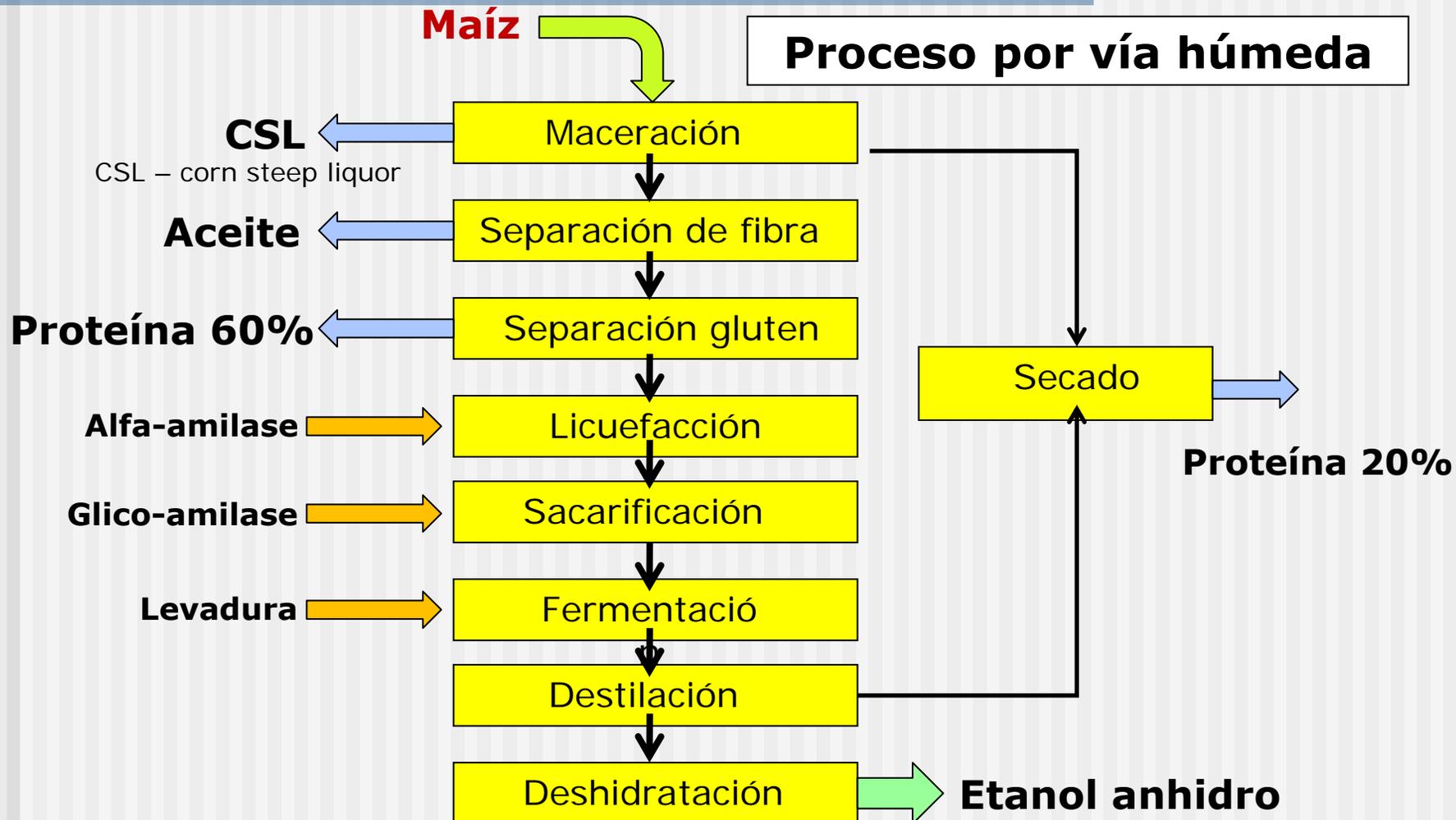
Ciclo: abril a noviembre – USA

Almidón -> azúcares

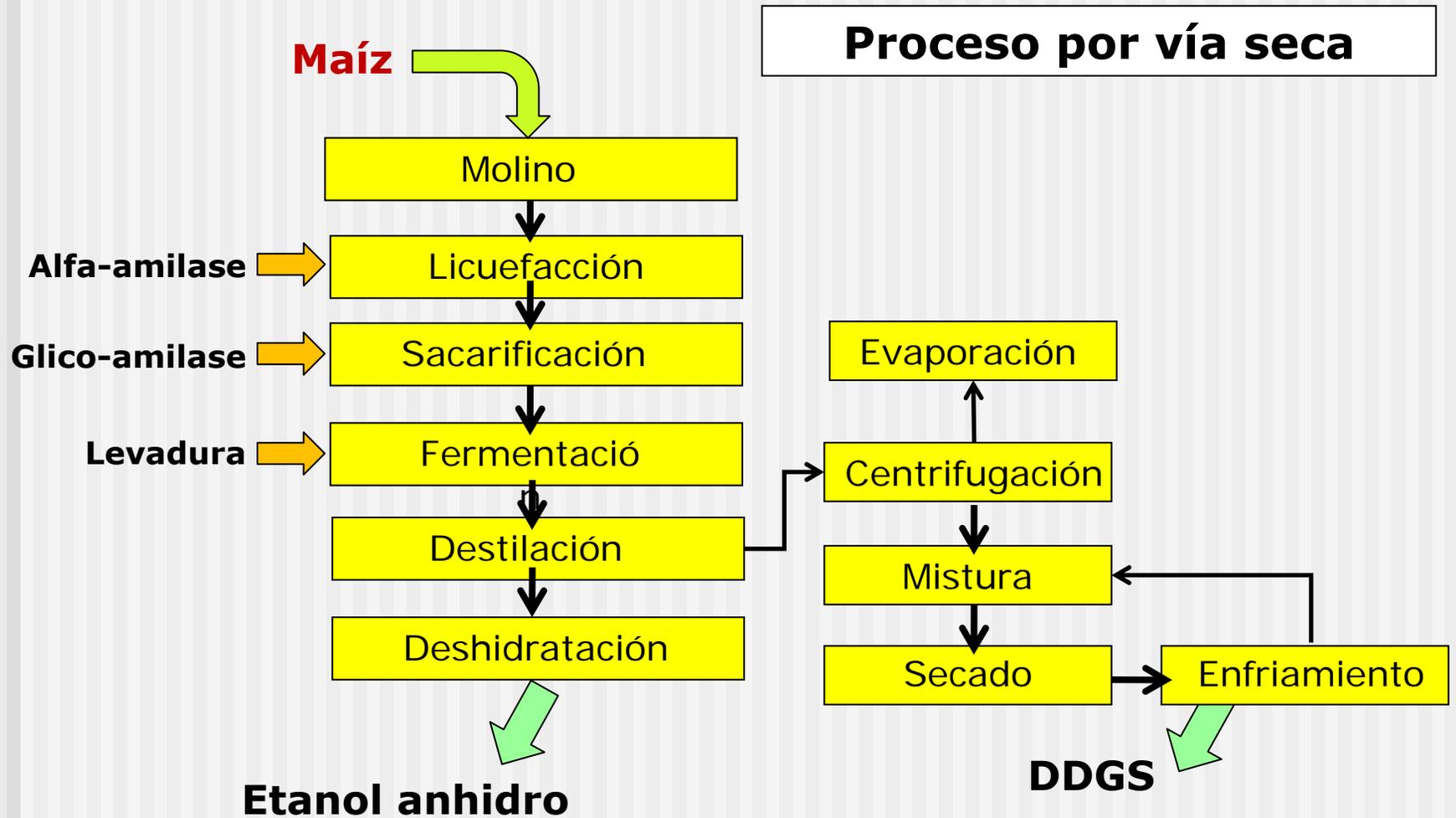
Productividad: 9 t/ha o
alrededor de 4000 l/ha

Destinación del maíz producido en USA

Proceso de producción de etanol



Proceso de producción de etanol



DDGS – distillers dried grains with solubles

Proceso de producción de etanol

Otras materias primas:

- Remolacha: azúcares fermentables directamente.
 - Productividad: 50 a 90 t/ha o alrededor de 7500 l/ha
 - Unión Europea
- Yuca: amilácea, similar al maíz
 - Productividad: 18 t/ha o alrededor de 3000 l/ha
 - Tailandia, China
- Trigo: amilácea
 - Productividad: 7,5 t/ha o alrededor de 1800 l/ha
 - Inglaterra, Alemania

Proceso de producción de etanol

■ Hidrólisis de residuos lignocelulósicos

- Procesos en desarrollo
- La hidrólisis de celulosis produce azúcares aptos para fermentación
- Existen aún problemas tecnológicos a ser resueltos
- Rompimiento de los polisacáridos: procesos físicos, químicos o combinados
- Procesos físicos: explosión por vapor o termo-hidrólisis
- Procesos químicos: hidrólisis ácida, básica, por solventes o biológica
- Desafíos: aumentar eficiencia de los procesos y reducir costos de producción

Proceso de producción de etanol

Comparación entre materias primas

Materia prima	Relación de energía	Emisiones evitadas de CO₂
Caña	8,0 – 9,3	80% - 89%
Maíz	0,6 – 2,0	-30% - 38 %
Trigo	0,97 – 1,11	19% - 47%
Remolacha	1,2 – 1,8	35% - 56%
Yuca	1,6 – 1,7	63%
Lignocelulosis *	8,3 – 8,4	66% - 73%

*Estimativa – proceso en desarrollo

Fuente: Horta Nogueira, 2008

Aceites vegetales y motores diesel



Aceites vegetales y motores diesel

PRODUCCIÓN MUNDIAL DE OLEAGINOSAS

Perennes: palma, copra y olivera. Anuales: soja, colza, girasol y algodón

Año	Prod. Total (1000 ton.)		Prod. / capita		Área de cosecha (1000 ha)		Productividad (ton./ha)	
	Perenne	Anual	Perenne	Anual	Perenne	Anual	Perenne	Anual
1965	47015	83930	14	25	12116	72855	3,88	1,15
1970	48994	95888	13	26	13344	80634	3,67	1,19
1975	61603	118918	15	29	14951	90416	4,12	1,32
1980	73309	146667	16	33	18175	108394	4,03	1,35
1985	88976	189910	18	39	21469	116090	4,14	1,64
1990	112236	209856	21	40	23528	124933	4,77	1,68
1995	147424	244092	26	43	26321	142775	5,60	1,71
2000	188123	280414	31	46	28855	153249	6,52	1,83
2005	242811	352201	38	55	30881	177071	7,86	1,99

Fuente: Faostat, 2005.



