

# vt

informe de vigilancia tecnológica

# mi+d

vt  
4

## biocarburantes líquidos: biodiésel y bioetanol

*Juan Manuel García Camús*  
*José Ángel García Laborda*

# vt

informe de **vigilancia** tecnológica

# mi+d

**biocarburantes  
líquidos:  
biodiésel  
y bioetanol**

*Juan Manuel García Camús*

*José Ángel García Laborda*

[www.madrinasd.org](http://www.madrinasd.org)

**citme**  
círculo de innovación en tecnologías medioambientales y energía  
madrid

**CEIM**  
CONFEDERACIÓN EMPRESARIAL DE MADRID - CEOE

  
**Comunidad de Madrid**  
CONSEJERÍA DE EDUCACIÓN  
Dirección General de Universidades e Investigación

Descargado de [www.navigativa.com](http://www.navigativa.com)

*Colección dirigida por:*  
José de la Sota Rius

*Colección coordinada por:*  
Fundación para el conocimiento madri+d  
CEIM



Este informe ha sido realizado por el equipo de la Universidad Rey Juan Carlos del Círculo de Innovación en Tecnologías Medioambientales y Energía (CITME). El CITME es una iniciativa gestionada por la Universidad de Alcalá, la Universidad Rey Juan Carlos y el CIEMAT dentro del IV Programa Regional de Ciencia y Tecnología de la Consejería de Educación de la Comunidad de Madrid.

Los autores agradecen la ayuda prestada en la elaboración del libro al Dr. Juan Antonio Cabrera Jiménez del Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT), al Profesor David Serrano Granados y a la Dra. Gemma Vicente Crespo del Departamento de Tecnología Química y Ambiental de la Universidad Rey Juan Carlos cuyas aportaciones y revisión han sido de gran valor para el contenido del mismo.

Todos los derechos están reservados. Se autoriza la reproducción total o parcial de este informe con fines educativos, divulgativos y no comerciales citando la fuente. La reproducción para otros fines está expresamente prohibida sin el permiso de los propietarios del copyright.

- © De los textos: Los autores
- © De la colección «vtb» y de la presente edición:  
CEIM  
Dirección General de Universidades e Investigación

Diseño: base12 diseño y comunicación s.l.

Ilustraciones: Los autores

Impresión: Elecé Industria Gráfica

Depósito Legal: M-30985-2006

5	PRESENTACIÓN
9	CAPÍTULO 1 Resumen ejecutivo
13	CAPÍTULO 2 Introducción y objetivo del informe
21	CAPÍTULO 3 Marco general y regulatorio
31	CAPÍTULO 4 Biodiésel
	4.1. Definición y especificaciones del biodiésel (PÁG. 32)
	4.2. Materias primas para la producción de biodiésel (PÁG. 35)
	4.3. Reacciones en la producción de biodiésel (PÁG. 40)
	4.4. Procesos en la producción industrial de biodiésel (PÁG. 49)
	4.5. Aplicaciones (PÁG. 55)
	4.6. Producción de biodiésel (PÁG. 65)
73	CAPÍTULO 5 Bioetanol
	5.1. Producción de bioetanol (PÁG. 76)
	5.2. Bioetanol como combustible (PÁG. 85)
	5.3. El bioetanol como aditivo de las gasolinas: ETBE (PÁG. 87)
	5.4. Aditivo de mejora de la ignición en motores diesel (PÁG. 88)
	5.5. Pilas de combustible (PÁG. 89)
	5.6. Barreras en el uso del bioetanol (PÁG. 90)
	5.7. Producción de bioetanol (PÁG. 91)
97	CAPÍTULO 6 Normativa
	6.1. Reforma de la Política Agraria Común (PAC) (PÁG. 100)
105	CAPÍTULO 7 Empresas con proyectos de biocarburantes
109	CAPÍTULO 8 Patentes en biocarburantes
115	CAPÍTULO 9 Referencias
119	CAPÍTULO 10 Glosario



## PRESENTACIÓN

En el marco del Sistema madrildes, promovido por la Comunidad de Madrid, la Universidad Rey Juan Carlos viene desempeñando un activo papel en el ámbito de la vigilancia tecnológica en energía. Desde hace cinco años, las empresas madrileñas disponen de valiosos instrumentos (los Círculos de Innovación) que permiten anticiparse a las demandas tecnológicas del mercado y posicionarse adecuadamente en su entorno competitivo.

El panorama madrileño presenta un bien conocido déficit en producción energética, especialmente en comparación con el elevado consumo de la región. Ha de añadirse que el crecimiento de la demanda energética se sitúa alrededor del 5% anual, lo que supondrá duplicar el consumo en un plazo de 15 años. En su favor, nuestra comunidad concentra un importante número de científicos/tecnólogos, agrupados en más de cincuenta grupos de investigación trabajando específicamente en temas energéticos, muchos de ellos reconocidos a nivel internacional.

En este sentido, hemos querido dedicar una especial atención a la situación de la investigación en el campo de los biocombustibles, catalogados como fuente de energía renovables al proceder de diferentes formas de biomasa. Su nivel de contaminación es menor que otros combustibles tradicionales, dado que su combustión no produce compuestos de azufre y sus emisiones de dióxido de carbono netas son prácticamente nulas.

Se recogen en el presente trabajo aspectos tales como: el marco regulatorio, los objetivos de los biocarburantes en España, las tecnologías de producción de biodiésel y bioetanol así como sus aplicaciones al sector del transporte. No se olvida de los aspectos normativos y de la Política Agraria Común (PAC), de importancia decisiva para el futuro de

estos combustibles. Por último, se incluye un capítulo con la relación de las principales empresas españolas con proyectos de biocarburantes.

Se trata de una de las líneas prioritarias tanto a nivel nacional, y así se describe en el Plan de Energías Renovables en España 2005-2010, como a nivel europeo, ver el Libro Blanco sobre Energías Renovables de la Comisión Europea, que se integrará como uno de los elementos tructores de la actividad del futuro Instituto Madrileño de Estudios Avanzados en Energía (IMDEA Energía), una de las apuestas más significativas del gobierno regional recogida en el IV PRICIT.

En fin, espero que el presente Informe de Vigilancia Tecnológica “Biocarburantes líquidos: biodiésel y bioetanol” se reconozca como una aportación que la Universidad Rey Juan Carlos realiza a la divulgación de este tipo de tecnología, particularmente entre las empresas interesadas en nuevas formas de energía renovable.

**Rafael Van Grieken**

*Vicerrector de Investigación  
Universidad Rey Juan Carlos*



## CAPÍTULO 1

### Resumen ejecutivo

El sector del transporte representará en España el 37,5% del consumo final de energía durante el año 2006, en la Comunidad de Madrid representa el 51,14% del consumo final de energía y las estimaciones para el año 2012 (escenario eficiente) son del 47,64%. La contribución de los combustibles fósiles convencionales a las emisiones de CO<sub>2</sub> es muy relevante. En la Unión Europea (UE) el transporte es responsable del 21% de las emisiones de gases de efecto invernadero. Teniendo en cuenta los problemas de cambio climático, el continuado incremento de los precios del petróleo y sus derivados, así como una preocupación cada vez mayor por garantizar el suministro de fuentes de energía primaria como el petróleo, la utilización de biomasa, y en particular los biocarburantes, para usos energéticos tiene cada vez mayor interés. Los biocarburantes son un sustituto directo e inmediato para los combustibles líquidos utilizados en el transporte y pueden ser fácilmente integrados en los sistemas logísticos actualmente en operación. Reemplazar un porcentaje, por ejemplo, de gasóleo y gasolinas de automoción por biocombustibles (biodiésel o bioetanol) es el camino más simple en el sector del transporte. En la actualidad en la UE se producen 35 millones de m<sup>3</sup> de biocombustibles (bioetanol y biodiésel, principalmente). Esta cifra está muy alejada de los objetivos de la UE (Directiva 2003/30 de mayo 2003) que estaban fijados en el 2% del consumo de carburantes en la UE. El objetivo para el 2010 es alcanzar una penetración de mercado del 5,75%.

El sector del transporte en la UE representa más del 30% del total de consumo de energía y depende en un 98% de combustibles fósiles. El incremento de este sector es la principal causa de que la UE no cumpla con los objetivos y compromisos del Protocolo de Kyoto; se espera que el 90% del incremento de las emisiones de CO<sub>2</sub> entre 1990 y 2010 se atribuyan al sector del transporte [Biofuels Research Advisory Council UE, 2006].

La UE tiene un gran potencial para la producción de biocombustibles. La producción a finales del año 2005 de biocombustibles líquidos se situaba en la Europa de los 25 (UE 25) en cerca de 2 Mtep. Se estima que entre el 4% y el 13% del total de tierra destinada a agricultura en la UE será necesaria para producir la cantidad de biocombustibles para alcanzar el nivel de sustitución de los combustibles fósiles empleados en el transporte y lograr los objetivos marcados en la Directiva 2003/30/EC.

Para conseguir esto es necesario contar con una estrategia bien coordinada que fomente la producción de biocombustibles. En este sentido, un paso importante es la reciente comunicación de la Comisión donde se enumeran siete líneas de actuación que agrupan las medidas tomadas para promover la producción y uso de biocombustibles.

Se estima que para el año 2030 un cuarto de los combustibles empleados en el transporte provendrán de biocombustibles [Biofuels Research Advisory Council UE, 2006]. El desarrollo de los biocombustibles actuará como tractor y servirá para crear oportunidades y puestos de trabajo en sectores como el de los suministradores de biomasa, productores de biocombustibles y en el sector de la automoción.

A medio plazo se prevé un amplio desarrollo de los biocombustibles y para lograrlo es necesario dedicar recursos para la mejora de las tecnologías existentes, investigar y desarrollar a nivel comercial los llamados biocombustibles de segunda generación (a partir de biomasa lignocelulósica) y, por último invertir en el desarrollo de biorefinerías integradas a nivel industrial.

En cuanto a España, nuestro país es el primer productor europeo de etanol, debido a la producción de etil-tercbutil éter (ETBE) que se utiliza como aditivo en la gasolina. Sin embargo en relación al biodiésel, los indicadores señalan que, al contrario que en el resto de la UE y a pesar que hay varias plantas de producción de biodiésel y otras están en fase de construcción o estudio, lo cual indica el esfuerzo que se está realizando en nuestro país, está retrasado en sus objetivos. Según datos de 2004 la producción de biodiésel en España se sitúa en 15.000 Tm/año, muy lejos de los datos del primer productor Europeo (Alemania con 1.035.000 Tm/año).

El mercado existente para los cereales, su precio actual y las exenciones fiscales hacen económicamente rentable su utilización para la producción de etanol. Los cultivos de colza o girasol necesarios para obtención del biodiésel requieren mayor superficie, lo que presenta mayores dificultades para su desarrollo. La utilización de aceites usados es una alternativa muy atractiva que contribuye también a la eliminación de residuos, aunque requiere desarrollar una adecuada logística para su recogida.

Con todo ello, el futuro se presenta prometedor para ambos biocombustibles. En el caso del etanol, gracias a que se utiliza para producir ETBE es ya una opción de presente, situándose España a la cabeza de la producción mundial de este producto. En el caso del biodiésel, el potencial es también muy grande puesto que la UE tiene como objetivo pasar de una utilización de menos del 2% actual, hasta un 25% antes del 2030.

Por último y como muestra de la importancia que este área ha tomado en España en los últimos años, el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio ha concedido una subvención destinada a fomentar en el ámbito de biodiésel la cooperación estable público-privada en investigación, desarrollo e innovación, mediante la formación de consorcios estratégicos nacionales de investigación técnica (proyectos CENIT). El objetivo de este consorcio liderado por Repsol YPF S.A. es la investigación y el desarrollo sobre la obtención y utilización de biodiésel, minimizando el uso de combustibles fósiles y favoreciendo otras de origen renovable, reduciendo la dependencia energética y contribuyendo a la disminución de gases de efecto invernadero. El programa CENIT se enmarca dentro de las iniciativas del Plan Ingenio 2010.



## CAPÍTULO 2

### Introducción y objetivo del informe

El objeto de esta publicación es presentar el papel que los biocombustibles están jugando actualmente, el grado de la tecnología alcanzada y los trabajos que se están desarrollando en este campo.

Los biocombustibles son aquellos combustibles producidos a partir de la biomasa y que son considerados, por tanto, una energía renovable. Se pueden presentar tanto en forma sólida (residuos vegetales, fracción biodegradable de los residuos urbanos o industriales) como líquida (bioalcoholes, biodiésel) y gaseosa (biogás, hidrógeno).

Dentro de los biocombustibles, los biocarburantes abarcan al subgrupo caracterizado por la posibilidad de su aplicación a los actuales motores de combustión interna (motores diésel y Otto). Son, en general, de naturaleza líquida. Los biocarburantes en uso proceden de materias primas vegetales, a través de transformaciones biológicas y fisico-químicas. Actualmente se encuentran desarrollados principalmente dos tipos: el **biodiésel**, obtenido a partir de la transesterificación de aceites vegetales y grasas animales con un alcohol ligero, como metanol o etanol; y el **bioetanol**, obtenido fundamentalmente de semillas ricas en azúcares mediante fermentación. Con la caña de azúcar, la remolacha o el sorgo dulce, que contienen azúcares simples, se obtiene etanol por fermentación. Sin embargo, en otros cultivos, como los cereales o las batatas, la energía está almacenada en forma de carbohidratos más complejos como el almidón, que tiene que ser hidrolizado antes de su fermentación a bioetanol. Por su parte, hay que destacar el etil-tercetil éter (**ETBE**) producido a partir del bioetanol, ya que su utilización en motores presenta menos problemas que el propio bioetanol. En España, por ejemplo, todo el bioetanol se transforma en ETBE en las refinerías de petróleo siendo utilizado como aditivo de las gasolinas. La producción de todos estos combustibles está sujeta a amplias necesidades de terreno en el cultivo de sus materias primas.

En el área dedicada a biocarburantes del Plan de Fomento de las Energías Renovables 2000-2010, de 1999, se comentan las principales tendencias y aspectos para el desarrollo de un mercado de biocarburantes en España. Dicho documento establece, como previsión de cumplimiento de los objetivos energéticos, una producción y consumo totales de 500.000 toneladas equivalentes de petróleo (tep) para 2010, lo que supondría (según los cálculos de 1999) el 1,8% de las previsiones de consumo de combustibles para el transporte.

El objetivo fijado por la Unión Europea y por el Gobierno de España, de alcanzar en el año 2010 que un 5,75% de los carburantes sean ecológicos, es un reto difícil de obtener, dado que con los datos actuales para conseguirlo se debería multiplicar por 10 el uso de estos biocarburantes antes de cinco años. Sin embargo, las expectativas de futuro para estos combustibles son muy prometedoras teniendo en cuenta el gran potencial de producción de biocarburantes en la UE, donde se prevé que del actual porcentaje de utilización, que no llega al 2%, se pase a que en el 2030 el 25% del porcentaje de combustibles empleados en el transporte provenga de biocarburantes.