Aceites vegetales y motores diesel

Producción mundial de aceites vegetales

Aceites	2001	2003	2005	2007
Palma	24061	28589	34298	39280
Soja	27273	30288	33655	35581
Colza	12504	12425	16609	16827
Girasol	8227	9322	10397	10802
Algodón	4031	4062	4850	6333
Mani	5472	5785	5302	5578
Almendras de palma	3183	3677	4280	4509
Copra	3711	3339	3441	3162
Oliva	2666	3150	2626	3107
Maíz	1968	1987	2150	2190

Aceites vegetales y motores diesel

ESPECIES OLEAGINOSAS

Nombres de las oleaginosas			Prod. Agrícola	Prod. Aceite	Aceite
Español	Inglés	Científico	t / ha	Litro / ha	%
Ajonjolí	Sesame	Sesamun indicus	0,8	490-700	38-40
Girasol	Sunflower	Heliantus annus	1,5-2,0	700-1100	39-48
Higuerilla	Castor bean	Ricinos comunis	0,6-2,5	620-1200	42-45
Maní	Peanut	Arachis hipogaea	1,4-2,5	700-1000	39-48
Palma aceitera	Palm	Elaeis guineensis	10-22	3000-5900	18-26
Soya	Soybean	Glycine max	1,5-3,0	350-520	17-19
Colza/Canola	Rapessed	Brassica napus	1,7-2,0	690-1100	37-46
Algodón	Cottonseed	Gossypium hirsutum	1,7-3,0	270-450	16-18
Arroz	Rice	Oriza sativa	6,0-10	700-900	18-21
Piñón	Jatropha	Jatropha curcas	1,0-5,0	950-1680	24-26
Coco (Copra)	Coconut	Cocos nucifera	1,0-5,0	2100-2510	52-60
Maíz	Corn	Zea mais	6,0-8,0	170-200	4-8
Aguacate	Avocado	Persea americana	6,0-9,0	2200-2800	10-30
Oliva	Olive	Olea europaea	2,0-12	1200-1400	12-30

Fuente: Beare-Rogers, 2001; Macedo & Nogueira, 2005

Aceites vegetales y motores diesel

COMPARACIÓN DE PROPIEDADES: DIESEL, ACEITES Y BIODIESEL

Combustible	Poder calorífico	Densidad	Índice de Yodo	Viscosidad	Número Cetano	Punto Fulgor
	kJ/kg	g/litro		mm ² /s 38 °C		°C
Diesel	45 343	810-870	-----	1,5-4,5	45	58
Aceite de soya	39 623	914	117 - 143	32,6	38	230
Biodiesel soya	39 760	885	125 - 140	4,1 (40 °C)	48	156
Aceite girasol	39 575	918	110 - 143	37,1	37	274
Biodies. girasol	40 579	878	126	8,5	49	183
Aceite algodón	39 468	912	90 - 119	33,5	42	234
Biodie. algodón	40 580	880	106	3,8	51	110
Aceite de colza	39 709	914	94 - 120	59	38	246
Biodiesel colza	40 880	874	97	6,0 (40 °C)	54	174
Aceite de maíz	39 500	915	103 - 140	34,9	38	277
Biodiesel freir	39 700	872	123	5,8 (40 °C)	58	124
Biodie. Ganado	39 400	876	30-56	4,1 (40 °C)	68	157
Biodie. Cerdo	--	870	60-70	3,9	65	--
Biodiesel Coco	---	---	15-40	2,6 (40 °C)	68	104
Biodi. Jatropha	39 340	881	--	3,6 (40 °C)	58 ^a	174
Biodiesel Palma	36764	868	44-58	5,3 (40 °C)	62	191

Fuente: Knothe y otros (1997), NREL/SR-580-24089, p.173, Allen y Watts (2000).

a/ Gran dispersión de resultados.

Aceites vegetales y motores diesel

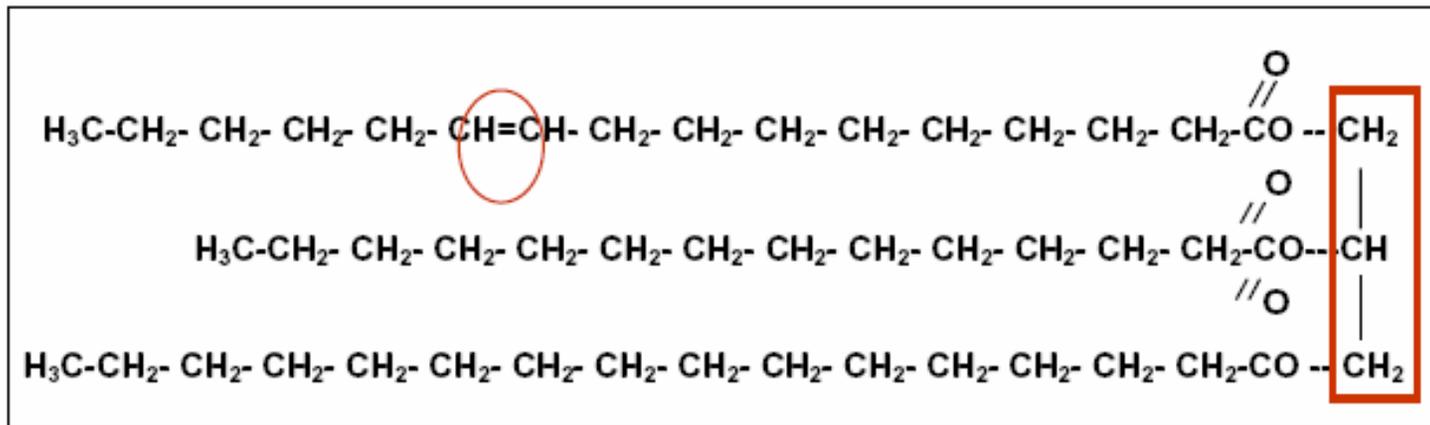
Aceites vegetales son compuestos básicamente por triglicéridos...

COMPOSICIÓN TÍPICA DE UN ACEITE VEGETAL CRUDO

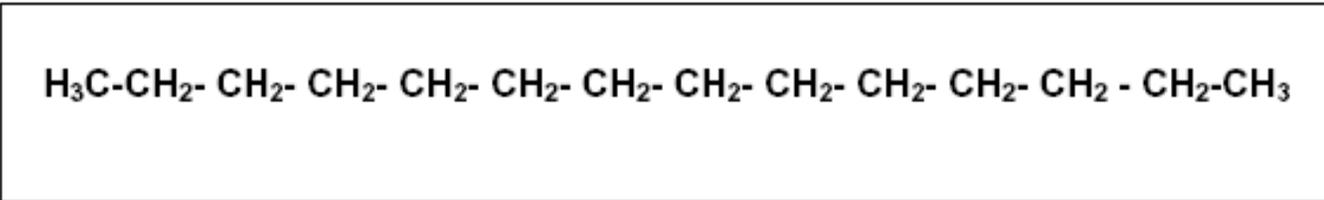
Compuesto	Porcentaje %
Triglicéridos	95
Mono y di glicéridos	0,1 – 2,0
Ácidos grasos libre (FFA)	0,3 – 2,0
Fosfolípidios	0,1 – 0,2
Vitaminas	~ 0,1
Colorantes naturales	35 ppm
Minerales (Mg, Ca, Fe)	5 – 300 ppm
Azufre (glicosídeos)	5 – 50 ppm

Fuente: Knothe, 1997

Aceites vegetales y motores diesel



Triglicérido
Aceite/grasa



Molécula diesel
típica



Acido graso libre
(acido cáprico)

Aceites vegetales y motores diesel

PROBLEMAS EN EL MOTOR DIESEL CON USO DE ACEITES VEGETALES

Problema	Causas probables	Solución potencial
Corto plazo:		
Arranque a frío	Alta viscosidad del aceite Bajo número de cetano Bajo punto de enturbamiento	Previo a la inyección, calentar el combustible
Obstrucción de filtros, tuberías e inyectores	Gomas naturales y cenizas presentes en el aceite	Emplear aceite desgomado Filtrar el aceite a 4 micrones
Detonación	Bajo número de cetano Inyección fuera de tiempo	Cambiar el punto de inyección. Calentar el aceite
Largo plazo:		
Formación de coque en los inyectores y pistón	Alta viscosidad Combustión incompleta Cargas parciales	Calentar el aceite Cambiar p/ diesel en cargas bajas
Depósitos de carbón en el pistón y culata del motor	Alta viscosidad Combustión incompleta Cargas bajas	Calentar el aceite Cambiar p/ diesel en cargas bajas
Desgaste excesivo del motor	Alta viscosidad Combustión incompleta Ácidos grasos libres (FFA) Dilución del lubricante	Calentar el aceite Cambiar p/ diesel en cargas bajas Usar aditivos p/ lubricante
Fallas en la lubricación	Polimerización de poli-insaturados Ácidos grasos libres (FFA)	Calentar el aceite Cambiar p/ diesel en cargas bajas Usar aditivos p/ lubricante

Aceites vegetales y motores diesel



Piston ring deposits from raw vegetable oil

Brasil: 60h con aceite de girasol puro sin calentamiento

Aceites vegetales y motores diesel

- Modificaciones en el motor p/ emplear aceites vegetales :
 - Reducción de viscosidad: calentar el aceite vegetal antes de la inyección.
 - Cambiar filtros de combustible
 - Cambiar la presión de inyección y/o el punto de inyección
 - Iniciar el motor en frío con diesel y cambiar para el aceite solamente cuando el aceite esté caliente.
 - Para apagar el motor, cambiar para diesel hasta que los filtros y líneas de combustible estén sin aceite vegetal
 - Emplear tanque adicional para el aceite vegetal, con calentamiento en caso de clima frío, para evitar la solidificación del aceite
 - La adaptación del motor debe ser hecha de forma profesional
 - En caso de comercialización, las tasas deben estar definidas por el gobierno
 - Las propiedades del aceite vegetal no pueden cambiar mucho a cada lote
 - Hacer distribución del aceite vegetal es compleja (tanques calentados)
 - Mezclas de aceite vegetal con diesel deben ser evitadas.