En 2004 se produjeron en España 194.000 toneladas de etanol y 14.000 de biodiésel, los principales biocarburantes junto al aditivo etil-tercbutil éter (el ETBE) que se añade a la gasolina. Esta cantidad puede suministrar una energía equivalente a 228.000 toneladas de petróleo, pero supone menos del 1% del consumo total de carburantes. Para finales de 2005, en España tendría que haberse logrado que el 2% de los combustibles fuesen de origen vegetal, cifra que no ha sido posible alcanzar, según el Informe sobre el marco regulatorio de los biocarburantes elaborado por la Comisión Europea.

Sin embargo, España ocupa el primer lugar de Europa en producción de etanol, como se comenta en el documento y se puede observar en la tabla 1 del Biofuels Barómetro, publicado por EurObserver en junio de 2005.

	2003		2004	
	Producción de Etanol	Producción de ETBE	Producción de Etanol	Producción de ETBE
España	160.000	340.800	194.000	413.200
Francia	82.000	164.250	102.000	170.600
Suecia	52.000	0	52.000	0
Polonia	60.430	67.000	35.840	-
Alemania	0	0	20.000	42.500
Bioetanol vendido por la Comisión	70.320	-	87.200	-
<b>Total UE25</b>	<b>424.750</b>	<b>572.050</b>	<b>491.040</b>	<b>626.300</b>

TABLA 1 *Producción de Etanol y ETBE en 2003 y 2004. Fuente: EurObserver.*

Tal como se comentó anteriormente, la mayoría del bioetanol que se produce se transforma en ETBE, que se utiliza como aditivo en las gasolinas. Dado el importante esfuerzo realizado por el sector industrial creemos que debe resaltarse esta posición como ejemplo de resultados obtenidos en un área renovable.

Con respecto a los objetivos del Plan de Fomento, la producción de biocarburantes debería ser de 500 ktep en 2010, de los que 400 ktep corresponden al bioetanol. De acuerdo con el Boletín nº 7 del IDAE, publicado en septiembre de 2005, a finales del 2004 se había alcanzado un grado de cumplimiento del 45,4% respecto al Plan de Fomento, aunque ha sido muy desigual respecto a biodiésel y bioetanol.

El nuevo Plan de Energías Renovables 2005-2020 fija como objetivo alcanzar los 2,2 millones de tep, es decir multiplicar por cuatro el consumo previsto en el Plan de Fomento 2000-2010. Este Plan señala que en el 2010 el consumo de biocarburantes deberá ser del 5,83% del consumo de gasolina y gasóleo para el transporte, por encima de los objetivos de la Directiva 2003 de la UE que fija un 5,75% en el 2010.

Esto llevaría a tener que incrementar la producción de biocarburantes en el periodo 2005 – 2010 en 1.971.1800 tep, siempre según el Boletín del IDAE citado. Sumando este valor con la producción alcanzada en el 2004, representaría tener que producir 2.200 ktep en el 2010. El mayor objetivo sería elevar la producción de biodiésel en 1.221.800 tep, mientras que para el bioetanol serían necesarias 750.000 tep.

Con respecto a las medidas necesarias propuestas en el Plan, se cita expresamente la Política Agrícola Común (PAC) junto con el desarrollo de la logística de recogida de aceites vegetales usados y la aplicación de nuevas especies oleaginosas mejor adaptadas a nuestras características agronómicas. Se estima que entre el 4% y el 13% del total de tierra dedicada a agricultura en la UE sería necesaria para producir la cantidad de biocarburantes y alcanzar el grado de sustitución de combustibles fósiles requerido para el sector del transporte de acuerdo a la Directiva 2003/30/EC. La creación de un mercado europeo para biocarburantes ofrecerá una oportunidad tanto a España como a los nuevos Estados miembros y facilitará la absorción del sector agrícola dentro de la Política Agraria Común. La producción de biocarburantes representa una oportunidad para la economía europea. El desarrollo de nuevas tecnologías tendrá repercusión en crear nuevos puestos de trabajo en las áreas rurales. El balance de empleos de los biocarburantes de acuerdo con el borrador del Biofuels Research Advisory Council estima que se crearán 16 puestos de trabajo por cada ktep; cada 1% de proporción de biocarburantes respecto al total de combustibles fósiles significará la creación, antes del año 2030, de entre 45.000 y 75.000 puestos de trabajo en las áreas rurales.

En otro orden de cosas, actualmente los costes de los biocarburantes no son competitivos con los de los carburantes tradicionales, pero la aplicación de la Directiva 2003/30/CE permite anular el Impuesto Especial de Hidrocarburos al cual están sujetos el resto de carburantes; esto significa un gran apoyo al desarrollo de la tecnología de estos biocarburantes y a su implantación en un futuro cercano. Asimismo, la utilización de estos biocarburantes presenta ventajas medioambientales, como es el hecho de que estos biocombustibles emiten entre un 40% y un 80% menos de dióxido de carbono que los convencionales y no emiten dióxido de azufre (una sustancia que facilita la lluvia ácida) ni partículas y se disminuye la concentración de partículas en suspensión emitidas, de metales pesados, de monóxido de carbono, de hidrocarburos aromáticos policíclicos y de compuestos orgánicos volátiles.

Por otra parte, la incorporación de estos carburantes ecológicos también puede derivar ventajas socioeconómicas. Desde este punto de vista, los biocarburantes, tal y como se comentó anteriormente, constituyen una alternativa para aquellas tierras agrícolas afectas a la Política Agrícola Común (PAC). De esta forma, se fijaría la población en el ámbito rural, manteniendo los niveles de trabajo y renta, y fomentando la creación de diferentes industrias agrarias. La repercusión en la

agricultura de los biocarburantes es muy importante. En el documento *Implications of Increased Ethanol Production for U.S. Agriculture* [IIE] se refleja la relevancia que los mismos han tenido en Estados Unidos de América.

Asimismo, los biocombustibles son un instrumento muy útil para cumplir las políticas de lucha contra el cambio climático y de seguridad del suministro al reducir la dependencia del petróleo importado; basta comprobar que en el año 2006 el petróleo ha superado la barrera de los 70 \$ el barril de Brent.

A todos estos factores, conjuntamente con los estrictamente económicos, como pueden ser los costes de operación, la inversión y la capacidad de producción, hay que añadir otros como son el efecto invernadero, la repercusión social y el impacto de la producción de biomasa en el medio, entre otros factores.

Por todo ello, el futuro a corto plazo de los biocarburantes se presenta prometedor, siendo necesario incrementar de manera significativa la producción de biocarburantes mediante el uso de procesos innovadores, tecnologías y materias primas que sean competitivas y respetuosas con el medio ambiente.

En las tablas 2 y 3 se puede observar la situación actual en España dentro del sector de biocarburantes, de acuerdo a los datos del estudio de 2004 de Renovalia donde se recogen los equipamientos experimentales e infraestructuras existentes a día de hoy en España, identificándose las Universidades, Centros Tecnológicos y Organismos Públicos de Investigación que trabajan en este campo y las áreas generales de investigación en las que desarrollan su actividad.



	Centro tecnológico			Empresas			OPI	Universidades				
	CARDIF	CENER/CIEMAT	CIDAUT	ABENGOA BTOENERGIA	FACTOR VERDE	GUASCOR	REPSOL YPF	CIEMAT	CSIC	U. DE EXTREMADURA	U. DE JAÉN	U. REY JUAN CARLOS
<b>BIOCOMBUSTIBLES LÍQUIDOS</b>												
<i>Producción de biocombustibles</i>												
<b>Bioalcohol</b>												
Tecnologías de alta eficiencia en procesos químicos y fermentativos	X	X		X				X		X		X
Homologación para adaptación como carburantes				X			X					
Aprovisionamiento, metodologías de mezclado, dosificación y adaptación				X								
Recogida de residuos para su conversión en biocarburantes					X							
Otros												
<b>Biodiésel</b>												
Tecnologías de alta eficiencia en procesos químicos y fermentativos			X							X		X
Homologación para adaptación como carburantes			X	X			X					
Aprovisionamiento, metodologías de mezclado, dosificación y adaptación			X									
Recogida de residuos para su conversión en biocarburantes			X		X							
Otros	X							X				
<b>Otros</b>						X					X	

TABLA 3 *Estudio de la situación investigadora en el área de biocarburantes líquidos. RENOVALIA.*



## CAPÍTULO 3

### Marco general y regulatorio

Entre los sectores de actividad que tienen un mayor consumo final de energía, el sector del transporte es el que se presenta como más problemático en el futuro próximo, al ser el que más depende del petróleo.

Los carburantes que proceden del petróleo suponen el 98% de la demanda global de energía en el sector del transporte. La práctica total dependencia de estos combustibles no es lo más idóneo teniendo en cuenta las limitadas reservas del petróleo y que muchas de éstas se encuentran en zonas políticamente inestables. De esta manera se ha llegado a distorsiones en el precio del petróleo (superándose la cifra de 78 \$ por barril brent en 2006) con graves repercusiones en nuestra economía. La diversificación de fuentes primarias de energía se contempla como una obligación, siendo las fuentes de energía renovables y en particular los biocarburantes –puesto que otras tecnologías como el hidrógeno y la introducción en el sector transporte de las pilas de combustible se contemplan a más largo plazo- de especial interés.

De acuerdo al barómetro europeo de las energías renovables publicado por EurObservER, la biomasa es la de mayor aportación al consumo de energía primaria, con un total de 43 millones de toneladas equivalentes de petróleo en el 2003. La mayor parte se emplea para la obtención de calor, un 83%, mediante aparatos individuales, calefacción urbana o instalaciones colectivas, alimentados con briquetas de madera o los llamados pellets, madera triturada y compactada para conseguir mayor eficiencia. El resto se utiliza para la producción de electricidad.

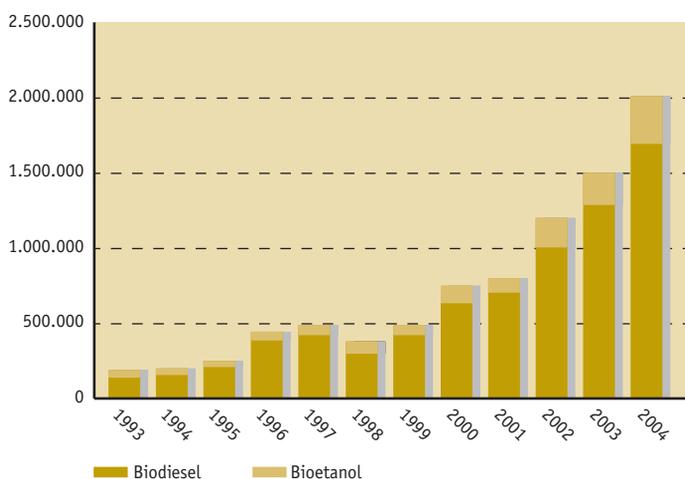
En el caso de España, en el 2003 la energía primaria procedente de la biomasa supuso 3,7 Mtep, con un crecimiento del 3,6% sobre el año anterior. Estos indicadores señalan que no se mantiene el ritmo de crecimiento necesario para alcanzar los objetivos fijados lo que implica la necesidad de intensificar los esfuerzos, tanto respecto a la penetración en el mercado como al desarrollo de las innovaciones tecnológicas necesarias.

La producción de 33 billones de litros en 2004 es pequeña comparada con los 1.200 billones de litros producidos de gasolina anualmente en el mundo. Brasil lleva siendo el primer productor y usuario de etanol como fuente de combustible durante los últimos 25 años, siendo EE.UU. el segundo gran productor y consumidor de este carburante. Otros países que producen y consumen etanol, ya a gran distancia de los anteriores, son Australia, Canadá, China, Colombia, República Dominicana, Francia, Alemania, etc.

En cuanto al biodiésel la producción total en 2004 se sitúa en 2 billones de litros, de los cuales más del 90% ha sido producido en la Unión Europea de los 25 países miembros (UE25). El crecimiento más significativo se ha producido en Alemania donde el biodiésel puro (B100) tiene una exención de impuestos del 100% y existe

una red de más de 1.500 estaciones distribuidoras de B100. Otros productores y consumidores significativos de biodiésel son Francia, Italia, Austria y España.

Los biocarburantes líquidos significaron en el año 2004 en la EU25 2.040 ktep, lo cual representa un 0,7% del mercado. El biodiésel y el bioetanol se utilizan en general mezclados con el diésel o la gasolina, siendo la mayor parte del bioetanol procesado y utilizado como ETBE. En la gráfica 1 se puede comprobar el aumento en la producción que se viene experimentando desde el año 1993 tanto en biodiésel como en bioetanol.



GRÁFICA 1 *Producción Biocarburantes en la UE desde 1993 (2004: UE25).*

Fuente: Euroobserver 2005.

Por otra parte, los principales compromisos para la reducción del efecto invernadero se adoptaron a través del Protocolo de Kyoto, donde la UE se comprometió a reducir en un 8% los niveles de emisiones de gases de efecto invernadero en el 2010 respecto a los valores de 1990.

Así, la Comisión Europea ha señalado como objetivo prioritario para los próximos años reducir la dependencia del petróleo mediante la introducción, entre otras tecnologías, de biocombustibles, pilas de hidrógeno, etc. y disminuir las emisiones de gases contaminantes. Los combustibles líquidos de origen agrícola (biocarburantes) se contemplan como la alternativa más clara y de mayor potencial frente a la utilización de gasolina o gasoil debido a su carácter renovable y su menor impacto ambiental.

De manera cronológica el marco general y regulatorio que afecta a los biocarburantes es el que a continuación se presenta de forma general:

- La Comisión Europea, en su Libro Blanco de 1997 [LBC], fija los primeros objetivos claros para las energías renovables y concretamente para los biocarburantes; así, se ha fijado un objetivo del 12% de contribución de las energías renovables para el 2010 (de los que el 7% serán biocombustibles).
- En ese mismo año tuvo lugar la 3ª Conferencia de las Partes del Convenio Marco de las Naciones Unidas en Kyoto, donde la mayoría de los países industrializados asumieron el compromiso de reducir las emisiones de CO<sub>2</sub>.
- En línea con esta aspiración se promulgó la Ley 54/1997 del Sector Eléctrico en España [SEE, 1997]. Para dar cumplimiento a estos objetivos, el Instituto para la Diversificación de la Energía (IDAE) elaboró y presentó en España el Plan de Fomento de Energía Renovable [PFER].
- Como consecuencia de los objetivos citados en el Libro Blanco y del protocolo de Kyoto se promulgó la Directiva 2003/96/CE y la Directiva 2003/30/EC donde se fija el grado de sustitución de combustibles fósiles requerido para el sector transporte, y la sustitución de éstos por biocarburantes.
- A la vista de todo ello y para dar cumplimiento a estos objetivos el Instituto para la Diversificación de la Energía (IDAE) ha elaborado un **Plan de Energías Renovables de España (PER)** [PERE, 2005, PERER, 2005] que constituye una revisión del Plan de Fomento de las Energías Renovables (PFER) [PFER, 2000] en España 2000-2010 hasta ahora vigente.

Con esta revisión se trata de mantener el compromiso de producir con fuentes renovables al menos el 12% de la energía consumida en 2010, así como de incorporar los otros dos objetivos indicativos que son un 29,4% de generación eléctrica con renovables y 5,75% de biocarburantes en transporte para ese año. De esta manera, se superarán los objetivos del Plan de Fomento que fijó alcanzar las 500.000 tep a finales del año 2010, partiendo de una situación de referencia de total ausencia de plantas de producción de biocarburantes en nuestro país. Así pues, asumiendo los objetivos de la Directiva 2003/30/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, del 8 de mayo de 2003 [DPE, 2003], se eleva el objetivo energético para el sector de biocarburantes en el horizonte de 2010 hasta alcanzar 2,2 Mtep.

Sin embargo, los combustibles ecológicos no terminan de arrancar en España de acuerdo con los datos recogidos por la Comisión Nacional de la Energía (CNE), que de acuerdo con el informe sobre el marco regulatorio de los carburantes sobre el biodiésel y el bioetanol afirma, como ya se ha indicado, que “para que en 2010 el 5,75% de los carburantes sean ecológicos habría que multiplicar por 10 el consumo actual” [CNE]. Por su parte, los productores de biocarburantes [APPA] afirman que se podría elevar el nivel de producción hasta el 24,7%.

El dato objetivo es que, ante la situación regulatoria en la que nos encontramos, y que describimos anteriormente, que apoya la sustitución de combustibles fósiles por los biocarburantes y teniendo en cuenta la subida del precio del petróleo (que en 2006 ha alcanzado cifras de 70 \$ el barril) nos encontramos en una situación muy favorable para el desarrollo de los biocarburantes.

En la tabla 4 se refleja una comparativa entre la situación en el año 2004 y los objetivos para el año 2010 por Comunidades Autónomas, tanto del anterior Plan de Fomento como del Plan actual de Energías Renovables (PER).

CC.AA.	Situación 2004 (tep)	Objetivos totales acumulados	
		Objetivo PFER 2010 (tep)	Objetivo PER 2010 (tep)
Andalucía	0	100.000	88.000
Aragón	0	50.000	88.000
Asturias	3.600	0	44.000
Baleares	0	0	44.000
Canarias	0	0	0
Cantabria	0	0	220.000
Castilla-León	0	100.000	330.000
Castilla-La Mancha	36.000	50.000	176.000
Cataluña	50.400	50.000	330.000
Extremadura	0	50.000	176.000
Galicia	64.500	50.000	220.000
Madrid	4.500	0	22.000
Murcia	51.200	50.000	220.000
Navarra	0	0	154.000
La Rioja	0	0	0
C. Valenciana	0	0	0
País Vasco	18.000	0	88.000
<b>TOTAL</b>	<b>228.200</b>	<b>500.000</b>	<b>2.200.000</b>

TABLA 4 *Objetivo Biocarburantes PFER y PER.*

Fuente: IDAE

Los objetivos energéticos propuestos para cada tipo de recurso y biocarburante para el incremento de energía primaria durante el periodo 2005-2010 se recogen en la tabla 5.

*Objetivos energéticos 2005-2010 (tep)*

<b>Recursos</b>	
Cereales y biomasa	550.000
Alcohol vínico	200.000
Aceites vegetales puros	1.021.800
Aceites vegetales usados	200.000
<b>Aplicaciones</b>	
Bioetanol	750.000
Biodiésel	1.221.800
<b>TOTALES</b>	
Energía primaria (tep)	1.971.800

TABLA 5 *Objetivos Energéticos Biocarburantes.*

Fuente: IDAE

Tal y como enumeramos de forma general anteriormente, la revisión del anterior Plan de Fomento de Energías Renovables, ha sido aconsejada por dos razones. Por una parte, el consumo de energía primaria y la intensidad energética han crecido muy por encima de lo previsto y por otra parte, tras la aprobación del Plan de Fomento se establecieron dos objetivos indicativos que hacen referencia a la generación de electricidad con fuentes renovables y al consumo de biocarburantes. Todo ello está reflejado en las Directivas:

- La Directiva 2001/71/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 27 de septiembre de 2001, cuya transposición se encuentra en fase de trámite.
- Y, más importante para el tema que nos ocupa, la Directiva 2003/30/CE del parlamento Europeo y del Consejo, del 8 de mayo de 2003, relativa al uso de biocarburantes u otros combustibles renovables en el transporte. La Directiva ha sido transpuesta a la legislación española a través del Real Decreto 1700/2003, de 15 de diciembre [RD17, 2003].

Para dar confianza y movilizar las inversiones que posibiliten el cumplimiento de los objetivos es necesario que las ventajas fiscales se consoliden durante el periodo de amortización de las inversiones. Entre las medidas a tomar se contempla extender el esquema actual de incentivos fiscales durante al menos los diez primeros años de vida de un proyecto. El grado de contribución del objetivo y su coste durante el periodo 2005-2010 será, respectivamente, de 1.972 ktep y de 2.855 M.

Es de destacar las ayudas para este sector de la Convocatoria PROFIT 2005 [ITC, 2005] (Programa para el Fomento de la Investigación Técnica) y que se espera que para los años siguientes continúen en esa línea.

En cuanto a fiscalidad, los biocarburantes están exentos del Impuesto de Hidrocarburos (IH), medida indispensable para su éxito, aunque mejorable según la opinión de asociaciones de productores de energía como APPA: “fomenta la producción, pero no el consumo, puesto que el tipo español para los combustibles fósiles es más bajo que en los países de nuestro entorno y con ello se favorece la exportación de los biocarburantes”. Una posible solución a esta situación podría venir por el mantenimiento del tipo cero para los biocarburantes y, en línea con la legislación francesa, la fijación de un IH diferenciado en función de su aplicación a diferentes mezclas con biocarburantes, estableciendo tramos según la proporción de las mismas. Este rediseño del IH, que incrementaría la competitividad de los biocarburantes en el mercado global, puede ser una medida con neutralidad recaudatoria al incrementarse su presencia en el cómputo total.

Por otro lado, la comercialización de biocarburantes sí está sometida al Impuesto de Ventas Minoristas de Hidrocarburos (IVMH); esta obligación a juicio de los productores de biodiésel [APPA] no es coherente con la exención del IH ni con otras disposiciones legales y consideran que habría que eliminarla.

Como se ha adelantado en el punto anterior, la incertidumbre sobre el tratamiento fiscal preferente a partir del 2012 es uno de los frenos para la entrada de capital productivo. Una buena medida, de ámbito comunitario, sería garantizar su prolongación más allá de ese año, así como el establecimiento de mecanismos de revisión de la exención que tuviesen en cuenta tanto la evolución del sector plurianualmente, como los factores propios de sus dos mercados de referencia, el agrícola y el energético, a fin de evitar la aprobación de medidas precipitadas y contraproducentes.

Es de destacar también el importante crecimiento de las energías renovables, y por ende del biodiésel, previsto por el PER que representa una oportunidad para la innovación tecnológica.

Así, el desarrollo a medio y largo plazo de este sector está directamente vinculado con los avances que se realicen en este capítulo, tanto en lo que se refiere a la producción de materia prima como en los procesos de transformación. Por una parte, en cultivos de alta productividad y por otra, en los procesos de transformación.

Los objetivos que enumera el PER en este sentido se presentan a continuación:

- Desarrollo de tecnologías para la recogida, transporte, acondicionamiento y almacenamiento de materia prima.

- Búsqueda y selección de especies oleaginosas más adaptadas a las características agronómicas de España y que permitan una producción de calidad a bajo coste.
- Desarrollo de tecnologías de producción de biocarburantes a partir de productos lignocelulósicos y/o semillas, así como de grasas animales.
- Realizar experiencias de demostración de larga duración de uso de biocarburantes en flotas cautivas

Por su parte, en el caso de Madrid, existe un Plan Energético Regional, de aplicación hasta el año 2012 [PECM, 2004] que favorece el desarrollo de estas tecnologías. Por otra parte, recientemente se ha creado el Centro de Ahorro y Eficiencia Energética de la Comunidad de Madrid.

En relación al Protocolo de Kyoto, y dado que puede afectar al biodiésel, cabe decir que el sector del transporte en España emite un 25% de todos los Gases de Efecto Invernadero (GEI). Dichas emisiones no se encuentran contempladas en el Protocolo porque resulta complicada la implantación de medidas para cumplir los objetivos para este sector. Sin embargo, la Directiva 2003/87/CE –que estableció el mercado europeo de derechos de emisión– será revisada a más tardar en octubre de 2006 y según el apartado 2a de su artículo 30, entre los aspectos que serán considerados en esta próxima revisión está la inclusión del sector del transporte.

Por último, tal y como se comentó anteriormente, es de destacar que la producción de biocombustibles líquidos puede suponer una alternativa interesante para aquellas tierras agrícolas que, como resultado de la Política Agraria Común (PAC) [PAC] que limita la superficie dedicada a los diversos cultivos herbáceos extensivos, pueden quedar abandonadas, contribuyendo así a la generación de empleo en el área rural (ver Reglamento CE N°.1259/1999 del Consejo de 17 de mayo de 1999) [RCE, 1999].

Tradicionalmente, tanto los cultivos destinados a la producción de biodiésel como bioetanol se han dedicado a la producción alimentaria y su utilización energética ha sido planteada sobre la base de las condiciones económicas creadas por la retirada obligatoria de tierras establecida por la PAC. En esta situación, el precio de las materias primas está regido por el mercado alimentario que, por lo general, es excesivamente alto para el sector energético, existiendo el riesgo de fluctuaciones de precios que afectan a la rentabilidad de los proyectos.

El coste de la producción del biocarburante depende, principalmente, del precio de la materia prima. Esta es la barrera principal que ha impedido el desarrollo de la industria de los biocarburantes, ya que al agricultor se le ofrecen precios inferiores a los correspondientes a los destinados a la alimentación y no le resulta interesante

su cultivo. Por ello, deben existir medidas de apoyo que se traduzcan en un desarrollo real de cultivos no alimentarios, creadores de empleo, y que deberían de tenerse en cuenta a la hora de proseguir la reforma de la PAC. Las medidas aplicadas hasta ahora, en relación con el cultivo de productos no alimenticios en superficies que son objeto de subvención en concepto de retirada de explotaciones agrícolas, aunque merecen una valoración positiva, no han sido suficientes.



## CAPÍTULO 4

# Biodiésel

- 4.1. Definición y especificaciones del biodiésel (PÁG. 32)
- 4.2. Materias primas para la producción de biodiésel (PÁG. 35)
- 4.3. Reacciones en la producción de biodiésel (PÁG. 40)
- 4.4. Procesos en la producción industrial de biodiésel (PÁG. 49)
- 4.5. Aplicaciones (PÁG. 55)
- 4.6. Producción de biodiésel (PÁG. 65)

## 4.1 Definición y especificaciones del biodiésel

El biodiésel es un biocarburante líquido producido a partir de los aceites vegetales y grasas animales, siendo la colza, el girasol y la soja las materias primas más utilizadas para este fin. Las propiedades del biodiésel son prácticamente las mismas que las del gasóleo de automoción en cuanto a densidad y número de cetano. Además, presenta un punto de inflamación superior. Por todo ello, el biodiésel puede mezclarse con el gasoleo para su uso en motores e incluso sustituirlo totalmente si se adaptan éstos convenientemente.

La definición de biodiésel propuesta por las especificaciones ASTM (American Society for Testing and Material Standard, asociación internacional de normativa de calidad) lo describe como ésteres monoalquílicos de ácidos grasos de cadena larga derivados de lípidos renovables tales como aceites vegetales o grasas de animales, y que se emplean en motores de ignición de compresión. Sin embargo, los ésteres más utilizados, como veremos más adelante, son los de metanol y etanol (obtenidos a partir de la transesterificación de cualquier tipo de aceites vegetales o grasas animales o de la esterificación de los ácidos grasos) debido a su bajo coste y sus ventajas químicas y físicas.

A diferencia de otros combustibles, los biocarburantes presentan la particularidad de utilizar productos vegetales como materia prima. Esto es la causa de que sea preciso tener en cuenta las características de los mercados agrícolas, junto a la complejidad que ya de por sí presentan los mercados energéticos. En este sentido, hay que destacar que el desarrollo de la industria de los biocarburantes no depende principalmente de la disponibilidad local de materia prima, sino de la existencia de una demanda suficiente. Al asegurar la existencia de una demanda de biocarburantes, el desarrollo de su mercado puede aprovecharse para potenciar otras políticas como la agrícola, favoreciendo la creación de empleo en el sector primario, la fijación de población en el ámbito rural, el desarrollo industrial y de actividades agrícolas, y reduciendo a la vez los efectos de la desertización gracias a la plantación de cultivos energéticos.

En cuanto a la utilización del biodiésel como combustible de automoción, ha de señalarse que las características de los ésteres son más parecidas a las del gasóleo que las del aceite vegetal sin modificar. La viscosidad del éster es dos veces superior a la del gasóleo frente a diez veces ó más de la del aceite crudo; además el índice de cetano de los ésteres es superior, siendo los valores adecuados para su uso como combustible. ASTM ha especificado distintas pruebas que se deben realizar a los combustibles para asegurar su correcto funcionamiento.

En la tabla 6 se enumeran las especificaciones establecidas para el biodiésel y el método de ensayo correspondiente.

<i>Propiedad</i>	<i>Unidad</i>	<i>Límites</i>		<i>Método de ensayo</i>
		<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>	
Contenido en éster <sup>a</sup>	% (m/m)	96,5 <sup>b</sup>		EN 14103
Densidad a 15°C <sup>c</sup>	kg/m <sup>3</sup>	860	900	EN ISO 3675 EN ISO 12185
Viscosidad a 40°C <sup>d</sup>	mm <sup>2</sup> /g	3,50	5,00	EN ISO 3104
Punto de inflamación	°C	120	-	prEN ISO 3679 <sup>e</sup>
Contenido de azufre	mg/kg	-	10,0	prEN ISO 20846 prEN ISO 20884
Residuo de carbón (en 10% de residuo destilado) <sup>f</sup>	% (m/m)	-	0,30	EN ISO 10370
Índice de cetano <sup>g</sup>		51,0		EN ISO 5165
Contenido de cenizas sulfatadas	% (m/m)	-	0,02	ISO 3987
Contenido en agua	mg/kg	-	500	EN ISO 12937
Contaminación total <sup>h</sup>	mg/kg	-	24	EN 12662
Corrosión de la tira de cobre (3h a 50°C)	Clasificación		Clase 1	EN ISO 2160
Estabilidad a la oxidación 110°C	Horas	6,0	-	EN 14112
Índice de ácido	mg KOH/g		0,50	EN 14104
Índice de yodo	g de yodo/100g		120	EN 14111
Éster de metilo de ácido linoléico	% (m/m)		12,0	EN 14103
Ésteres de metilo poli-insaturados <sup>i</sup> (> = a 4 dobles enlaces)	% (m/m)		1	
Contenido de metanol	% (m/m)		0,20	EN 14110
Contenido en monoglicéidos	% (m/m)		0,80	EN 14105
Contenido en diglicéidos	% (m/m)		0,20	EN 14105
Contenido en triglicéidos <sup>j</sup>	% (m/m)		0,20	EN 14105
Glicerol libre <sup>j</sup>	% (m/m)		0,02	EN 14105 EN 14106
Glicerol total	% (m/m)		0,25	EN 14105
Metales del grupo I (Na+K) <sup>k</sup>	mg/kg		5,0	EN 14108 EN 14109
Metales del grupo II (Ca+Mg) <sup>l</sup>	mg/kg		5,0	prEN 14538
Contenido de fósforo	mg/kg		10,0	EN 14107

TABLA 6 *Propiedades del biodiésel.*

Fuente: Wearcheckiberica. Boletín Mensual, septiembre 2004

Nota 1 El Índice de Yodo es actualmente 140

Nota 2 La definición de las propiedades reflejadas en esta tabla se encuentra en el Capítulo 11 Glosario

El biodiésel necesita disponer de unas especificaciones que enumere las propiedades y garantice la calidad de producto. Además, el biodiésel debe cumplir los requisitos para los combustibles minerales de automoción y que se encuentran recogidas en la norma

Europea EN-590 [ED]. Los requerimientos específicos y los métodos de control para la comercialización y distribución de ésteres metílicos de ácidos grasos –FAME– para su utilización en motores diesel con 100% de concentración se encuentran en la norma EN 14214 transcrita a la legislación española en el RD 398/1996 [RD398, 1996] y el RD 1728/1999 [RD1728, 1999] en concordancia con la Directiva Europea 98/70/CE.