Aceites vegetales y motores diesel

Mantener el aceite vegetal sin modificación



modificar el motor diesel

O BIEN

Modificar el aceite vegetal (biodiesel)

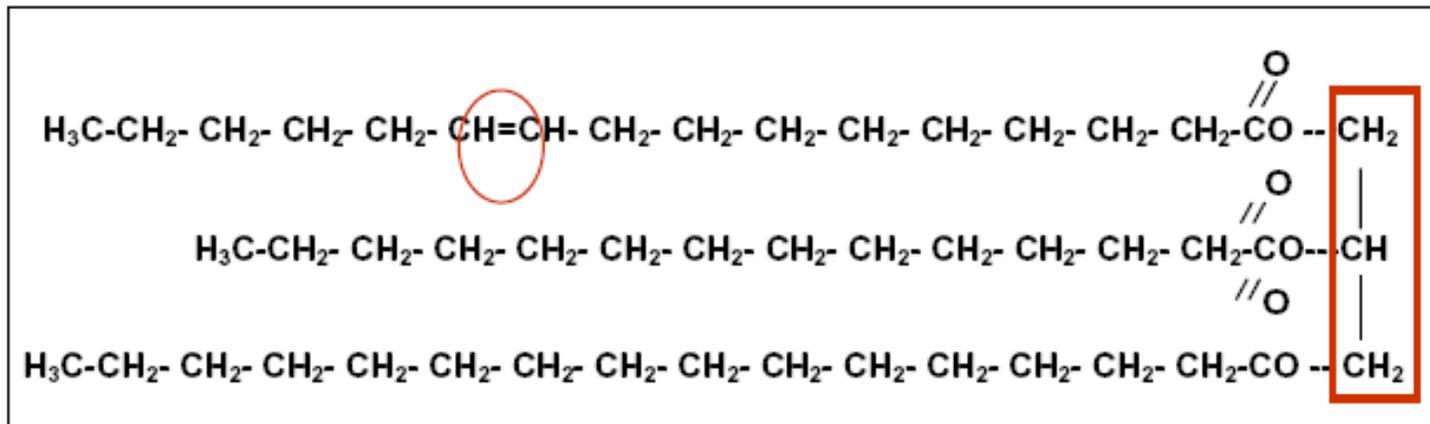


Motor diesel sin alteraciones

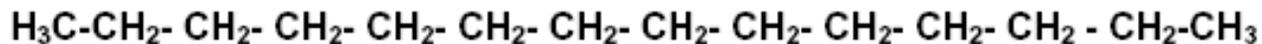
El biodiesel y los motores Diesel



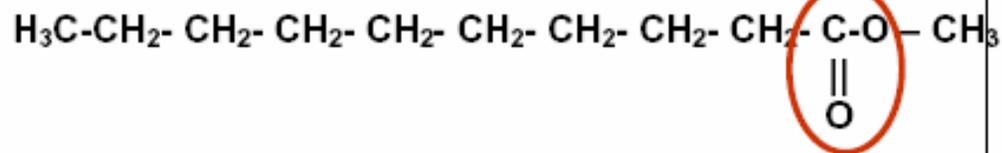
El biodiesel y los motores Diesel



Triglicérido
Aceite/grasa



Molécula diesel
típica



Metil-éster típico
Biodiesel

El biodiesel y los motores Diesel

Definición de Biodiesel

- World Customs Organizations (WCO): mezcla de mono-alkil-ésteres, de origen en aceites vegetales o grasas animales, renovable, debe cumplir ASTM D 6751.
- Congreso de los Estados Unidos (2003): mono-alkil-ésteres derivados de material vegetal o animal, que obedezca ASTM D 6751 y condiciones de la EPA.
- Unión Europea (Directive 2003/30/EC): metil ésteres de aceites vegetales o animales, con calidad de diesel.
- En Brasil: derivado de biomasa renovable, para sustituir el diesel. No menciona ésteres. La especificación, todavía, es basada en las normas ASTM D 6751 y EN 14241.

El biodiesel y los motores Diesel



Ventajas del uso de biodiesel (B100):

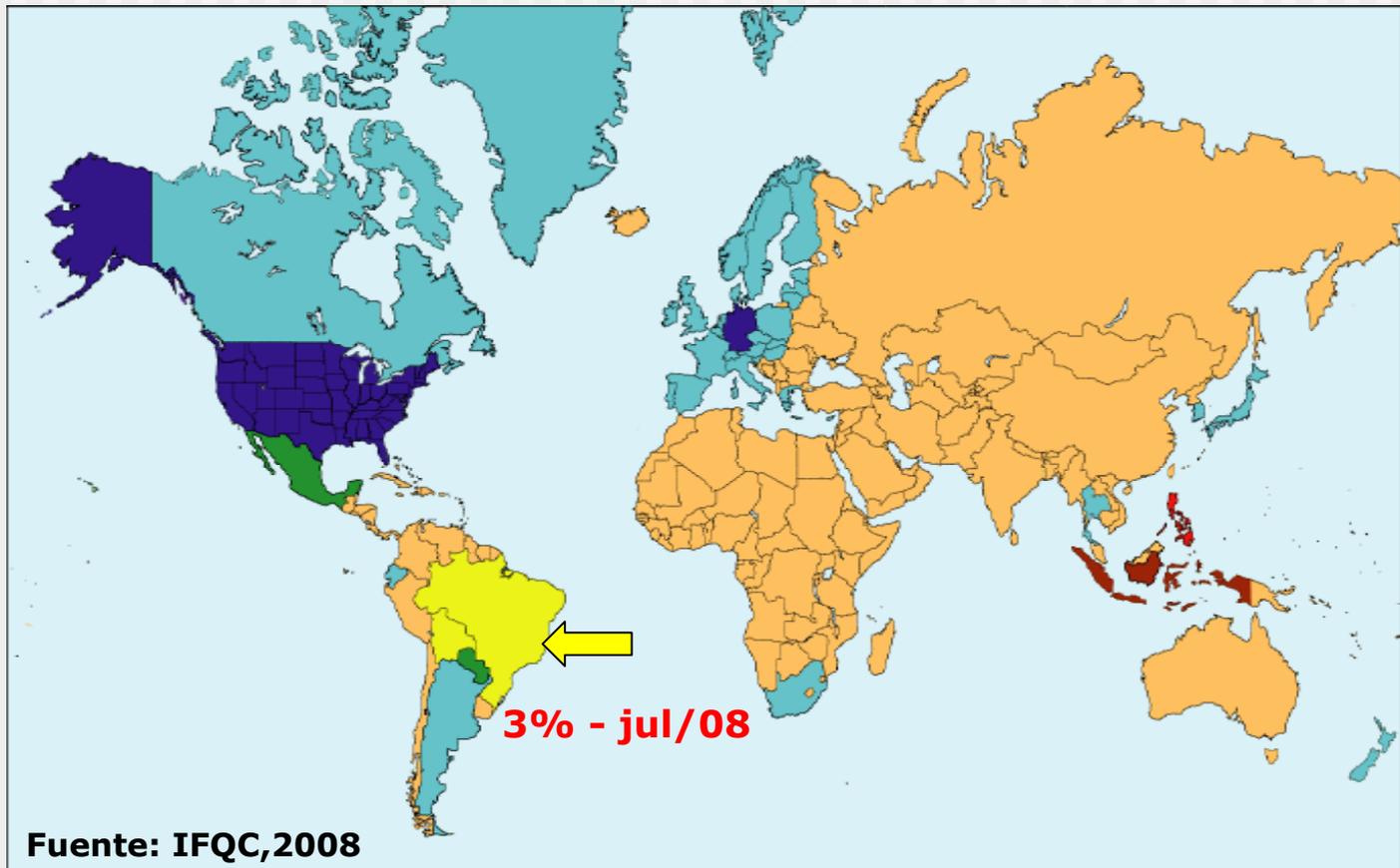
- Es un recurso renovable, biodegradable, y no tóxico.
- Por ser renovable, parte del dióxido de carbono emitido en la combustión no contribuye al efecto invernadero.
- Es oxigenado, lo que hace con que produzca menores emisiones de monóxido de carbono, de hidrocarburos y de humos.
- Requiere pocas o ningunas alteraciones en el motor
- Posee número de cetano alto y excelente lubricidad
- El manejo es más seguro, pues posee *flash point* muy alto
- Puede contribuir para reducir la dependencia de energía del país
- Puede contribuir para el desarrollo rural y industrial
- Puede generar oportunidades de empleo, especialmente en la agricultura
- Puede contribuir para la reducción de importaciones de diesel
- Puede ser elegible para proyectos de créditos de carbono

El biodiesel y los motores Diesel

Desventajas del uso de biodiesel:

- 8% menos energía por litro que el diesel. Efecto en potencia y consumo
- Produce emisiones de NOx un poco mayores.
- Es un buen solvente. Limpieza del sistema de combustible al cambiar
- Se oxida con más rapidez que el diesel. Almacenamiento
- Biodiesel viejo se torna ácido y forma sedimentos.
- Problemas en temperatura ambiente baja (punto de enturbamiento, obstrucción de filtros) para $T < 10^{\circ}\text{C}$.
- Problemas con algunos compuestos de caucho usados en conductos y vedas.
- Problemas con algunos tipos de materiales plásticos, con el cobre y sus ligas (bronce, etc.), plomo y zinc.
- Puede causar obstrucción de filtros: contaminantes (agua y sales alcalinos) o polimerización por oxidación. El biodiesel de calidad, almacenado con cuidado y que no esté viejo no presenta estos problemas.