Como se observa en las especificaciones el valor de índice de yodo ha subido de 120 a 140. El índice de yodo mide el número de insaturaciones, y una mayor proporción de dobles enlaces supone una mayor tendencia a la oxidación. La especificación de 120 podría excluir a los ésteres de girasol, algo más insaturados y con el índice de yodo más alto, pero en España al haberse fijado el índice de yodo en 140 ya no existe este problema con lo que sí que entrarían dentro de las especificaciones productos como el girasol, materia prima habitualmente utilizada para producir biodiésel en nuestro país.

Por ello, en España se están desarrollando trabajos en los últimos años para la utilización de biodiésel de girasol en distintas proporciones. En este sentido se han realizado una serie de ensayos en laboratorios y en banco de motores con biodiésel de girasol puro y en mezclas al 30% en el marco de un proyecto financiado por el programa Altener de la UE en el que participaron la Universidad de Zaragoza y el IDAE. En esta línea Repsol también realizó ensayos en banco de motores con mezclas de ésteres de girasol al 30%; en este proyecto se han realizado ensayos de la mezcla en flotas cautivas de autobuses urbanos en Valencia, Valladolid y Madrid.

De los resultados de estos proyectos se deduce que no tiene por qué excluirse a los ésteres de girasol de la especificación ya que su comportamiento es similar a los de colza. Actualmente se está discutiendo la posibilidad de establecer un índice de yodo para el producto final (para la mezcla empleada) con lo que el índice de yodo en la mezcla del éster metílico de girasol y diesel mineral estaría dentro de las especificaciones.

## 4.2 Materias primas para la producción de biodiésel

Las materias primas más comunes utilizadas en España para la fabricación de biodiésel son los aceites de fritura usados y el aceite de girasol (el contenido medio del girasol en aceite es de 44% por lo que en España será la mejor opción en cuanto a agricultura energética). También se están realizando pruebas con aceite de colza y con Brassica carinata.

Tanto en España como a nivel internacional, se puede decir que la producción de biodiésel tiende a provenir mayoritariamente de los aceites extraídos de plantas oleaginosas, especialmente girasol (en España e Italia) y colza (en países de Centroeuropa). Las oleaginosas se importan a Europa para obtener la proteína y luego los aceites son reexportados fuera de la UE. La utilización de los mismos en la fabricación de biodiésel daría salida interior a dicho producto, evitando la reexportación. Cualquier materia que contenga triglicéridos puede utilizarse para la producción de biodiésel (girasol, colza, soja, aceites de fritura usado, sebo de vaca,...). Por otra parte, en España, la utilización de aceites usados es todavía significativa.

A continuación se detallan las principales materias primas para la elaboración de biodiésel [Vicente 1998, 2001]:

- Aceites vegetales convencionales
  - Aceite de girasol
  - Aceite de colza
  - Aceite de soja
  - Aceite de coco
  - Aceite de palma
  
- Aceites vegetales alternativos
  - Aceite de Brassica carinata
  - Aceite de Cynara cardunculus
  - Aceite de Camelina sativa
  - Aceite de Crambe abyssinica
  - Aceite de Pogonius
  - Aceite de Jatropha curcas
  
- Aceites de semillas modificadas genéticamente
  - Aceite de girasol de alto oleico

- Grasas animales
  - Sebo de vaca
  - Sebo de búfalo
- Aceites de fritura usados
- Aceites de otras fuentes
  - Aceites de producciones microbianas
  - Aceites de microalgas

### Aceites vegetales convencionales

Las materias primas utilizadas convencionalmente en la producción de biodiésel han sido los aceites de semillas oleaginosas como el girasol y la colza (Europa), la soja (Estados Unidos) y el coco (Filipinas); y los aceites de frutos oleaginosos como la palma (Malasia e Indonesia). Por razones climatológicas, la colza (*Brassica napus*) se produce principalmente en el norte de Europa y el girasol (*Helianthus annuus*) en los países mediterráneos del sur, como España o Italia [Vicente, 2001]. La utilización de estos aceites para producir biodiésel en Europa ha estado asociada a las regulaciones de retirada obligatoria de tierras de la Política Agraria Común (PAC) que permite el cultivo de semillas oleaginosas a precios razonables. Sin embargo, la dedicación de sólo las tierras de retirada para la producción de materias primas energéticas supone un riesgo por cuanto estas superficies varían en el tiempo, ya que el régimen de retirada de tierras depende de la oferta y la demanda de cereales alimentarios, lo que implica que este índice está sujeto a alteraciones. En nuestro país, el uso de cultivos tradicionales como energéticos está condicionado además por la producción del aceite, ya que la producción media por hectárea de aceite de girasol resulta poco atractivo, desde el punto de vista del agricultor, para elegir este cultivo como fuente de obtención de biocarburantes.

### Aceites vegetales alternativos

Además de los aceites vegetales convencionales, existen otras especies más adaptadas a las condiciones del país donde se desarrollan y mejor posicionadas en el ámbito de los cultivos energéticos. En este sentido, destacan la utilización, como materias primas de la producción de biodiésel, de los aceites de *Camelina sativa*, *Crambe abyssinica* y *Jatropha curcas*. Existen otros cultivos que se adaptan mejor a las condiciones de nuestro país y que presentan rendimientos de producción mayores. En concreto, se trata de los cultivos de *Brassica carinata* y *Cynara cardunculus*. La *Brassica carinata* es una alternativa real al secano y regadío extensivo. La *Cynara cardunculus* es un cultivo plurianual y permanente, de unos diez años de ocupación del terreno, y orientado fundamentalmente a la producción de biomasa, aunque también pueden aprovecharse sus semillas para la obtención de aceite. Se obtienen de 2.000 a 3.000 kilogramos de semillas, cuyo aceite sirve de materia prima para la fabricación de biodiésel [Vicente, 1998, 2001].

### *Aceites vegetales modificados genéticamente*

Los aceites y las grasas se diferencian principalmente en su contenido en ácidos grasos. Los aceites con proporciones altas de ácidos grasos insaturados, como el aceite de girasol o de *Camelina sativa*, mejoran la operatividad del biodiésel a bajas temperaturas, pero disminuyen su estabilidad a la oxidación, que se traduce en un índice de yodo elevado. Por este motivo, se pueden tener en consideración, como materias primas para producir biodiésel, los aceites con elevado contenido en insaturaciones, que han sido modificados genéticamente para reducir esta proporción, como el aceite de girasol de alto oleico [Vicente 1998, 2001].

### *Aceites de fritura usados*

El aceite de fritura usado es una de las alternativas con mejores perspectivas en la producción de biodiésel, ya que es la materia prima más barata, y con su utilización se evitan los costes de tratamiento como residuo. España es un gran consumidor de aceites vegetales, centrándose el consumo en aceite de oliva y girasol. Por su parte, los aceites usados presentan un bajo nivel de reutilización, por lo que no sufren grandes alteraciones y muestran una buena aptitud para su aprovechamiento como biocombustible. La producción de los aceites usados en España se sitúa en torno a las 750.000 toneladas/año, según cifras del 2004. Además, como valor añadido, la utilización de aceites usados significa la buena gestión y uso del residuo.

El informe sobre el marco regulatorio de los carburantes propone reciclar aceite de fritura en biodiésel. Esta alternativa es la que más ventajas tiene porque además de producir combustible elimina un residuo contaminante como es el aceite usado. Este aceite da problemas al depurar el agua; sin embargo, su recogida es problemática. La Comisión Europea propone que el Ministerio de Medio Ambiente y los Ayuntamientos creen un sistema de recogida de aceite frito, oleinas y grasas en tres etapas: industrial, hostelería y doméstica.

La utilización de aceites usados presenta dificultades logísticas, no sólo por su recogida, como se ha dicho, sino también por su control y trazabilidad debido a su carácter de residuo. En el caso español, dicha recogida no está siendo promovida enérgicamente por la Administración pese a que la Ley 10/98 de Residuos establece la prohibición de verter aceites usados, lo cual es un incentivo más para su utilización en la fabricación de biodiésel.

### *Grasas animales*

Además de los aceites vegetales y los aceites de fritura usados, las grasas animales, y más concretamente el sebo de vaca, pueden utilizarse como materia prima de la transesterificación para obtener biodiésel. El sebo tiene diferentes grados de calidad respecto a su utilización en la alimentación, empleándose los de peor calidad en la formulación de los alimentos de animales. La aplicación de grasas animales surgió a

raíz de la prohibición de su utilización en la producción de piensos, como salida para los mismos como subproducto. Sin embargo, actualmente no existe un nivel de aplicación industrial en España.

### *Aceites de otras fuentes*

Por otra parte, es interesante señalar la producción de lípidos de composiciones similares a los aceites vegetales, mediante procesos microbianos, a partir de algas, bacterias y hongos, así como a partir de microalgas.

### *Otras fuentes*

Por último, cabe destacar que está en estudio la utilización de bioetanol y biometanol en el proceso de esterificación de dichos aceites para la producción de biodiésel, al igual que el desarrollo de cultivos específicos para fines energéticos, no alimentarios.

Por tanto, los biocarburantes presentan la particularidad de utilizar productos vegetales como materia prima y, por tanto hay que tener en cuenta las características de los mercados agrícolas, junto a la complejidad que ya de por sí presentan los mercados energéticos. En este sentido, tal como se comentó anteriormente, hay que destacar que el desarrollo de la industria de los biocarburantes no depende principalmente de la disponibilidad local de materia prima, sino de la existencia de una demanda suficiente, que puede servir para potenciar otras políticas como la agrícola.

Para la producción de estos aceites existe la posibilidad de cultivar estas especies (girasol o colza) en las tierras de retirada obligatoria reguladas por la Política Agraria Común (PAC). El problema de este planteamiento es que la retirada de tierras está sujeta a variaciones anuales y ello puede crear incertidumbre en cuanto al suministro. Esencialmente la reforma de la PAC implica una serie de elementos de simplificación. En el sector de los cultivos herbáceos, se trata principalmente de la supresión de la retirada extraordinaria de tierras, del abandono de las superficies de base individuales y de la simplificación de los pagos compensatorios para las semillas oleaginosas. Además, existirá un único comité de gestión que será responsable de todos los cultivos herbáceos.

Los cultivos de girasol cuentan con el problema de su baja rentabilidad para el agricultor. Para asegurar un volumen continuo de suministro, las materias primas para usos energéticos deberían proceder de las mismas tierras que las destinadas a usos alimentarios, recibir las mismas ayudas y comercializarse de forma no diferenciada.

La Unión Europea prepara un Plan de Acción en Biomasa con medidas y acciones para impulsar la generación de electricidad y calor, incluyendo también los biocombustibles

para el transporte, que permita alcanzar los objetivos fijados. Por otro lado, las últimas reformas desarrolladas en el marco de la Política Agraria Común (PAC) incluyen la introducción de una ayuda específica para cultivos destinados bajo contrato a la producción de biocombustibles o energía térmica eléctrica a partir de biomasa, medida que entrará en vigor en nuestro país en el 2006.

En España, asimismo, se constituyó en octubre de 2004 la Comisión Interministerial de la Biomasa con el objetivo de analizar la situación del sector y proponer distintas actuaciones. Se incluyen la adaptación de la normativa y la propuesta de actividades de investigación en relación con cultivos energéticos, desarrollo de tecnologías de cultivos y recogida, así como valorización energética de los estiércoles [Cabrera, 2006].

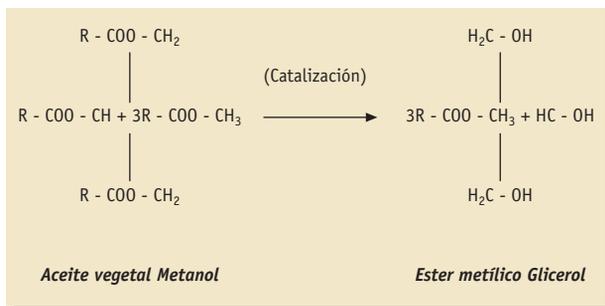
## 4.3 Reacciones en la producción de biodiésel

### 4.3.1 Reacciones de transesterificación de triglicéridos

Aunque la esterificación es un proceso posible, sin embargo el método utilizado comercialmente para la obtención de biodiésel es la transesterificación (también llamada alcoholólisis).

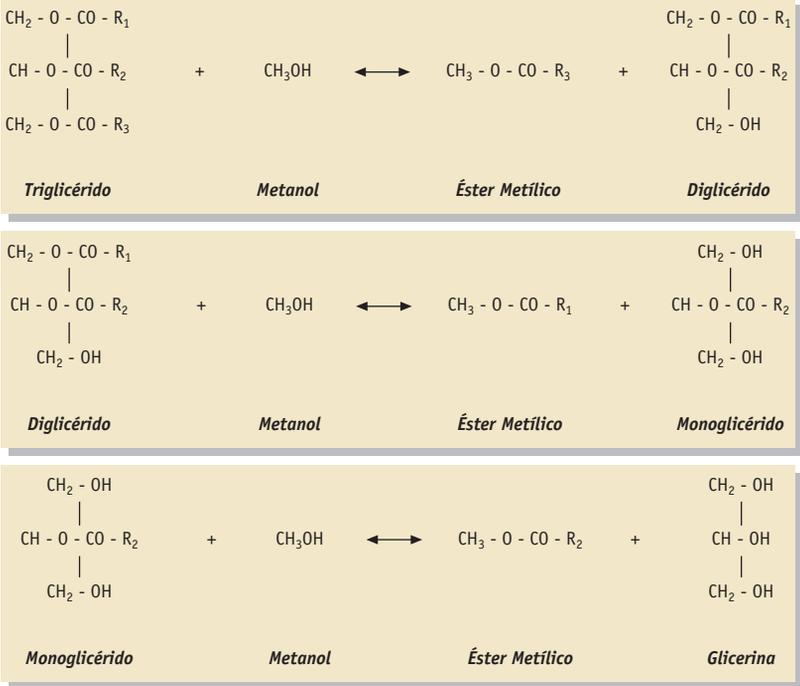
Se basa en la reacción de moléculas de triglicéridos (el número de átomos de las cadenas está comprendido entre 15 y 23, siendo el más habitual de 18) con alcoholes de bajo peso molecular (metanol, etanol, propanol, butanol) para producir ésteres y glicerina (que puede ser utilizada en cosmética, alimentación, farmacia, etc.).

La reacción de transesterificación, que se presenta en la gráfica 2, se desarrolla en una proporción molar de alcohol a triglicérido de 3 a 1, reaccionando en la metanolólisis 1 mol de triglicérido con 3 moles de alcohol (aunque se añade una cantidad adicional de alcohol para desplazar la reacción hacia la formación del éster metílico). El triglicérido es el principal componente del aceite vegetal o la grasa animal. Además, la formación de la base de la glicerina, inmiscible con los ésteres metílicos, juega un papel importante en el desplazamiento de la reacción hacia la derecha, alcanzándose conversiones cercanas al 100%.



GRÁFICA 2 *Reacción de transesterificación.*

En la grafica 3 se presentan las diferentes reacciones que tienen lugar en la transesterificación, la cual consiste químicamente en tres reacciones reversibles y consecutivas. El triglicérido es convertido consecutivamente en diglicérido, monoglicérido y glicerina. En cada reacción un mol de éster metílico es liberado.



GRÁFICA 3 Reacciones implicadas en la transesterificación.

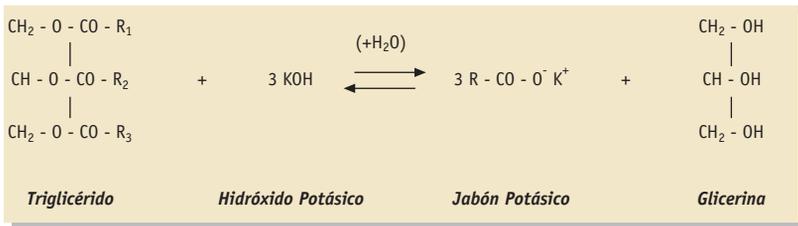
En la reacción de transesterificación se utiliza un catalizador para mejorar la velocidad de reacción y el rendimiento final, amén que sin él no sería posible esta reacción. Los catalizadores pueden ser ácidos homogéneos ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{HCl}$ ,  $\text{H}_3\text{PO}_4$ ,  $\text{R-SO}_3$ ), ácidos heterogéneos (Zeolitas, Resinas Sulfónicas,  $\text{SO}_4/\text{ZrO}_2$ ,  $\text{WO}_3/\text{ZrO}_2$ ), básicos heterogéneos ( $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}/\text{NaOH}/\text{Al}_2\text{O}_3$ ), básicos homogéneos ( $\text{KOH}$ ,  $\text{NaOH}$ ) o enzimáticos (Lipasas: *Candida*, *Penicillium*, *Pseudomonas*); de todos ellos, los catalizadores que se suelen utilizar a escala comercial son los catalizadores homogéneos básicos ya que actúan mucho más rápido y además permiten operar en condiciones moderadas. En el caso de la reacción de transesterificación, cuando se utiliza un catalizador ácido se requieren condiciones de temperaturas elevadas y tiempos de reacción largos, por ello es frecuente la utilización de derivados de ácidos más activos.

Sin embargo, la utilización de álcalis, que como se ha comentado es la opción más utilizada a escala industrial, implica que los glicéridos y el alcohol deben ser anhidros (<0,06 % v/v) para evitar que se produzca la saponificación. Además, los triglicéridos deben tener una baja proporción de ácidos grasos libres para evitar que se neutralicen con el catalizador y se formen también jabones.

De esta manera las reacciones secundarias que se pueden dar son las siguientes:

- Reacción de saponificación
- Reacción de neutralización de Ácidos grasos libres

El triglicérido reacciona con el catalizador básico, consumiendo éste, en presencia de agua dando lugar a la formación de jabones (reacción de saponificación), tal y como se puede ver en la gráfica 4.



GRÁFICA 4 *Reacción de saponificación*

La saponificación está favorecida cuando se utiliza el hidróxido potásico o sódico, ya que sus moléculas contienen los grupos OH responsables de esta reacción. Así, cuando se utilizan estos catalizadores, se debe tener especial precaución con las condiciones de reacción, especialmente la temperatura y la cantidad de catalizador básico, para reducir al máximo la saponificación. Sin embargo, los metóxidos sólo contienen el grupo OH como impureza, por lo que su utilización no produce prácticamente jabones por saponificación. En cualquier caso, se deben utilizar aceites y alcoholes esencialmente anhidros, ya que el agua favorece la formación de jabones por saponificación. Por este motivo, se debe eliminar el agua, mediante evaporación, en los aceites con altos contenidos en humedad antes de llevar a cabo la transesterificación.

Por otra parte, hay dos maneras de eliminar los ácidos grasos libres presentes en el aceite. Así, se puede proceder a su neutralización, ya que los ácidos grasos presentes en el aceite vegetal pueden reaccionar con el catalizador básico (fundamentalmente NaOH) en presencia de agua, ocurriendo asimismo una reacción indeseable, produciendo como en el caso anterior jabón, tal y como se puede ver en la gráfica 5. Otra manera de eliminar los ácidos grasos libres es mediante una reacción de esterificación con un catalizador ácido con lo que se formaría el éster metílico.

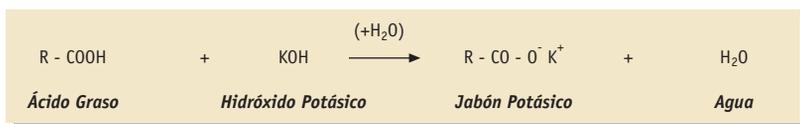


GRÁFICO 5 *Reacción de neutralización de ácidos grasos libres.*

### 4.3.2 Reacciones de esterificación de ácidos grasos

El proceso que se utiliza para la producción de biodiésel es la transesterificación, sin embargo la esterificación se viene aplicando combinándolo con la transesterificación de cara a aprovechar el subproducto de ácidos grasos y producir asimismo biodiésel.

Dada la importancia de los ésteres se han desarrollado numerosos procesos para obtenerlos. El más común es el calentamiento de una mezcla del alcohol y del ácido correspondiente con ácido sulfúrico, utilizando el reactivo más económico en exceso para aumentar el rendimiento y desplazar el equilibrio hacia la derecha (esterificación de Fischer). El ácido sulfúrico sirve en este caso tanto de catalizador como de sustancia higroscópica que absorbe el agua formada en la reacción. A veces es sustituido por ácido fosfórico concentrado.

En la práctica este procedimiento tiene varios inconvenientes. El alcohol puede sufrir reacciones de eliminación formando olefinas, esterificación con el propio ácido sulfúrico o de formación del éter, y el ácido orgánico puede sufrir decarboxilación.

De la reacción de esterificación aparece desarrollada en la gráfica 6.

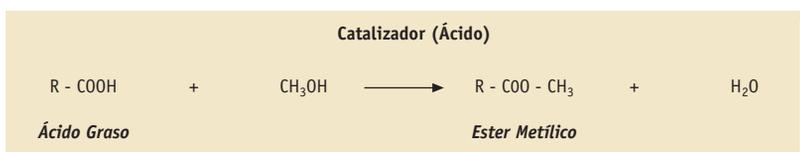


GRÁFICO 6 *Reacción de Esterificación.*

Los catalizadores que se utilizan en este tipo de reacción, al contrario que en el proceso de transesterificación que habitualmente son hidróxidos, son ácidos o enzimáticos. En el caso de la esterificación, al contrario que en la reacción de transesterificación, al utilizar catalizadores ácidos no es necesario recurrir a trabajar con temperaturas elevadas y tiempos de reacción largos.

### 4.3.3 Catalizadores

Tal y como se comentó anteriormente es necesario contar con catalizadores para que ocurra la reacción y sea posible desde un punto de vista cinético. Estos catalizadores, en el caso de la transterificación, pueden ser ácidos homogéneos, ácidos heterogéneos, básicos homogéneos o enzimáticos, siendo los catalizadores básicos los que se utilizan a nivel industrial en la transesterificación ya que actúan mucho más rápido y además permiten operar en condiciones moderadas. El único problema de estos catalizadores es que deben ser anhidros para evitar que se produzcan reacciones secundarias, como la de saponificación, que reducirían el rendimiento del proceso. Por otra parte, los triglicéridos deben tener una baja proporción de ácidos grasos libres para evitar que se neutralice con el catalizador y se formen también jabones.

Se ha observado que la reacción es más rápida cuando se cataliza con un alquilo [Freedman, 1986]. En el primer paso de la reacción, un ion óxido alquilo ataca al grupo carbonilo de la molécula del triglicérido. La reacción de este producto intermedio con un alcohol produce un ion del grupo alcóxido en el segundo paso. En la última etapa la redistribución del compuesto tetraedro intermedio da lugar a un éster y a diglicerina.

Asimismo, se pueden utilizar catalizadores ácidos de Bronsted, preferiblemente sulfúricos y sulfónicos. Estos catalizadores producen rendimientos muy altos en ésteres alquílicos pero las reacciones son lentas, necesitando temperaturas superiores a los 100 °C y más de 3 horas para completar la conversión. La acidificación del grupo carbonil del éster conduce a la carbonatación, y posteriormente, el ataque nucleófilo del alcohol produce el compuesto tetraédrico intermedio. Esto elimina el glicerol para formar un nuevo éster y regenerar el catalizador.

Se ha probado la metanólisis del aceite de soja en presencia del 1% de  $H_2SO_4$  con una relación molar alcohol/aceite de 30:1 [Freedman, 1986]. A una temperatura de reacción de 65 °C se completó la conversión en 20 horas, mientras la butanólisis a 177 °C y la etanólisis a 78 °C usando las mismas cantidades de alcohol, necesitaron 3 y 18 horas, respectivamente.

En la tabla 7 se resumen las ventajas y desventajas de utilización de los distintos catalizadores para el proceso de transesterificación:

Catálisis Básica (homogénea)	Catálisis Ácida (homogénea)
<p><b>VENTAJAS</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Esterifica ácidos grasos</li> <li>• No se forman jabones</li> <li>• Purificación más simple</li> </ul> <p><b>INCONVENIENTES</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Velocidad de reacción baja</li> <li>• Exceso de alcohol elevado</li> <li>• Condiciones enérgicas: P, T</li> <li>• Neutralización del catalizador</li> </ul>	<p><b>VENTAJAS</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Esterifica ácidos grasos</li> <li>• No se forman jabones</li> <li>• Purificación más simple</li> </ul> <p><b>INCONVENIENTES</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Velocidad de reacción baja</li> <li>• Exceso de alcohol elevado</li> <li>• Condiciones enérgicas: P, T</li> <li>• Neutralización del catalizador</li> </ul>
Catálisis Enzimática	Catálisis Heterogénea
<p><b>VENTAJAS</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Esterifica ácidos grasos</li> <li>• No se forman jabones</li> <li>• Purificación más simple</li> </ul> <p><b>INCONVENIENTES</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Velocidad de reacción baja</li> <li>• Exceso de alcohol elevado</li> <li>• Condiciones enérgicas: P, T</li> <li>• Neutralización del catalizador</li> </ul>	<p><b>VENTAJAS</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Reutilización del catalizador</li> <li>• Facilidad de procesos continuos</li> <li>• No se forman jabones</li> <li>• Purificación más sencilla</li> </ul> <p><b>INCONVENIENTES</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Transferencia de materia</li> </ul>

TABLA 7 *Ventajas e inconvenientes de los catalizadores utilizados en la transesterificación.*

Fuente: Grupo de Ingeniería Química y Ambiental (GIQA) de la Universidad Rey Juan Carlos

#### 4.3.4 Variables que afectan a la reacción de transesterificación

Entre las variables más importantes que afectan a la reacción de transesterificación se cuentan las siguientes:

##### *Acidez y humedad*

Los contenidos de ácidos grasos y de humedad son los parámetros determinantes de la viabilidad del proceso de transesterificación del aceite vegetal. Para que se realice la reacción completa se necesita un valor de ácidos grasos libres, del inglés Free Fatty Acid (FFA), menor al 3%. Cuanto más alta es la acidez del aceite, menor es la conversión. Además, tanto el exceso como la deficiencia de catalizador pueden producir la formación de jabón. [Dorado, 2002], amén, que como se ha comentado, la presencia de humedad disminuye el rendimiento de la reacción, pues el agua reacciona con los catalizadores formando jabones.

Se ha estudiado la transesterificación del sebo de animales catalizado con NaOH en presencia de FFA y agua. Sin añadir ninguno de los dos componentes, FFA y agua, el

rendimiento de los esteres metílicos era alto. Cuando se añadía un 0.6% de FFA el rendimiento de la reacción disminuía a valores inferiores al 5%, para cualquier nivel de agua añadida. Cuando se incrementaba un 0.9% de agua, sin añadir FFA, el rendimiento se situaba en el 17%. Si las grasas animales o los aceites vegetales, con valores altos de FFA, se quieren utilizar para producir biodiésel, es necesario refinarlos con una neutralización, utilizando una solución de NaOH para eliminar los ácidos grasos libres. Igualmente, el proceso de catálisis ácida también se puede usar para la esterificación de estos ácidos grasos [Ma, 1998].

Las materias primas usadas como base para el proceso de alcoholisis deben cumplir ciertas especificaciones. Los triglicéridos deben tener un valor ácido bajo y los materiales deben contener baja humedad. La adición de catalizadores de hidróxido de sodio compensa la alta acidez, pero el jabón resultante provoca un aumento de viscosidad o de formación de geles que interfieren en la reacción y en la separación del glicerol. Cuando no se dan estas condiciones los rendimientos de la reacción se reducen sustancialmente. El hidróxido y metóxido de sodio o de potasio deben mantener un grado de humedad bajo. Su contacto con el aire disminuye la efectividad del catalizador por su interacción con el dióxido de carbono y la humedad.

Actualmente, la mayor parte del biodiésel producido, procede de aceites vegetales al que se le añade metanol y un catalizador alcalino. Sin embargo hay muchos aceites de bajo costo y grasas animales que pueden ser utilizados. Su problema radica en que suelen contener gran cantidad de ácidos grasos que no se pueden convertir en biodiésel usando catalizadores alcalinos. En estos casos es necesario hacer la esterificación en dos etapas: inicialmente debe realizarse un pretratamiento para convertir los FFA en esteres metílicos con un catalizador ácido, y en un segundo paso se realiza la transesterificación con un catalizador alcalino, para completar la reacción.

### *Tipo de catalizador y concentración*

Los catalizadores empleados para la transesterificación de los triglicéridos se pueden clasificar en alcalinos, ácidos, enzimáticos o catalizadores heterogéneos, siendo los básicos y en particular los hidróxidos los más utilizados. Si el aceite usado tiene un alto grado de ácidos grasos y elevada humedad los catalizadores ácidos son los más adecuados. Estos ácidos pueden ser sulfúrico, fosfórico o ácido sulfónico orgánico. La metanólisis del sebo de animal se ha estudiado con NaOH y NaOMe. Comparando los dos catalizadores, el NaOH ha producido mejores resultados que el NaOMe [Ma, 1998]. El metóxido de sodio provoca la formación de muchos subproductos, principalmente sales de sodio, que deben eliminarse posteriormente.