El biodiesel y los motores Diesel

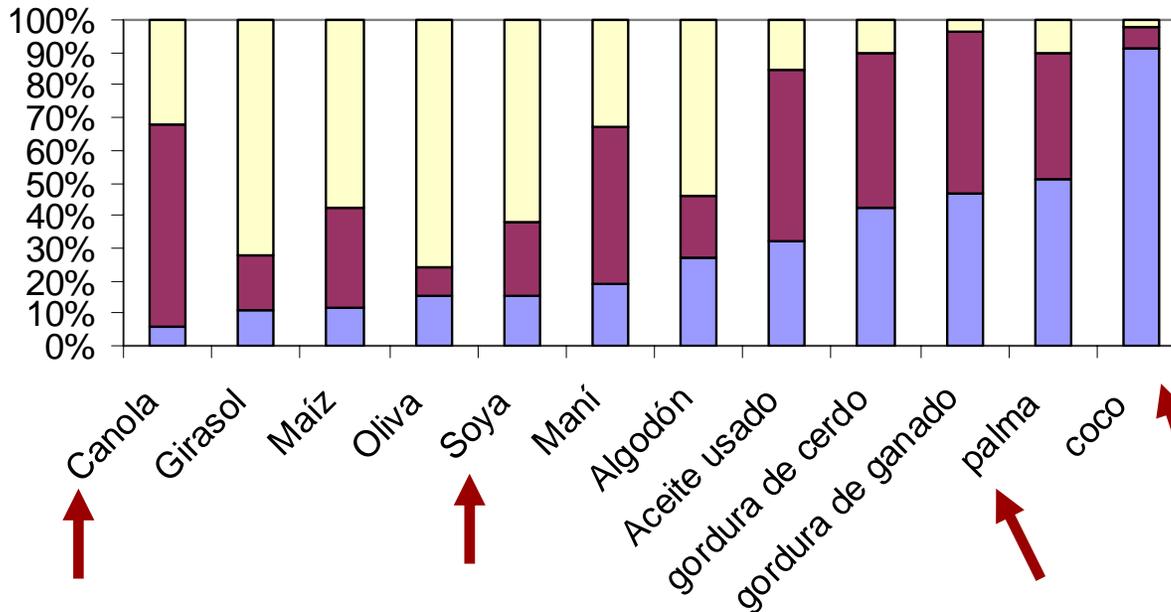


Pure Biodiesel	20 vol% max	10 vol% max	5 vol% max
2 vol% max	1 vol% max	No blends or data not available	

El biodiesel y los motores Diesel

Efecto de la materia prima en la calidad del biodiesel

	Saturados	Mono-Insaturados	Poli-insaturados
Ácido graso	C12:0 a C22:0	C16:1 a C22:1	C18:2; C18:3
Número de cetano	Alto	Medio	Bajo
Punto de enturbamiento	Alto	Medio	Bajo
Estabilidad	Alto	Medio	Bajo

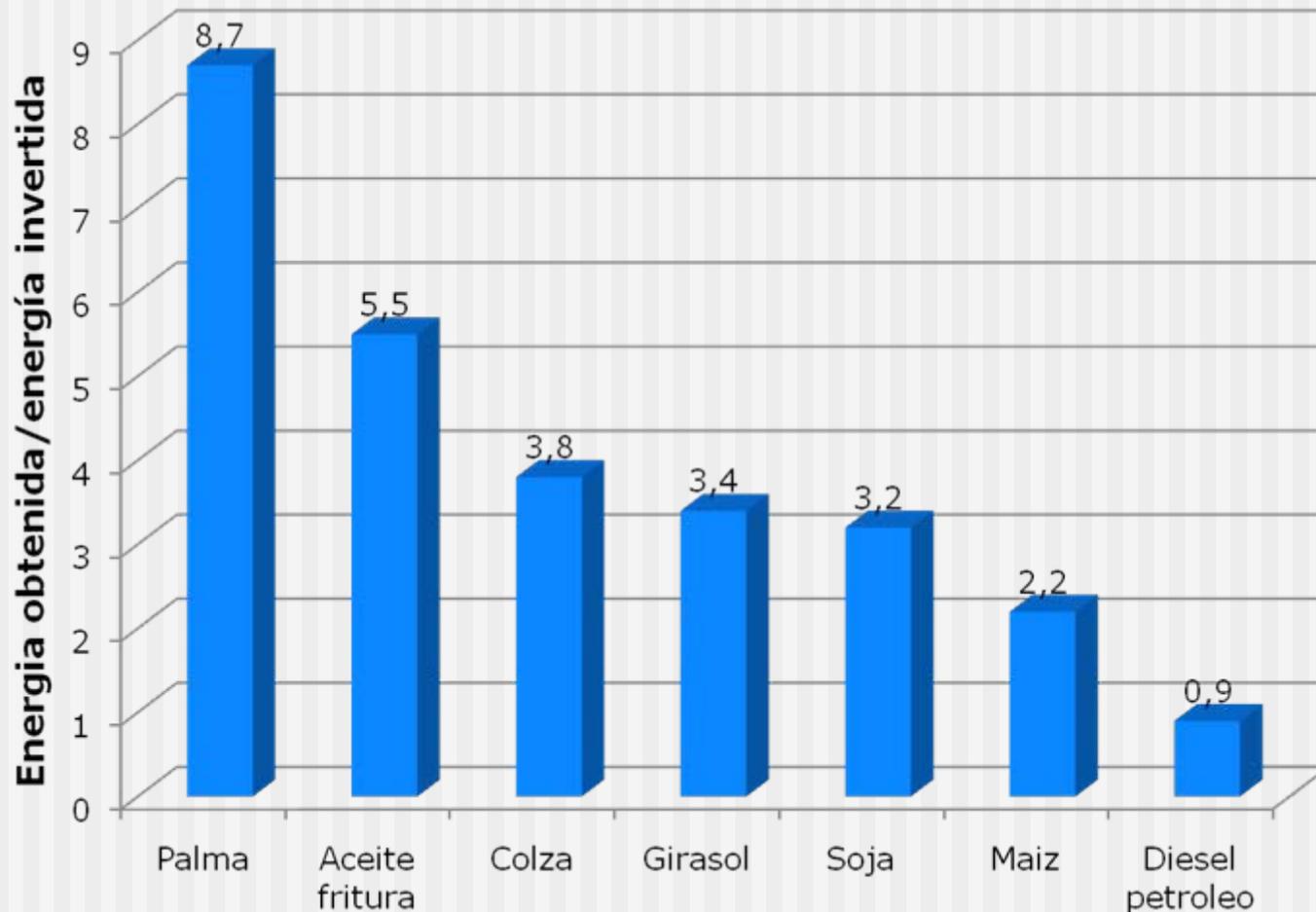


Fuente: USDOE, 2006

Saturados
 Mono insaturados
 Poli-insaturados

El biodiesel y los motores Diesel

Efecto de la materia prima en el balance energético



El biodiesel y los motores Diesel

Efectos ambientales del biodiesel

Contaminantes locales:

El oxígeno del biodiesel:

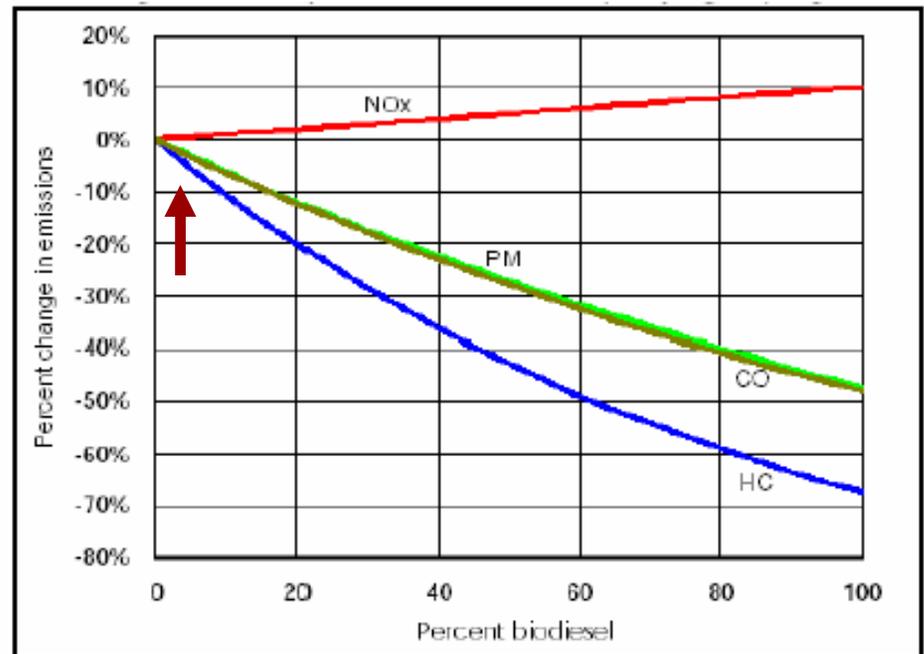
- Oxida los HC, CO y MP
- Oxida el nitrógeno

Contaminantes de efecto invernadero:

- El CO₂ producido en parte es de origen renovable

Glicerina: solución o problema?

REDUCCIÓN DE EMISIONES DE CONTAMINANTES. BASE: DIESEL



Fuente: EPA, 2002 a comprehensive analysis of biodiesel impacts on exhaust emissions. United States Environmental Protection Agency, Report EPA-420-02-00, October.