En los procesos de metanólisis alcalina los principales catalizadores usados han sido el hidróxido potásico y el hidróxido sódico, ambos en concentraciones de 0.4 a 2% v/v de aceite. Aceites, tanto refinados como crudos, con un 1% de catalizador (tanto

hidróxido sódico o potásico) han tenido muy buenos resultados. La metanólisis del aceite de soja ha producido sus mejores resultados de rendimiento y viscosidad con una concentración de 1% de hidróxido potásico [Tomasevic, 2003].

Se han probado catalizadores de metales alcalino-térreos en la transesterificación de aceites de colza. El proceso se lleva a cabo si aparecen iones de metóxido en la reacción intermedia. Los hidróxidos alcalino-térreos, alcóxidos y óxidos catalizan la reacción más lentamente [Gryglewicz, 1999].

La actividad catalítica del óxido de magnesio, hidróxido de calcio, óxido de calcio, metóxido de calcio, hidróxido de bario y, por comparación, hidróxido de sodio se ha evaluado en la transesterificación del aceite de colza. De ellos, el hidróxido sódico ha producido la mayor actividad catalítica. El grado de substratos que reaccionaron fue del 85% en 30 minutos y de 95% después de 1.5 horas, lo que representa un valor cercano al equilibrio. El hidróxido de bario tuvo un rendimiento ligeramente inferior con una valor del 75% después de 30 minutos, mientras que el metóxido de calcio reaccionó sólo en un 55%, en este mismo tiempo. Rendimientos menores se obtuvieron con CaO, mientras que el óxido de magnesio y el hidróxido cálcico no presentaron actividad catalítica.

La actividad catalítica ácida se ha estudiado también con aceites vegetales reutilizados. Se han utilizado cuatro concentraciones 0,5, 1, 1,5 y 2,25 M de HCl y los resultados se han comparado con una concentración de 2,25 M  $H_2SO_4$ , obteniendo una mejor actividad catalítica con el ácido sulfúrico en un rango de 1,5-2,25 M de concentración [Mohamad, 2002].

Aunque el proceso de transesterificación, con catalizadores alcalinos, para transformar los triglicéridos en sus correspondientes esteres metílicos tiene una conversión muy alta en un periodo más corto de tiempo, tiene algunos inconvenientes: el catalizador debe ser separado del producto final, la recuperación del glicerol puede resultar difícil, el agua alcalina resultante del proceso debe ser tratada y los ácidos grasos y el agua afectan a la reacción.

Los catalizadores enzimáticos pueden obtener resultados relevantes en sistemas tanto acuosos como no acuosos, lo que resuelve alguno de los problemas anteriores [Fuduka, 2001]. En particular el glicerol se puede separar fácilmente y, también, los ácidos grasos contenidos en el aceite reutilizado se pueden convertir completamente en esteres alquílicos. En cambio el uso de estos catalizadores enzimáticos tiene un coste superior que el de los alcalinos.

### *Relación molar de alcohol / aceite y tipo de alcohol*

Una de las variables más importantes que afectan al rendimiento del proceso es la relación molar del alcohol y los triglicéridos. La relación estequiométrica requiere tres moles de alcohol y un mol de triglicérido para producir tres moles de esteres y un mol

de glicerol. La transesterificación es una reacción de equilibrio que necesita un exceso de alcohol para conducir la reacción al lado derecho. Para una conversión máxima se debe utilizar una relación molar de 6:1. En cambio un valor alto de relación molar de alcohol afecta a la separación de glicerina debido al incremento de solubilidad. Cuando la glicerina se mantiene en la solución hace que la reacción revierta hacia la izquierda, disminuyendo el rendimiento de los ésteres.

La formación de éster etílico comparativamente es más difícil que la de éster metílico, especialmente la formación de una emulsión estable durante la etanolisis es un problema. El etanol y el metanol no se disuelven con los triglicéridos a temperatura ambiente y la mezcla debe ser agitada mecánicamente para que haya transferencia de masa. Durante la reacción generalmente se forma una emulsión, en la metanolisis esta emulsión desciende rápidamente formándose una capa rica en glicerol quedándose en la parte superior otra zona rica en éster metílico. En cambio en la etanolisis esta emulsión no es estable y complica mucho la separación y purificación de los ésteres etílicos. La emulsión está causada en parte por la formación de monoglicéricos y diglicéricos intermedios, que contienen tanto grupos hidróxidos polares como cadenas de hidrocarburos no polares.

### *Efecto del tiempo de reacción y temperatura*

La conversión aumenta con el tiempo de reacción. Así, Feedman y otros investigadores [FREEDMAN, 1984] transesterificaron aceite de cacahuete, semilla de algodón, girasol y soja con una relación molar de 6:1 de metanol, con un catalizador de metóxido sódico al 0.5% a 60°C según el autor. Después de 1 minuto se observó un rendimiento de aproximadamente el 80% para la soja y el girasol, después de una hora la conversión era la misma para los cuatro, con un valor aproximado del 93%.

La transesterificación se puede producir a diferentes temperaturas, dependiendo del tipo de aceite. En el caso de aceite refinado con metanol (6:1) al 1% NaOH, la reacción se estudió a tres temperaturas diferentes. Después de 6 minutos los rendimientos fueron 94%, 87% y 64% para temperaturas de 60, 45 y 32°C, respectivamente. Después de una hora la formación del éster era idéntica para 60 y 45°C y ligeramente menor para 32°C.

## 4.4 Procesos en la producción industrial de biodiésel

Tal y como se ha comentado en el apartado de reacciones dedicado a la producción de biodiésel, químicamente, la transesterificación –proceso industrial utilizado en su producción- consiste en tres reacciones reversibles y consecutivas. El triglicérido es convertido consecutivamente en diglicérido, monoglicérido y glicerina. En cada reacción un mol de éster metílico es liberado. Todo este proceso se lleva a cabo en un reactor donde se producen las reacciones y en posteriores fases de separación, purificación y estabilización.

En este punto se describirán los diferentes procesos para la producción de biodiésel entre los que se incluyen el proceso general de transesterificación y el proceso general de esterificación, aunque habitualmente en este último el proceso se utiliza en combinación con el de transesterificación a partir de los ácidos grasos, subproductos de este proceso, para la producción de biodiésel. Además también se comentarán estos procesos en discontinuo y en continuo, para finalizar con el proceso en condiciones supercríticas donde no es necesario añadir catalizadores.

### 4.4.1 Proceso general de transesterificación

Aunque todas ellas tienen en común los aspectos mencionados en el punto anterior de producción de biodiésel mediante el proceso de transesterificación, sin embargo existen múltiples opciones de operación viables para la fabricación de biodiésel. Muchas de estas tecnologías pueden ser combinadas de diferentes maneras variando las condiciones del proceso y la alimentación del mismo. La elección de la tecnología será función de la capacidad deseada de producción, alimentación, calidad y recuperación del alcohol y del catalizador.

En general, plantas de menor capacidad y diferente calidad en la alimentación suelen utilizar procesos Batch o discontinuos. Los procesos continuos, sin embargo, son más idóneos para plantas de mayor capacidad que justifique el mayor número de personal y requieren una alimentación más uniforme.

#### 4.4.1.1 Proceso Discontinuo

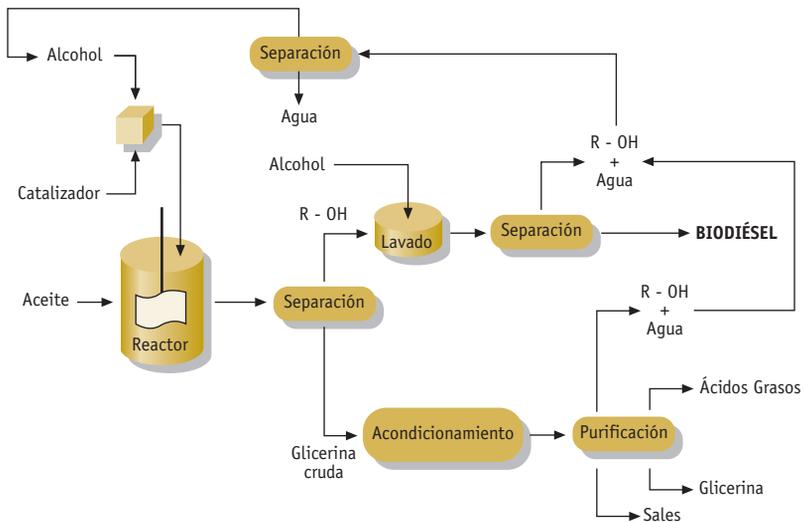
Es el método más simple para la producción de biodiésel donde se han reportado ratios 4:1 (alcohol:triglicérido). Se trata de reactores con agitación, donde el reactor puede estar sellado o equipado con un condensador de reflujo. Las condiciones de

operación más habituales son a temperaturas de 65°C, aunque rangos de temperaturas desde 25°C a 85°C también han sido publicadas.

El catalizador más común es el NaOH, aunque también se utiliza el KOH, en rangos del 0,3% al 1,5% (dependiendo que el catalizador utilizado sea KOH o NaOH). Es necesaria una agitación rápida para una correcta mezcla en el reactor del aceite, el catalizador y el alcohol. Hacia el fin de la reacción, la agitación debe ser menor para permitir al glicerol separarse de la fase ester. Se han publicado en la bibliografía resultados entre el 85% y el 94%. En la transesterificación, tal y como se comentó anteriormente, cuando se utilizan catalizadores ácidos se requiere temperaturas elevadas y tiempos largos de reacción.

Algunas plantas en operación utilizan reacciones en dos etapas, con la eliminación del glicerol entre ellas, para aumentar el rendimiento final hasta porcentajes superiores al 95%. Temperaturas mayores y ratios superiores de alcohol:aceite pueden asimismo aumentar el rendimiento de la reacción. El tiempo de reacción suele ser entre 20 minutos y una hora.

En la gráfica 7 se reproduce un diagrama de bloques de un proceso de transesterificación en discontinuo.



GRÁFICA 7 *Proceso de Transesterificación.*

Fuente: Adaptación del gráfico del Grupo de Ingeniería Química y Ambiental (GIQA) de la Universidad Rey Juan Carlos.

#### 4.4.1.2 Proceso Continuo

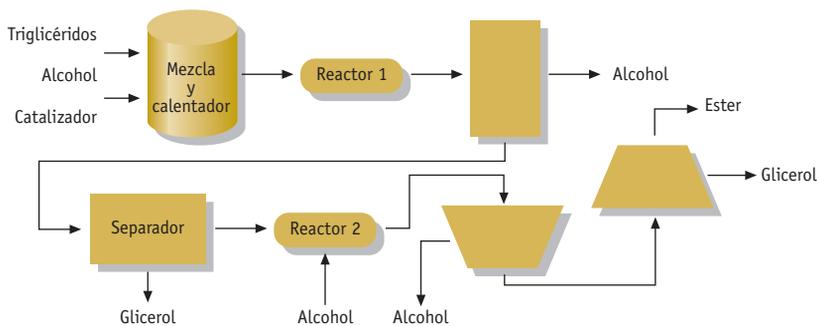
Una variación del proceso discontinuo es la utilización de reactores continuos del tipo tanque agitado, los llamados CSTR del inglés, Continuous Stirred Tank Reactor. Este tipo de reactores puede ser variado en volumen para permitir mayores tiempos de residencia y lograr aumentar los resultados de la reacción. Así, tras la decantación de glicerol en el decantador la reacción en un segundo CSTR es mucho más rápida, con un porcentaje del 98% de producto de reacción.

Un elemento esencial en el diseño de los reactores CSTR es asegurarse que la mezcla se realiza convenientemente para que la composición en el reactor sea prácticamente constante. Esto tiene el efecto de aumentar la dispersión del glicerol en la fase éster. El resultado es que el tiempo requerido para la separación de fases se incrementa.

Existen diversos procesos que utilizan la mezcla intensa para favorecer la reacción de esterificación. El reactor que se utiliza en este caso es de tipo tubular. La mezcla de reacción se mueve longitudinalmente por este tipo de reactores, con poca mezcla en la dirección axial. Este tipo de reactor de flujo pistón, Plug Flow Reactor (PFR), se comporta como si fueran pequeños reactores CSTR en serie.

El resultado es un sistema en continuo que requiere tiempos de residencia menores (del orden de 6 a 10 minutos) –con el consiguiente ahorro, al ser los reactores menores– para la realización de la reacción. Este tipo de reactor puede operar a elevada temperatura y presión para aumentar el porcentaje de conversión.

En la gráfica 8 se presenta un diagrama de bloques de un proceso de transesterificación mediante reactores de flujo pistón. En este proceso, se introducen los triglicéridos con el alcohol y el catalizador y se somete a diferentes operaciones (se utilizan dos reactores) para dar lugar al éster y la glicerina.



GRÁFICA 8 *Proceso de producción de biodiésel mediante reactores de flujo pistón.*

Fuente: NREL

Dentro de la catálisis heterogénea los catalizadores básicos se desactivan fácilmente por la presencia de ácidos grasos libres (FFA) y de agua que favorece la formación de los mismos. Para tratar alimentaciones con cierto grado de acidez, se prefiere la esterificación de los ácidos grasos libres con superácidos [Granados, 2005] que a su vez presentan una elevada velocidad de reacción de transesterificación si bien se necesitan dos reactores con una fase intermedia de eliminación de agua. De este modo, alimentaciones con hasta un 30% en FFA se pueden esterificar con metanol, reduciendo la presencia de FFA por debajo del 1%. Esta etapa previa de esterificación se puede llevar a cabo con alcoholes superiores o glicerina que resulta atractiva en la producción de biodiésel puesto que es un subproducto del proceso.

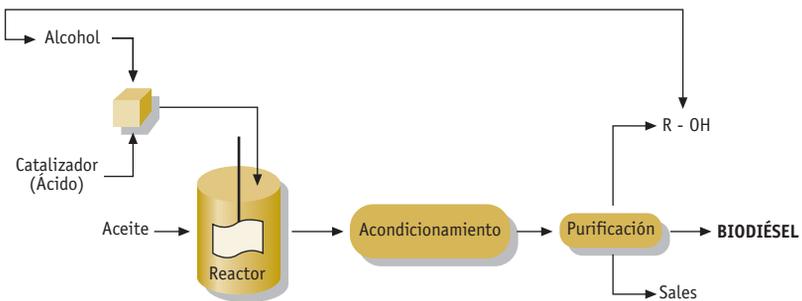
#### 4.4.1.3 Proceso de Esterificación

El más común consiste en el calentamiento de una mezcla del alcohol y del ácido correspondiente -en los procesos de esterificación se suelen utilizar catalizadores ácidos- con ácido sulfúrico, utilizando el reactivo más económico en exceso para aumentar el rendimiento y desplazar el equilibrio hacia la derecha (esterificación de Fischer).

El ácido sulfúrico sirve en este caso tanto de catalizador como de sustancia higroscópica que absorbe el agua formada en la reacción. A veces es sustituido por ácido fosfórico concentrado.

En la práctica este procedimiento tiene varios inconvenientes. El alcohol puede sufrir reacciones de eliminación formando olefinas, esterificación con el propio ácido sulfúrico o de formación del éter y el ácido orgánico puede sufrir decarboxilación.

En la gráfica 9 se observa el diagrama de una planta con proceso de esterificación.



GRÁFICA 9 *Proceso de esterificación.*

Fuente: Adaptación gráfico del Grupo de Ingeniería Química y Ambiental (GIQA) de la Universidad Rey Juan Carlos.

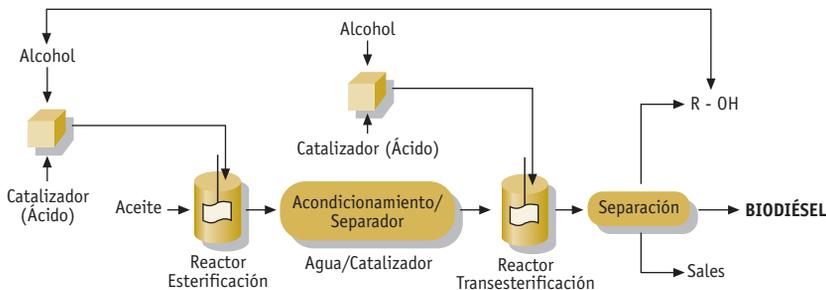
#### 4.4.1.4 Proceso Combinado Esterificación-Transesterificación

Este tipo de procesos refina los ácidos grasos aparte del sistema de alimentación o mediante un tratamiento diferenciado en la unidad de esterificación. Se añaden los catalizadores cáusticos y el producto de reacción se separa mediante centrifugación (proceso llamado Caustic Stripping).

Los aceites refinados son secados y enviados a la unidad de transesterificación para un proceso posterior. De esta manera, los ácidos grasos pueden ser transformados en ésteres metílicos mediante un proceso ácido de esterificación.

Los procesos de catálisis ácida pueden ser usados para la esterificación directa de los ácidos libres (FFA). Una alternativa a esto sería utilizar un catalizador básico para formar deliberadamente jabón en el FFA. El jabón es recuperado, el aceite secado y posteriormente utilizado en un sistema convencional mediante catalizadores básicos.

El diagrama de proceso de esterificación/transesterificación se reproduce en la figura 10.



GRÁFICA 10 Proceso de producción de biodiésel mediante esterificación/transesterificación. Proceso de catálisis ácida. Elaboración propia.

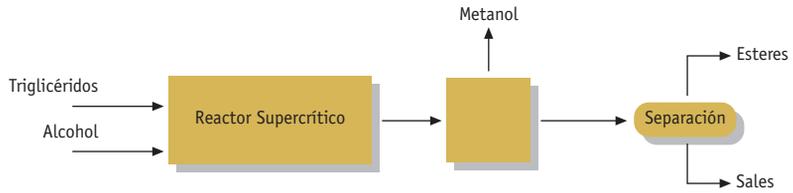
En la reacción de transesterificación-esterificación, por su parte, se puede aprovechar los ácidos grasos subproductos de la reacción de la gráfica 7 para alimentar posteriormente un reactor de esterificación.

#### 4.4.1.5 Proceso en Condiciones Supercríticas

Cuando un fluido o gas es sometido a temperaturas y presiones que exceden su punto crítico, aparecen una serie de propiedades inusuales. Desaparece la diferencia entre la fase líquida y vapor, existiendo sólo una fase de fluido presente. Además, los disolventes que contienen grupos OH, como el agua o alcoholes primarios, toman las propiedades de superácidos.

Un ejemplo de sistema sin catalizadores es el que utiliza un elevado ratio de alcohol:aceite (42:1). Bajo condiciones supercríticas (350 a 400°C y P>80 atm) la reacción se completa en 4 minutos. Los costes de instalación y los costes de operación son más altos y la energía consumida mayor, por lo que aunque los resultados mediante este proceso son muy interesantes, el escalado de estas instalaciones a nivel industrial puede ser difícil.

En la gráfica 11 se representa el diagrama de bloques de un proceso en el que se utiliza un reactor supercrítico, sin necesidad de añadir catalizadores.



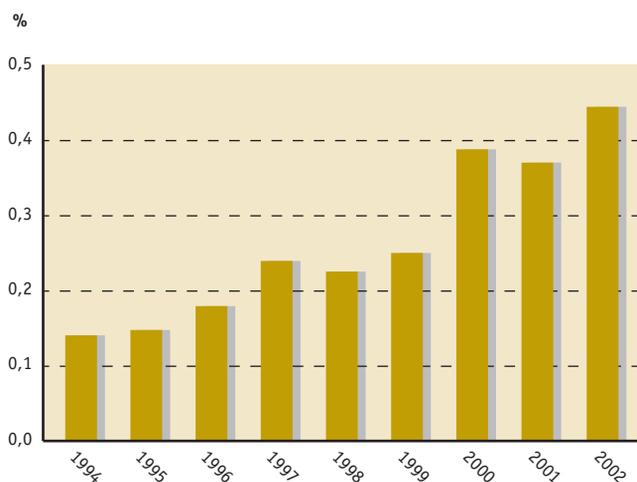
GRÁFICA 11 *Proceso de producción de biodiésel mediante proceso supercrítico.*

Fuente: NREL

## 4.5 Aplicaciones

Los carburantes obtenidos a partir de cultivos y de otras materias orgánicas, los llamados biocarburantes, presentan una serie de ventajas para el sector del transporte. En primer lugar, los biocarburantes pueden contribuir a reducir el crecimiento en las emisiones de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) haciendo posible así que la Unión Europea cumpla los compromisos adquiridos en virtud del Protocolo de Kyoto. Por otra parte, reduciendo la dependencia que el sector del transporte tiene del petróleo (actualmente del 98 %), también pueden contribuir a diversificar y mejorar la seguridad en el suministro de carburante. Asimismo, estos carburantes pueden ser fuentes alternativas de ingresos para las áreas rurales de la Unión Europea.

El porcentaje en España de biocarburantes utilizados en el sector transporte desde 1994 ha ido aumentando constantemente de un año a otro, tal y como se representa en la gráfica 12.



GRÁFICA 12 *Porcentaje de biocarburantes en el consumo total de carburantes en el sector del transporte, 1994-2002.*

Fuente: Asociación Española de Productores de Energía Renovable (APPA).

El biodiésel es una mezcla de ésteres metílicos derivados de los ácidos grasos presentes en los aceites vegetales obtenidos de manera mayoritaria por reacción de transesterificación de los mismos con metanol. Se trata, por tanto, de un combustible renovable con un balance de emisión de  $\text{CO}_2$  bajo, que ayudaría a cumplir los compromisos firmados en el protocolo de Kyoto por España. La reducción de emisiones de  $\text{CO}_2$  al usar biocarburantes no es del 100% puesto que hay que tener en cuenta la energía consumida en el proceso de producción de los mismos, debido a lo cual el balance no es nulo y se emite  $\text{CO}_2$ .

Los ésteres metílicos derivados de los aceites vegetales poseen unas características físicas y fisicoquímicas parecidas al gasóleo, lo que permite mezclarlos en cualquier

proporción y usarlos en los vehículos diésel convencionales, sin realizar importantes modificaciones en el diseño básico del motor. Sin embargo, en proporciones superiores al 5% es necesario reemplazar el material empleado en el circuito de alimentación de combustible por otro más resistente, ya que se puede deteriorar por el mayor poder disolvente del biodiésel.

Para evitar introducir las modificaciones en los motores que se requieren para la utilización de aceites vegetales sin modificar, y mejorar sustancialmente sus características como carburantes, se recurre a transformarlos en sus derivados **ésteres metílicos** o etílicos.

Los aceites procedentes de plantas generalmente contienen ácidos grasos, fosfolípidos y otras impurezas, lo que dificulta la utilización de los aceites como combustible directamente. Pero su gran inconveniente es la elevada viscosidad que tienen, como se puede ver en la tabla 6. Para superar este problema el aceite necesita modificarse químicamente, principalmente por transesterificación, pirólisis o emulsificación. De todos ellos, como ya se ha mencionado, la **transesterificación** es el proceso que produce combustibles de forma más limpia y respetuosa con el medio ambiente.

<i>Propiedad</i>	<i>Gasóleo</i>	<i>Aceite de Girasol</i>	<i>Metil Ester de Girasol</i>	<i>Aceite de Colza</i>	<i>Metil Ester de Colza</i>
Densidad (15°C)(Kg/l)	0,84	0,92	0,89	0,9	0,883
Punto de ignición (°C)	63	215	183	200	153
Viscosidad cinemática (37,8°C)(mm <sup>2</sup> /s)	3,2	35	4,2	39	4,8
Número de cetano	45-50	33	47-51	35-40	52
Calor bruto de combustión (mj/Kg)	44	39,5	40	-	40
Punto de enturbamiento (°C)	0-(+3)	-6,6	3	-	-3
Azufre (% peso)	0,3	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Residuo de carbón (% peso)	0,2	0,42	0,05	-	-

TABLA 8 *Diferencias entre las propiedades del gasóleo, aceites vegetales y biodiésel.*

Fuente: Panoramaenergético.com.

Las formas de utilización de los aceites vegetales o de los ésteres metílicos en los motores diésel (motores de compresión MEC) pueden variar dependiendo de distintos factores. Así, las diferentes maneras de utilización para conseguir un óptimo rendimiento en el motor, pueden ser:

- Adaptación del motor diésel para uso de aceites
- Motores específicos para uso de aceites (Motor Elsbett)
- Mezclas de gasóleo con aceite
- Mezclas de gasóleo con ésteres metílicos
- Mezclas de gasóleo con alcohol

Tanto la adaptación de motores diésel como la mezcla del biodiésel con aceite vegetal, así como la utilización de Motores Elsbett no tienen el grado de implantación y desarrollo que las mezclas de gasóleo con ésteres (sobre todo metílicos) y con alcohol, que se presentan como las opciones más viables comercialmente.

El biodiésel se utiliza además de en automoción, para sustituir al gasóleo C de calefacción. Por otra parte, el biodiésel disuelve los hidrocarburos por lo que también se ha utilizado para limpiar vertidos de hidrocarburos (por ejemplo en el accidente del Erika en la costa francesa). Los ésteres metílicos son también intermedios en la síntesis de muchos productos utilizados en la química fina.

Previamente a describir las aplicaciones, hay que tener en consideración las obligaciones normativas. En ese sentido, de acuerdo con lo expresado por los productores de estos combustibles [Appa], algunas normas no son apropiadas para los biocarburantes y frenan su desarrollo. Dos de ellas son, a su juicio, especialmente nocivas: la obligación de mantener existencias mínimas de seguridad y las especificaciones técnicas.

La obligación de mantener unas reservas estratégicas no tiene en cuenta la naturaleza y el volumen del producto gestionado, y, así, no está definido si los stocks de materia prima, como el aceite usado, contabilizan dentro de ellas o afectan a los suministros a largo plazo. Puesto que la obligación recae sobre el operador que introduce el carburante en el mercado de consumo –que normalmente es el último mayorista de la cadena o el importador–, la situación dificulta la expansión de las redes de distribución.

Respecto a las especificaciones técnicas, la aplicación de los requisitos del carburante fósil al biocarburante conlleva la imposibilidad de comercializar mezclas con más de un determinado porcentaje. En el caso del biodiésel, pasado el 15% o el 20% es necesario comercializarlo puro. La solución, en este caso, puede pasar por elaborar especificaciones concretas para determinados porcentajes de mezcla de carburante o por aplicar las especificaciones que le son propias a cada uno de los componentes de la mezcla por separado.

La aprobación de unas especificaciones técnicas adaptadas a los biocarburantes –al igual que la finalización de los estudios en curso sobre emisiones y rendimientos– es un punto importantísimo para potenciar su utilización por parte de los fabricantes de vehículos y para adaptar la logística del suministro.

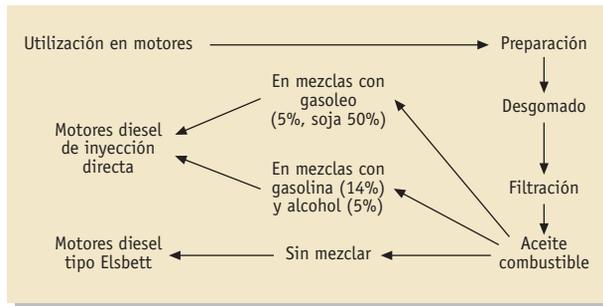
#### 4.5.1 Utilización de biodiésel como combustible

Para la utilización de biocarburantes en motores diésel puede utilizarse bien aceites vegetales (cuya implantación es prácticamente testimonial a nivel industrial), o bien producir ésteres metílicos de aceites vegetales para su utilización como combustible (biodiésel). El biodiésel se puede emplear a su vez puro (como se hace en Brasil y en EE.UU.) o en mezclas de biodiésel/gasóleo, que es la manera de utilización más extendida.

##### 4.5.1.1 Utilización directa de aceites vegetales

La naturaleza de los aceites vegetales plantea una serie de inconvenientes para su utilización directa en motores, puesto que estos precisan de una preparación consistente en un desgomado y filtración previos. Las semillas son prensadas separándose el aceite de la torta, sometiendo normalmente a las semillas a un calentamiento previo y a la acción de un disolvente de cara a conseguir rendimientos de extracción de aceite cercanos al 100%. La torta que se obtiene como subproducto, tiene un alto contenido en proteína por lo cual es posible su comercialización para alimentación animal, con lo que se consigue abaratar los costes del proceso de extracción.

En la gráfica 13 se representa un esquema de las posibilidades de utilización de aceites vegetales como combustibles de automoción.



GRÁFICA 13 *Aceites vegetales como combustible de automoción.*

Fuente: CIEMAT

La naturaleza de los aceites vegetales plantea una serie de inconvenientes para su utilización directa en motores. Así, la utilización de aceites sin transformar requiere, bien realizar una serie de transformaciones en los motores, o bien utilizar motores Elsbett. Ello es fundamentalmente debido a los problemas de viscosidad del biodiésel.

Los ácidos grasos de los aceites vegetales varían en su longitud y en el número de dobles enlaces contenidos en la cadena (reflejado por el índice de yodo). La presencia

de dobles enlaces les confiere que sean aptos para el consumo siendo su funcionamiento mejor a bajas temperaturas, si bien los hace fácilmente susceptibles de oxidación. Por otra parte, largas moléculas con dobles enlaces confiere a los aceites un carácter viscoso que implica una mayor dificultad de bombeo y atomización del combustible en los inyectores, traducido en un menor rendimiento. Los ácidos grasos poliinsaturados tienen una elevada reactividad que los hace susceptibles a la polimerización y formación de gomas, que se forman por oxidación durante el almacenamiento o por una deficiente polimerización térmica y oxidativa.

Por otra parte, cuanto mayor es el grado de insaturación de un aceite, mejor es su funcionamiento como combustible en condiciones de baja temperatura, lo cual es fundamental para un combustible diésel.