Proceso de producción de biodiesel

NOVAOL, LIVORNO, ITÁLIA – USINA DE BIODIESEL

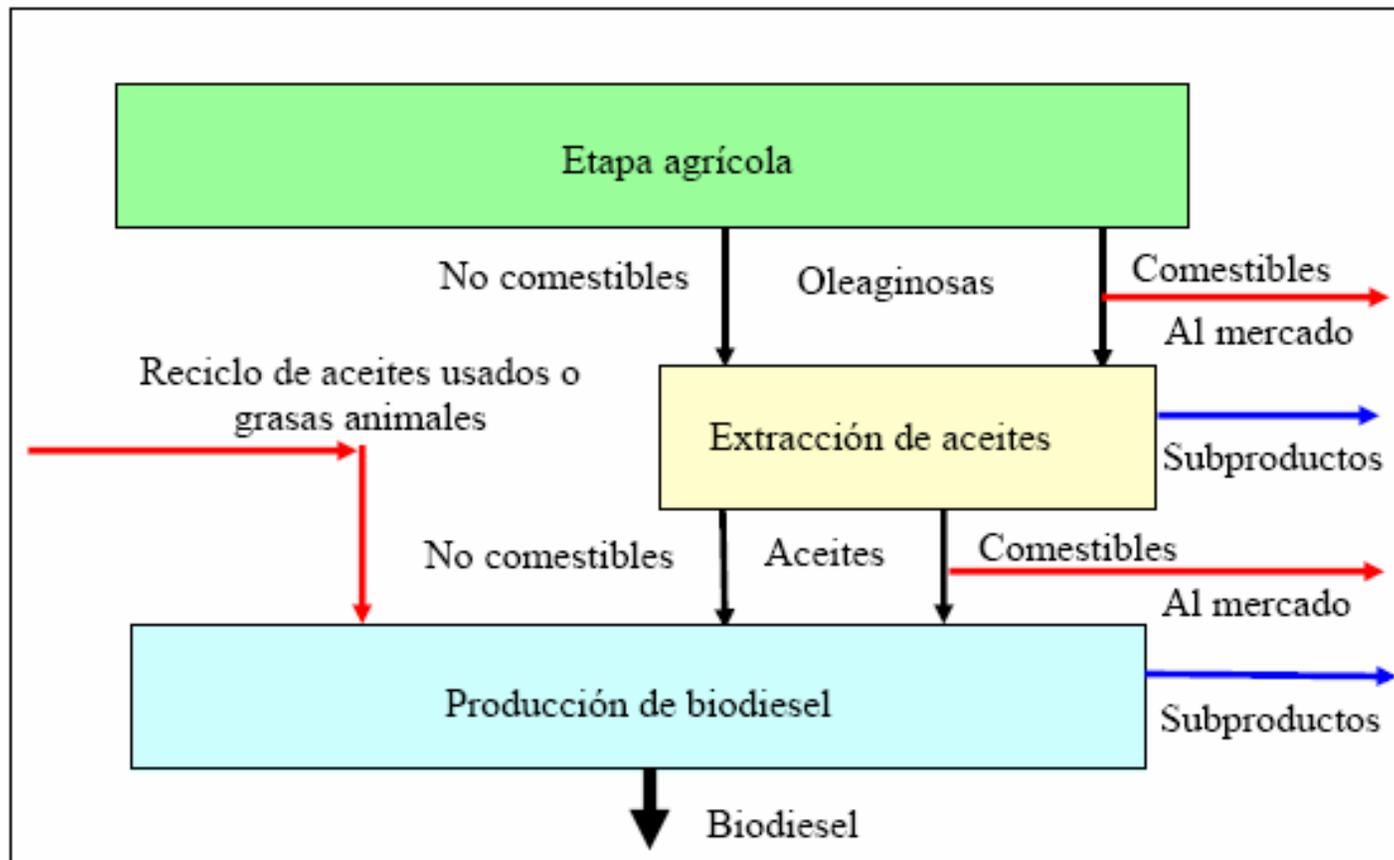


**TECNOLOGIA
BALLESTRA S.p.A.**



Proceso de producción de biodiesel

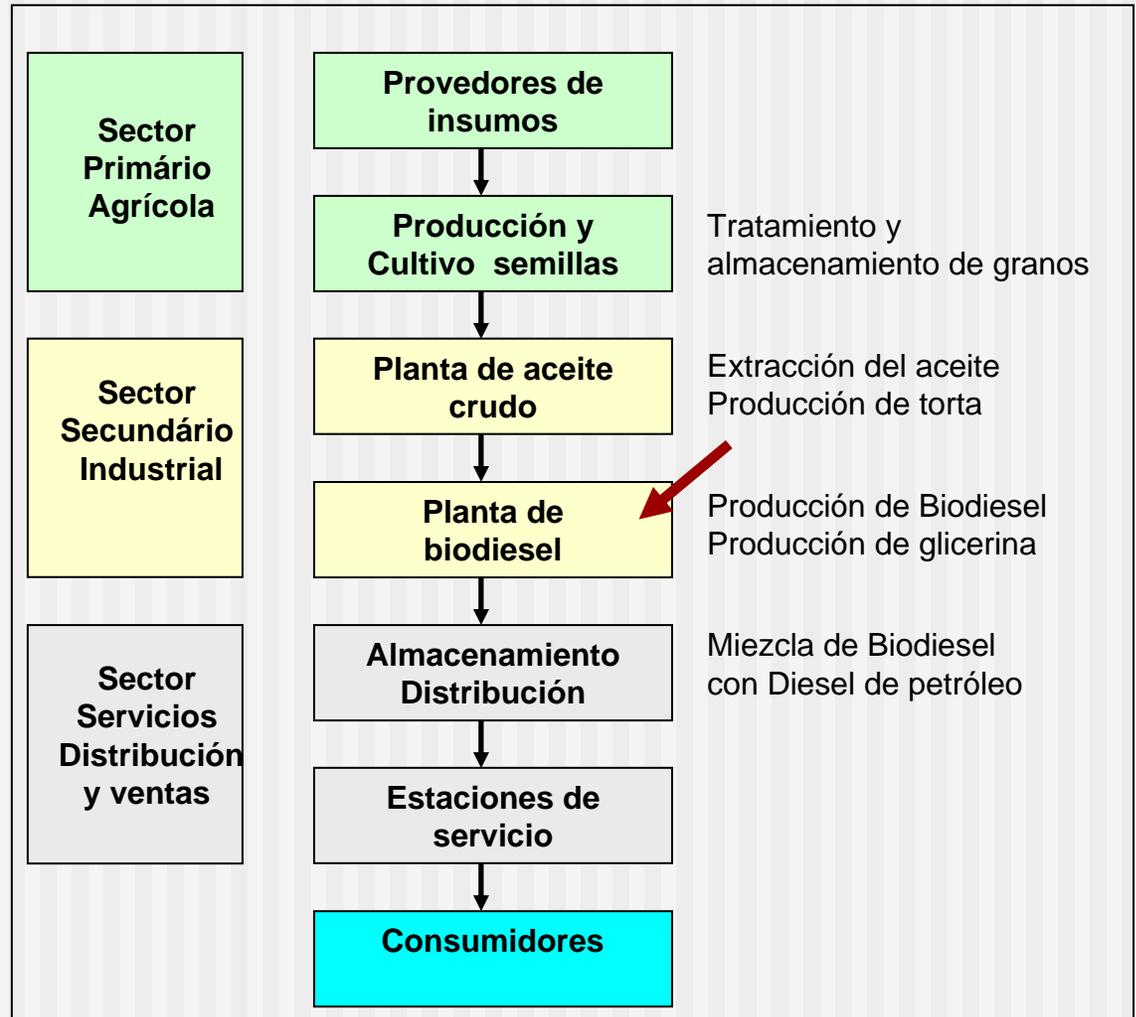
COMPETENCIA ENTRE USOS ALIMENTICIOS O NO ALIMENTICIOS



Fuente: Elaboración propia

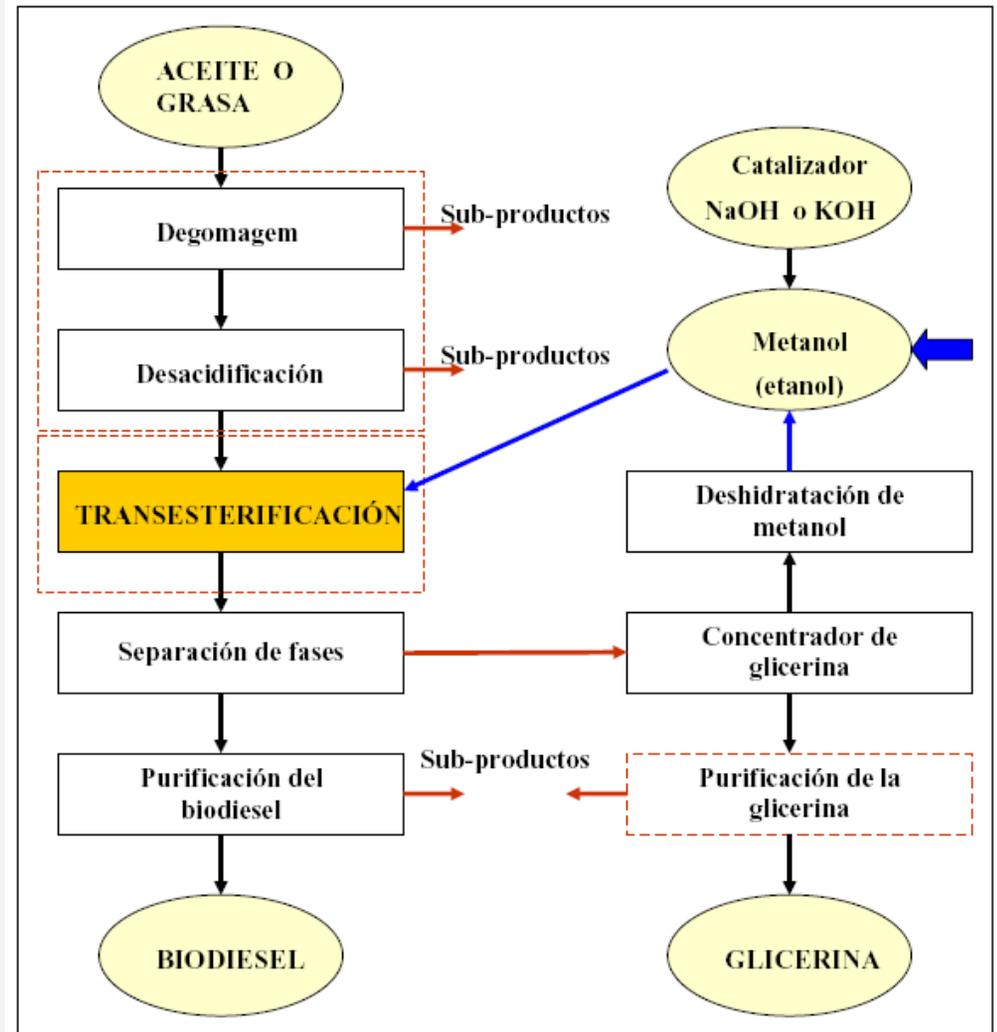
Proceso de producción de biodiesel

Programa de biodiesel
Muchos actores, con diferentes vocaciones y expectativas:
Inversionistas,
agricultores,
industriales,
comerciantes y
consumidores

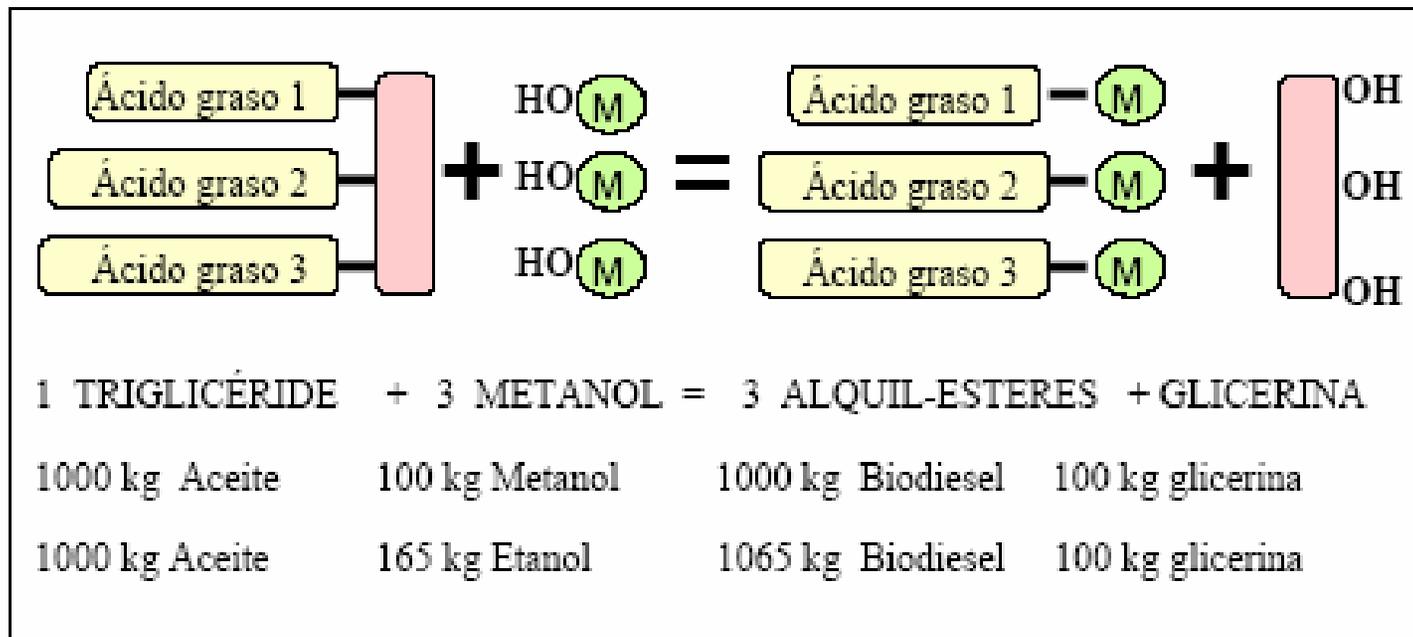


Proceso de producción de biodiesel

- Preparación del aceite
- Preparación del metanol c/ catalizador
- Reacción del aceite o grasa con metanol y catalizador
- Separación de fases →
- Purificación del biodiesel
- Recuperación de metanol
- Sub-productos
- Glicerina



Proceso de producción de biodiesel



Se puede hacer en cualquier laboratorio **PERO**

Falsa simplicidad: manoseo de metanol, purificación del biodiesel, recuperación de metanol, tratamiento adecuado para los sub-productos, volúmenes de glicerina y su venta

Proceso de producción de biodiesel

BIODIESEL: ¿ETANOL O METANOL?

Propiedad	Ester metílico	Ester etílico
Conversión aceite \rightarrow biodiesel	97,5%	94,3%
Glicerina total en el biodiesel	0,87%	1,40%
Viscosidad a 40 C	3,9 a 5,6 cSt	4,2 a 6,0 cSt
Tiempo de reacción	Menor	mayor
Δ potencia (relación al diesel)	2,5% menor	4% menor
Δ consumo (relación a diesel)	10% mayor	12% mayor

Fuente: Schuchardt y otros, 1998.

Desde el punto de vista ambiental, el empleo de etanol de origen vegetal es más interesante. El metanol es producido a partir de materias prima fósiles.

Proceso de producción de biodiesel

EMPRESAS QUE FABRICAN EQUIPOS PARA BIODIESEL.

Empresa – país	Ramo de actuación	Plantas en operación	Capacidad mil t/año
Lurgi AG - Alemania	Petroquímica, aceites	38	40 – 250
Savoia Power – Argentina	Biodiesel	30	0,25 – 1
Flowtec – Brasil	Equipos industriales	30 ^a	0,1 – 0,3 batelada 4 – 13 continuo
DesmetBallestra – Italia	Oleoquímica	19	10-100
BioDiesel Int. – Austria	Biodiesel	14	5 – 50
BioDieselTech/ BDT- Aust.	Biodiesel	10	3 – 7
Dedini S.A. – Brasil	Equipos azúcar/ alc.	5	20-100
Biodiesel Industries - USA	Biodiesel	4	10
Energea – Austria	Biodiesel	3	40 – 250
Renewable Energy – USA	Biodiesel	3	36 – 90
Axens – IFP - Francia	Petróleo y petroquim.	3	20 – 100
Nova Biosources – USA	Biodiesel	1	33
JatroDiesel – USA	Biodiesel	1	3 – 6

Fuente: Sitios de Internet de cada empresa.

a/ Las referencias presentadas son las mismas que las de la Savoia Power.

Proceso de producción de biodiesel

ESPECIFICACIONES DE DIESEL Y BIODIESEL: EUA Y UE

Propiedad	Norma	Estados Unidos		Unión Europea	
		unidad	ASTM 975 – 04c diesel	ASTM 6751-03a biodiesel	EN 590: 2004 diesel
Flash point	°C		38 (n.1D) 52 (n.2D)	130	55 120
Agua y sedimentos	% vol		0,05	0,05	---
Agua (max)	mg/kg		---	---	200
Contaminación total (max.)	mg/kg		---	---	24
Destilación (90% o 85%EU)	°C		<288 (n.1) 282-338	<360	<350 ---
Viscosidad cinemática	mm ² /s		1,3 – 2,4 1,9 – 4,1	1,9-6,0	2,0 – 4,5 3,5- 5,0
Densidad	kg/m ³		---	---	820 - 845
Contenido de ésteres (mín)	%vol		---	---	< 5
Cenizas (% peso, max.)			0,01	---	0,01
Cenizas sulfatadas (% peso, max.)			---	0,02	---
Azufre (% peso, max.)			0,05 o 15ppm	0,05 o 15ppm	50 o 10 ppm
Corrosión al cobre			< n.3	< n.3	clase 1
Número de cetano (mín.)			40	47	51
Índice de cetano (mín.)			> 40	---	46
Aromaticidad (% vol max.)			35	---	---
PAH (% peso max.)			---	---	11
Uno de estos: Punto de enturbamiento CFPP / LTFT	°C,		regional	reportar	local & estación
Residuo de carbón (% peso max.)			0,15 (n.1) 0,35 (n.2)	0,05	0,30
Número de acidez	mg KOH/g		---	0,80	---
Estabilidad a la oxidación	horas		---	---	> 6
Glicerina libre (% peso max.)			---	0,020	---
Glicerina total (% peso max.)			---	0,240	---
Contenido de fósforo (% peso max)			---	0,001	---
Número de yodo			---	---	< 120
Metanol (% peso max)			---	---	0,20
Metil-linolenato (% peso max)			---	---	---
Ester poli-insaturados (% peso max)			---	---	1,0
Mono-glicéridos (% peso max)			---	---	0,80
Di-glicéridos (% peso max)			---	---	0,20
Triglicéridos (% peso max)			---	---	0,20
Na + K	mg/kg		---	---	5,0
Ca + Mg	mg/kg		---	---	5,0
Lubricidad	µm		< 520	---	< 460

Fuente: ASTM 6751 y EN 14241

Productores:

Laboratorio para evaluar las propiedades del producto

Mayoristas:

Garantizar la mantención de la calidad del biodiesel en el almacenamiento y distribución



Garantía de los motores y

Protección de consumidores

Proceso de producción de biodiesel

LAS CARACTERÍSTICAS DEL BIODIESEL Y PROBLEMAS EN LOS MOTORES

Característica	Sistema de inyección	Motor y desempeño
Glicerina libre	Corrosión, sedimentos, formación de barnices	Pérdida de potencia, aumento de humos, sin arranque
Álcalis (Na, K, Ca, Mg)	Sedimentos; falla de la pompa y del inyector	Pérdida de potencia, aumento de humos, sin arranque, falla total del motor
Clima frío (viscosidad)	Durabilidad del sistema de inyección, atomización precaria	Sin arranque, parada total del motor
Polímeros insolubles (gomas, borras) ^a de oxidación	Obstrucción de filtros, depósitos en el sistema, desgaste de componentes, <i>coking</i> del inyector	Pérdida de potencia, aumento de emisión de humos, sin arranque, parada total del motor
Polímeros solubles (oxidación)	Formación de resinas	Parada total del motor; sin arranque
Ácidos grasos libres (oxidación)	Corrosión de metales; formación de jabones con metales	Pérdida de potencia, aumento de emisión de humos, parada total del motor, sin arranque
Peróxidos (oxidación)	Fragilización de elastómeros	Vertimiento de combustible, pérdida de potencia
Metanol libre	Corrosión de aluminio y zinc.	Pérdida de potencia, bajo flash point (inflamabilidad)
Agua en el biodiesel	Reversión de ésteres a ácidos grasos; formación de jabones; obstrucción de filtros	Pérdida de potencia, sin arranque, parada total del motor

Fuente: Bosch, 2006, Nigro, 2001

a/ Sedimento espeso aglutinado, material con consistencia gelatinosa.

Proceso de producción de biodiesel

Los **puntos críticos** para un proceso de obtención de biodiesel de alta calidad para uso en los motores diesel son:

- Garantizar la reacción completa hasta el éster mono alquilado.
- Hacer buena remoción de la glicerina libre.
- Remover el catalizador residual de la fase de biodiesel.
- Remover el metanol de la fase de biodiesel.
- Garantizar la ausencia de ácidos grasos libres en el biodiesel.
- Hacer buena gestión de la glicerina y otros sub-productos

La logística y la distribución



La logística y la distribución

Logística

“Es el proceso de planeamiento, implementación y control del flujo y almacenamiento eficientes y efectivos de mercancías, servicios y informaciones relacionadas, desde el punto de origen hasta el punto de consumo con el objetivo de atender a las necesidades del cliente.”

La logística y la distribución

Indicadores de desempeño de la buena logística

- Índices de perdidas en la almacenaje
- Índices de perdidas en los diversos modales de transportes
- Tiempos de carga y descarga de camiones
- Productividad de la flota
- Niveles óptimos de estoques
- Tiempos de ciclos
- Niveles de servicio en el atendimento de los pedidos
- Índice de no conformidad en la calidad de los productos
- Pesquisa de satisfacción de clientes

La logística y la distribución

Almacenaje y estoques:

- **grandes volúmenes (refinerías, terminales marítimos, bases primarias, usinas)**
- **volúmenes operacionales en distribuidores mayoristas: una o dos semanas (bases secundarias)**

Terminal de almacenamiento



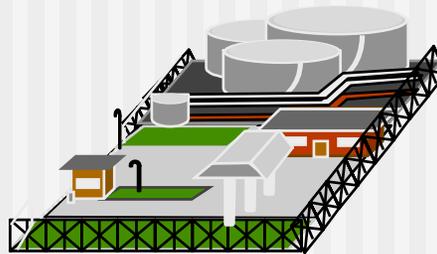
La logística y la distribución



Base primaria: grandes volúmenes



Base secundaria: pequeños volúmenes



**Centro Colector
de alcohol - Brasil**

La logística y la distribución



Volume transportado

**REFINARIA+
USINAS**

Navio 48%
Duto 41%
Rodo 11%

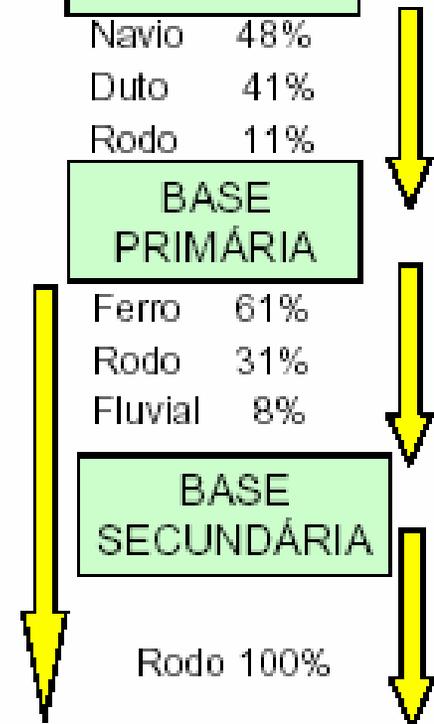
**BASE
PRIMÁRIA**

Ferro 61%
Rodo 31%
Fluvial 8%

**BASE
SECUNDÁRIA**

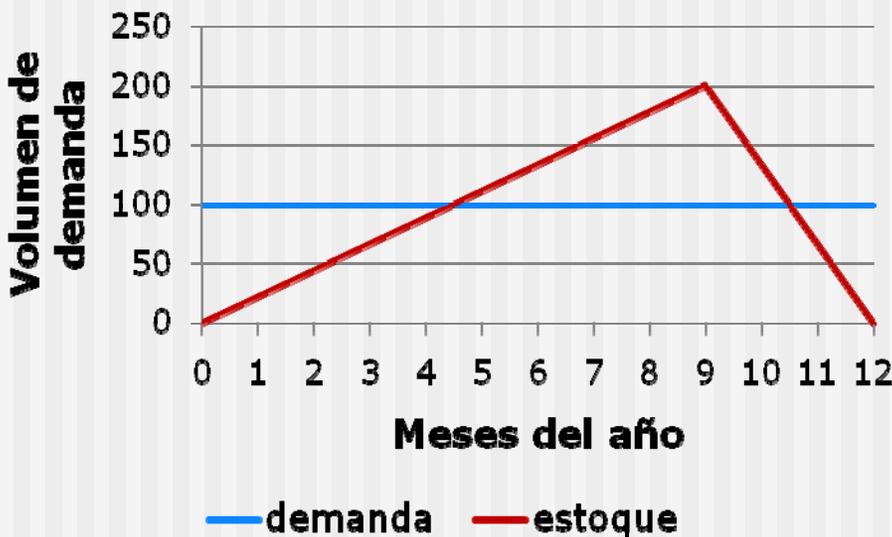
Rodo 100%

MERCADO



La logística y la distribución

- La producción de etanol debe acompañar el ciclo de la caña. En Brasil, el ciclo de la caña es de abril a noviembre en el Centro-Sur, y de agosto a abril en el Nordeste.
- Es necesario, entonces, trabajar con estoques de etanol para atender a la demanda anual, en los períodos en que no hay producción, o en que la producción es pequeña frente a la demanda. De forma sencilla:



El estoque debe crecer durante la zafra, de manera a atender la demanda en el período fuera de zafra.

La logística y la distribución

Los centros colectores de alcohol



La logística y la distribución

- El caso del biodiesel presenta pocos problemas de estoque, pues:
 - Palma: producción de frutos durante todo el año. Aceite debe ser producido hasta 3 días después de la coleta de los frutos. La producción de biodiesel puede ocurrir todo el año.
 - Soja: la producción es de pocos meses, pero la semilla y el aceite pueden ser almacenados. La producción de biodiesel puede ocurrir todo el año.
 - Colza: la producción es de pocos meses, y el aceite debe ser producido inmediatamente. El aceite puede ser almacenado, y el biodiesel puede ser producido todo el año.
 - Otras materias primas: mismo cuando el aceite debe ser retirado rápidamente de las semillas o frutos, el aceite puede ser almacenado. Los aceites saturados son los más estables

La logística y la distribución

Transporte:

- **Modales: por ducto, por buques o balsas, por ferrocarriles, o por carreteras**
- **Cada tipo de transporte tiene ventajas y desventajas a tomar en cuenta**



La logística y la distribución

Cuestiones críticas de los modales:

Ductos	Grandes inversiones, trayecto, solo para grandes volúmenes
Marítimo	Infra-estructura de apoyo, terminales intermodales, disponibilidad en regiones poco desarrolladas, áreas portuarias, riesgos ambientales
Ferrocarril	Extensión del sistema existente, existencia de diversos ferrocarriles diversos, tiempo del trayecto
Carretera	Frota de camiones vieja, baja eficiencia, conservación de las carreteras

La logística y la distribución

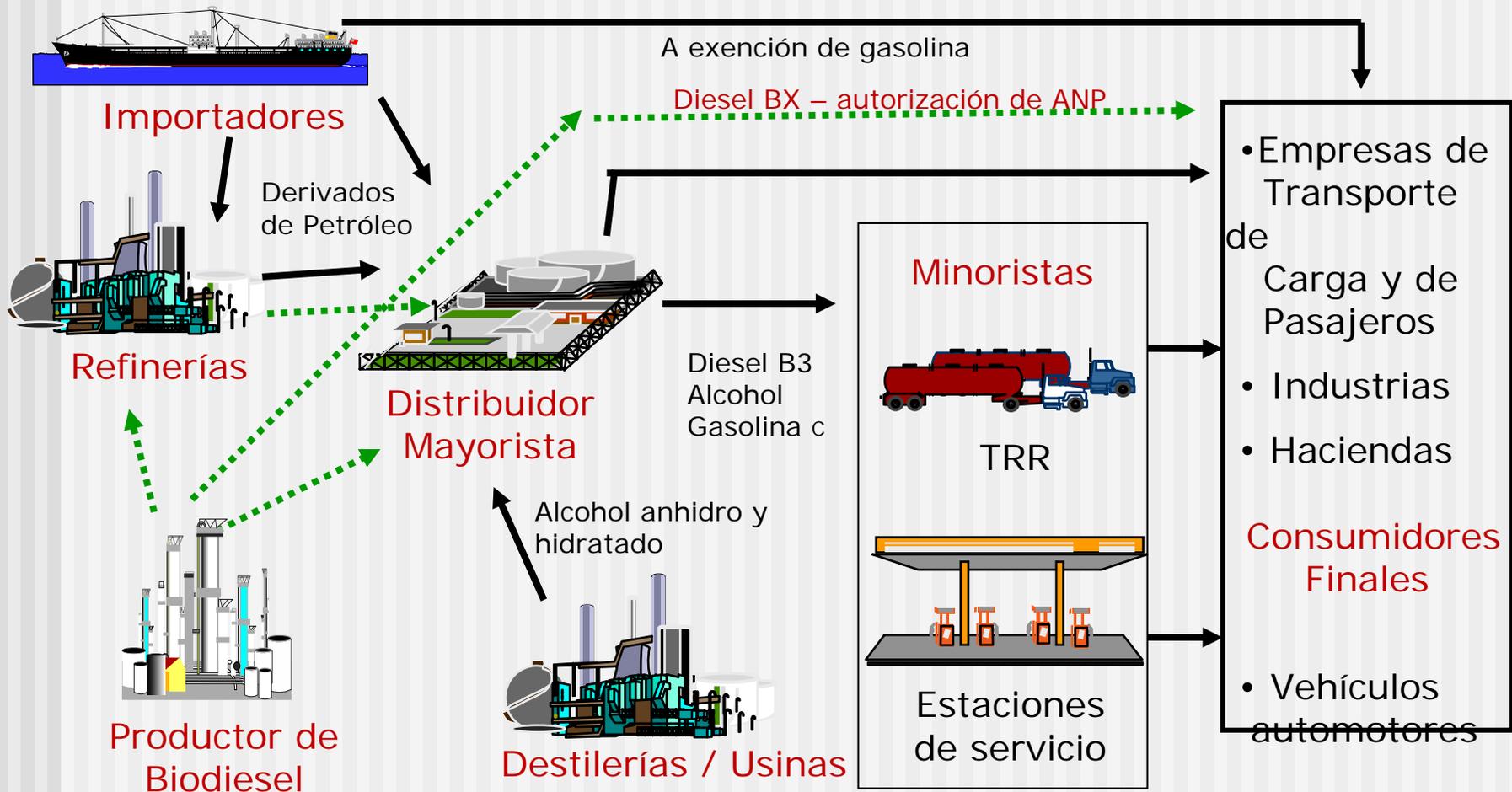
El uso de más de un modal de transporte:

Transporte intermodal: es la integración de los servicios de más de un modo de transporte, con emisión de documentos independientes, donde cada transportador asume responsabilidad por su transporte. Es utilizado para que determinada carga va en el trayecto entre el remitente y su destinatario, empleando más de uno modal existentes, con la responsabilidad del embarcador.

Transporte multimodal: es la integración de los servicios de más de un modo de transporte, utilizado para que determinada carga va en el trayecto entre el remitente y su destinatario, empleando diversos modales existentes, pero con la emisión de un solo conocimiento de transporte por un único responsable pelo transporte, que es el OTM – operador de transporte multimodal.

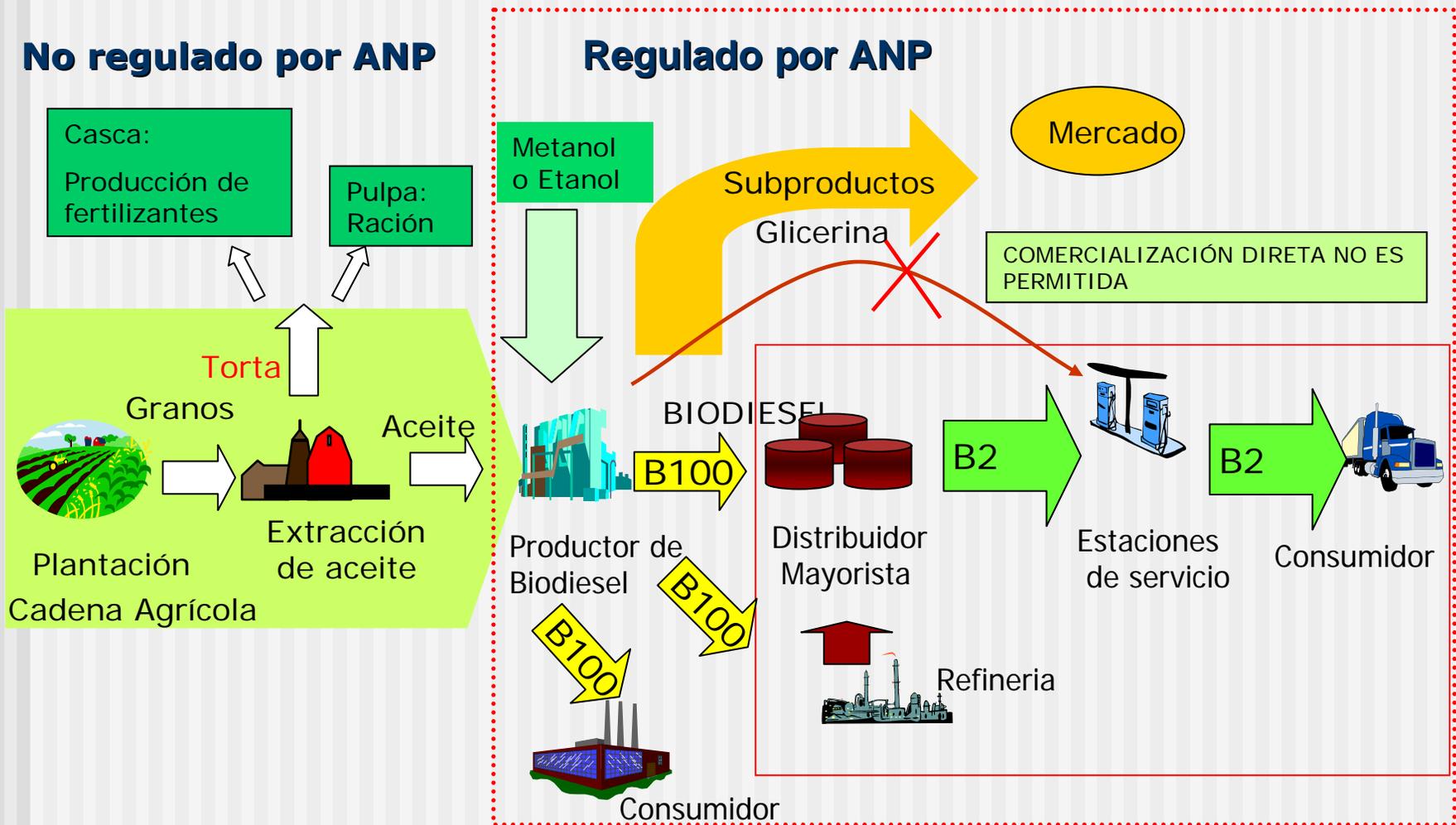
La logística y la distribución

El caso de Brasil: modelo de abastecimiento



La logística y la distribución

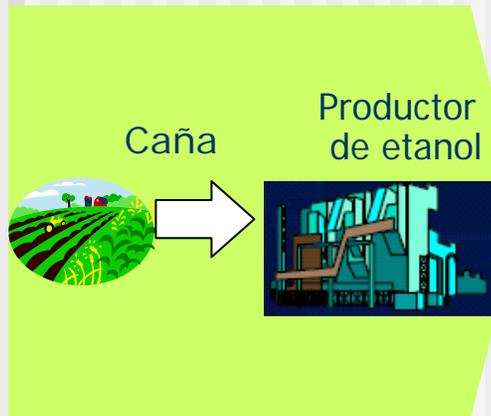
El caso de Brasil: biodiesel



La logística y la distribución

El caso de Brasil: etanol

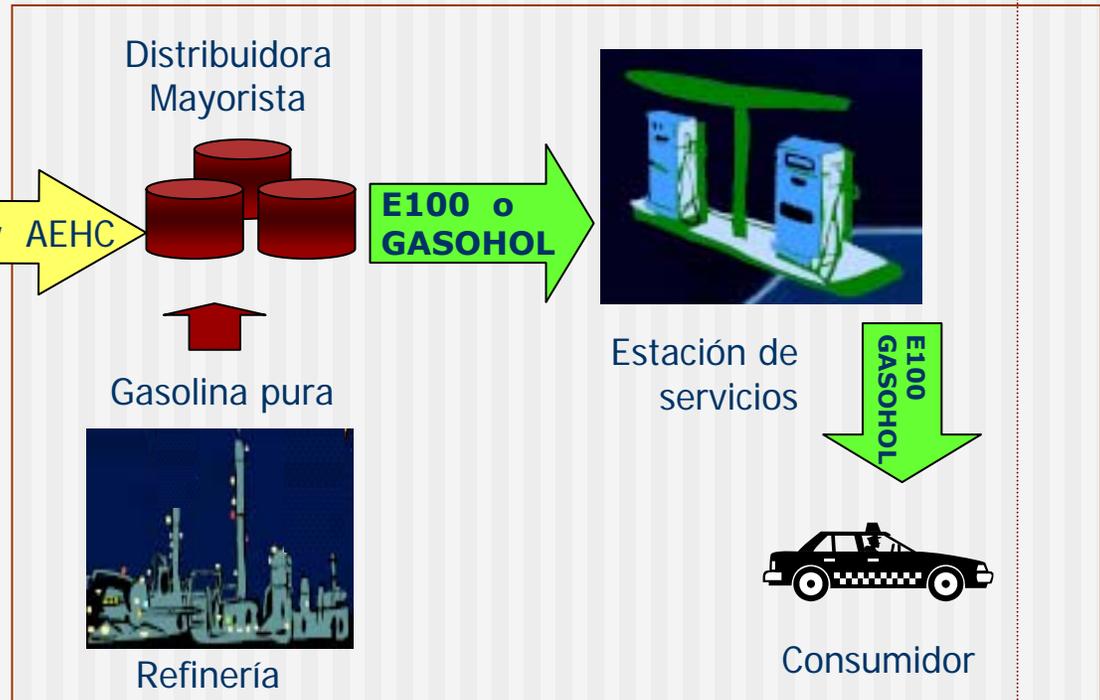
No regulado por ANP



Cadena agroindustrial

Regulado por ANP

Solo los mayoristas pueden hacer la mezcla de etanol y gasolina



La logística y la distribución

Logística propuesta para exportación de etanol



La logística y la distribución

Regulación del abastecimiento en Brasil

Etanol combustible

- Ley 11.097/ 2005 - Define las atribuciones de ANP con respecto a los biocombustibles, incluyendo los procesos de autorización para todas las actividades relacionadas al abastecimiento de etanol, con el objetivo de garantizar la calidad y el adecuado suministro al mercado.
- Portaria ANP 202/1999 – Regula las actividades de distribución mayorista.
- Resolución ANP 116/ 2000 – Regula las actividades de las estaciones de servicio.
- Resolución ANP 36/2005 – Define las especificaciones de calidad para el etanol anhidro y hidratado para uso combustible en vehículos. Establece aún la coloración obligatoria del etanol anhidro.
- Resolución ANP 5/ 2006 – Registro electrónico de las plantas productoras de etanol combustible. Envío de datos mensales de comercialización, y reglas de comercialización.
- Resolución ANP 7/ 2007 – Limita operaciones entre mayoristas y garante la preservación de marcas comerciales.

La logística y la distribución

Regulación del abastecimiento en Brasil

Biodiesel

- Ley 11.097/ 2005 – Introduce el biodiesel en la matriz energética de Brasil y define las atribuciones de ANP con relación a los biocombustibles
- Resolución CNPE 5/2007 – establece la adquisición de biodiesel por intermedio de subastas públicas conducidos por la ANP.
- Resoluciones 284/ 2007 y 301/2007 del MME – Definen las políticas para la implementación de las subastas a ser conducidas por la ANP.
- Resolución ANP 33/2007 – Establece las cantidades mínimas de biodiesel a ser adquiridas por subastas públicas para el año de 2008.
- Resolución CNPE 2/ 2008 – Altera el porcentaje mínimo de biodiesel para 3% a partir de julio de 2008.
- Resolución ANP 07/2008 – Establece las especificaciones de calidad del biodiesel.