Cuando se pretende utilizar aceites vegetales en motores de inyección directa hay que recurrir a mezclas del aceite vegetal con gasóleo, lo que permite, modificando la proporción de los componentes, mantener las características del combustible. En cualquier caso, estas mezclas de aceite vegetal y diésel siguen presentando parte de los problemas asociados a los aceites vegetales, que son:

- Los ácidos grasos polinsaturados tienen una elevada reactividad que los hace muy susceptibles a la polimerización y formación de gomas.
- No se queman completamente dando por resultado depósitos carbonosos.
- Espesamiento del aceite lubricante.
- Elevada viscosidad. Dificultad para el bombeo y la formación de gotas.
- Bajo número de cetano. Combustión deficiente en motores rápidos.
- Comportamiento deficiente en frío. Problemas de bombeo y filtrabilidad.
- Ensuciamiento de inyectores. Déterioro de las prestaciones del motor.

Una solución a estos problemas sería a través de la modificación del motor diésel:

- Precalentamiento del combustible.
- Inyección en precámara. Inyectores autolimpiantes.
- Motores más adiabáticos: cámara de combustión labrada, menor refrigeración.
- Sistema de arranque con gasóleo.

Si bien se ha demostrado que se pueden utilizar en motores diésel sin modificar mezclas de hasta 1:2 (biodiésel:gasóleo), en el caso del aceite de soja [Ma, 1998].

Otra alternativa, es emplear mezclas de aceites vegetales brutos con gasolinas (14%) y alcohol (5%), que se puede utilizar como carburante de los motores diésel de manera directa.

### *Motores Elsbett*

Como se mencionó anteriormente, la utilización de aceites sin transformar requiere, bien realizar una serie de transformaciones en los motores, o bien utilizar motores

Elsbett diseñados por la empresa alemana Elsbett Konstruktion aplicables tanto en motores monocilíndricos como en motores de hasta doce cilindros.

Se trata de un motor adiabático, es decir, que intercambia muy poco calor con el medio y evita entre el 25 y el 50 % de las pérdidas de energía a través del sistema de refrigeración. No dispone del convencional sistema de enfriamiento y esto le permite trabajar a una temperatura más alta y, por tanto, con un rendimiento termodinámico más grande. Por otra parte, tiene la característica de quemar la totalidad del combustible y por esto se puede considerar un motor prácticamente limpio. Además, el hecho de quemar aceite vegetal no libera dióxido de azufre. Es un motor preparado para la combustión de aceite vegetal crudo, sin refinar y sin éterificar, que no carboniza ni deja sustancias residuales, que tiene una eficiencia térmica superior al 40 % (recordemos que un motor de gasolina convencional o diésel no supera el 30 %). Esto quiere decir que este rendimiento más grande le permite proporcionar más energía mecánica útil.

Los elementos mecánicos que le distinguen de un motor diésel convencional son:

- Un pistón articulado con la parte superior aislada térmica y acústicamente situado dentro de una cámara de combustión de forma esferoidal.
- Uno o dos inyectores por cilindro, de un solo agujero y autolimpiables, que inyectan el aceite vegetal a la cámara de combustión tangencialmente y esto permite una perfecta nebulización, es decir, que la mezcla aire combustible es muy fina y esto evita que se hagan depósitos carbonosos.
- La tapa de los cilindros dispone de una pequeña cámara anular por la cual circula el aceite lubricante que se emplea como refrigerante. Ya que el sistema de refrigeración no es con agua, la tapa del cilindro no lleva junta. Un pequeño radiador de aceite permite cerrar el circuito del aceite lubricante refrigerante.

El hecho de que no necesite agua para la refrigeración ahorra piezas, peso y volumen al motor. Otro aspecto importante a destacar es la cámara de combustión esferoidal, la cual permite que haya un exceso de aire en la combustión del aceite vegetal y que se estratifique la temperatura del motor. Así, mientras el núcleo de la combustión puede llegar a los 1.300 °C, en cambio, la zona del contacto del pistón no supera los 650 °C normales de cualquier motor. La temperatura final de los gases de escape solamente es un poco superior a la de los motores diésel convencionales. Asimismo, la combustión se hace con menos cantidad de aire y, por tanto, se reduce la emisión de óxidos de nitrógeno. Las modificaciones del motor Elsbett permiten a los vehículos diésel funcionar tanto con gasóleo como con aceite vegetal con un buen rendimiento termodinámico y sin que se den problemas que afecten al buen funcionamiento del motor.

El motor Elsbett no es el único de los motores conocidos como policarburantes y semiadiabáticos. Sin embargo, sí es el único sistema que se puede aplicar en cualquier motor diésel con una mínima intervención y por un coste razonable de unos 2.500 a 3.200 euros. La intervención consiste, básicamente, en anular la cámara de agua del bloque,

cambiar la tapa de los cilindros y los pistones y añadir un pequeño radiador para el aceite refrigerante. La única condición es que el motor no disponga de elementos cerámicos.

#### 4.5.1.2 Utilización de biodiésel

Para evitar introducir las modificaciones en motores que se requieren para la utilización de aceites vegetales sin modificar y mejorar sus características como carburantes, se recurre a transformarlos en sus derivados ésteres metílicos o etílicos. De esta manera se consigue que las largas cadenas ramificadas iniciales, de elevada viscosidad y alta proporción de carbono se transformen en otras de cadena lineal, de menor viscosidad y porcentaje de carbono y de características físico-químicas y energéticas más similares al gasóleo de automoción. Este biodiésel se puede utilizar bien puro, bien mezclado en distintas proporciones junto con el gasóleo de automoción, que es la forma más habitual de utilización.

En cuanto a sus propiedades como combustible de automoción, las características de los ésteres son más parecidas a las del gasóleo que las del aceite vegetal sin modificar. Así, la viscosidad del éster es ligeramente mayor que la del gasóleo, frente a las 10-20 veces superior de la del aceite vegetal crudo.

El biodiésel necesita contar con una especificación que incluya estas propiedades y garantizar la calidad del producto. La especificación vigente para estos combustibles se basa en la norma europea EN-590 transcrita a la legislación española en el Real Decreto RD398/1996.

El uso de biodiésel en automoción está totalmente extendido en Europa desde los últimos 10-12 años. En países como Alemania y Austria hay más de 1.800 gasolineras que incorporan un surtidor de biodiésel (ya sea 100% o mediante una mezcla del 2% al 30% de biodiésel y el resto de gasóleo).

La razón de realizar una mezcla con gasóleo convencional (EN590), radica en que los aceites vegetales tienen, entre otras cosas, la particularidad de disolver la goma y el caucho. Debido a que estos aceites vegetales son la materia prima para la fabricación del biodiésel, dicho producto también disuelve la goma y el caucho, materiales empleados en la fabricación de los conductos y las juntas del sistema de alimentación de los vehículos (latiguillos o manguitos) por lo que con el uso prolongado de biodiésel 100%, se podrían llegar a degradar dichos conductos, produciendo algún poro o pérdida de combustible (el biodiésel es biodegradable en un 98,3% en 21 días).

Desde mediados de los años 90, casi todos los fabricantes de vehículos (principalmente marcas alemanas), ya han substituido dichos conductos por conductos fabricados con materiales plásticos o derivados, con lo que el biodiésel no los disuelve.

En España, ante la imposibilidad de controlar si los vehículos que repostan en las estaciones de servicio están o no preparados para la utilización de biodiésel 100%, se emplea la mezcla BDP-10 (10% biodiésel + 90% gasóleo), y así cualquier vehículo lo puede utilizar sin ningún tipo de problema.

Otros productores de la Unión Europea, y debido a su política comercial, venden toda su producción a una empresa petrolera, la cual opta por la mezcla del biodiésel en un 5% máximo en todos sus gasóleos. De esta forma se considera al biocombustible como un aditivo porque no altera las características técnicas del gasóleo mineral según la norma EN 590.

Si se incorpora más de un 5%, la mezcla final no cumple la norma EN590, por lo que tendrían que informar y “etiquetar” dicho producto con un nombre diferente al de “Gasóleo ó Diésel” (fuente EBB -European Biodiésel Board)

En los motores de los automóviles, los problemas asociados por utilizar biodiésel como combustible de motores de inyección directa, son los que a continuación se presentan:

- La potencia del motor disminuye, porque el poder calorífico inferior (P.C.I.) del biodiésel es menor
- El consumo de combustible aumenta, ya que el biodiésel contiene menos poder calorífico que el gasóleo.
- Las emisiones de óxidos de nitrógeno generalmente aumentan, consecuencia de las mayores presiones y temperaturas que se alcanzan en la cámara de combustión, que a su vez se deben a un tiempo de retraso de la misma.
- Cuando se utiliza 100% de biodiésel, el aceite lubricante se contamina, debido a la menor viscosidad del éster en comparación a éste.
- Algunos materiales se deterioran con el biodiésel: pinturas, plásticos, gomas, etc. cuando se utiliza 100% de biodiésel.

### *Pros y contras*

El uso de BDP 10 –mezcla de Biodiésel utilizada en España- ofrece las siguientes ventajas e inconvenientes en comparación con el gasóleo convencional.

Ventajas medioambientales frente al gasóleo, al reducirse las emisiones de:

- Monóxido de carbono
- Partículas
- Hidrocarburos
- Dióxido de carbono
- Óxidos de azufre
- Es biodegradable (98,3% en 21 días)
- No es tóxico

Ventajas técnicas frente al gasóleo:

- Mayor lubricidad, con lo cual se alarga la vida del motor y reduce su ruido.
- Mayor poder disolvente, que hace que no se produzca carbonilla ni se obstruyan los conductos y mantiene limpio el motor.

Inconvenientes técnicos:

- El Biodiésel tiene un punto de congelación (equivalente al CFPP del Gasóleo) entre 0° y -5°.
- Con la mezcla BDP10, la temperatura de congelación baja y se ajusta a la normativa española del CFPP para el período de invierno.
- La primera vez que se empieza a consumir Biodiésel BDP 10, y debido a su poder disolvente, puede que se deba realizar el primer cambio de filtros antes de lo normal, dependiendo del nivel de “suciedad” que haya en el motor y en el depósito de combustible del usuario.

El biodiésel más experimentado en motores ha sido el éster metílico obtenido a partir de aceite de colza (EMC) habiéndose realizado estudios en bancos de pruebas y en operaciones de demostración de vehículos con la finalidad de valorar el comportamiento energético y medioambiental del mismo.

En España, **CIDAUT** ha realizado importantes trabajos de caracterización del éster metílico de girasol, que incluyen las determinaciones de las propiedades como combustible, la caracterización en banco motor (potencias, consumos, emisiones), ensayos de ensuciamiento de inyectores, emisiones en Ciclo Europa y ensayo de duración. Analizando el comportamiento del biodiésel en vehículos, se desprende lo siguiente:

- Prestaciones: Leve incremento del consumo y ligera disminución de potencia con mezclas de hasta el 30%. Variaciones mayores con éster al 100% (-7% en potencia y +16% en consumo).
- Emisiones: Disminución importante de CO y hidrocarburos con 100% de éster. En el resto de los casos, similares al gasóleo. Eliminación de SOx e importante disminución de CO2 (gracias al proceso de fotosíntesis).
- Comportamiento en frío: problemas con porcentajes de mezcla superiores al 30%.
- Ensuciamiento de inyectores: mejor comportamiento que el gasóleo. A mayor proporción de éster mejores resultados.

De este modo, como conclusiones a las pruebas realizadas por CIDAUT se puede decir que:

- Las mezclas gasóleo-éster metílico de girasol, y en especial las inferiores al 20% de éster, presentan unas propiedades perfectamente válidas para su utilización en motores diésel.
- Excelente comportamiento en los inyectores de las mezclas gasóleo-éster: el éster actúa como un aditivo antiensuciamiento.
- No se ha detectado ningún tipo de anomalía relevante en ensayos de duración con mezclas entre 10% y 30% de éster con gasóleo.

### 4.5.2 Aplicaciones de la glicerina y su problemática

En la síntesis del biodiésel, se forman entre el aceite y el alcohol, normalmente metílico, ésteres en una proporción aproximada del 90% más un 10% de glicerina. La glicerina representa un subproducto muy valioso que de ser refinada a grado farmacológico puede llegar a cubrir los costos operativos de una planta productora.

La glicerina es eliminada en el proceso cuando se procede al lavado con agua. Sin embargo, la glicerina puede encontrarse en el biodiésel como consecuencia de un proceso inapropiado, como puede ser una insuficiente separación de la fase de glicerina o un insuficiente lavado con agua.

La glicerina se emplea en la fabricación, conservación, ablandamiento y humectación de gran cantidad de productos, éstos pueden ser resinas alquídicas, celofán, tabaco, explosivos (nitroglicerina), fármacos y cosméticos, espumas de uretano, alimentos y bebidas, etc.

Así, como coproducto de la producción de biodiésel se obtiene por tanto glicerina, de calidades farmacéutica e industrial. Estas glicerinas tienen un valor económico positivo y su comercialización forma parte de la rentabilidad del biodiésel. Sin embargo, la creciente oferta de glicerina está provocando ya una disminución de sus precios de venta con la consiguiente problemática de merma de rentabilidad que ello supone para el sector del biodiésel. Al nivel actual de producción, las glicerinas tienen suficientes salidas comerciales actualmente, pero conseguir una producción de biodiésel de la magnitud del objetivo fijado para el 2010 podría tener problemas en la saturación del mercado de glicerina, por lo que es especialmente relevante asegurar los canales de comercialización de este producto. El aumento de la producción de biodiésel no hará más que agravar esta tendencia. A nivel mundial la situación es similar, tratándose de un mercado relativamente pequeño, con una producción mundial en torno a 0,8 millones de Tm según datos del *Institut Français du Pétrole* (IFP), de las cuales unas 100.000 Tm provienen de la producción de biodiésel.

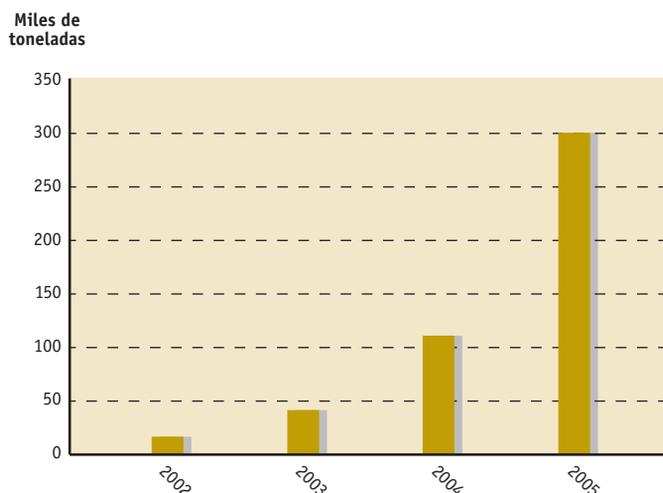
Como conclusión, la glicerina se enfrenta a un reto de investigación y desarrollo de cara a tener una salida para la misma en caso que como es previsible su producción (como subproducto de la reacción de transesterificación) aumente significativamente en los próximos años. Por ello, se deben buscar nuevas salidas y aplicaciones al producto final o bien encontrar nuevas aplicaciones en las que ésta actúe como materia prima química.

## 4.6 Producción de biodiésel

### 4.6.1 Producción de biodiésel en España

Actualmente en España existen 10 plantas que producen biodiésel y decenas se encuentran en proyecto. Sin embargo, sólo 128 [R&B] de las más de 8.500 gasolineras que hay en España ofrecen biodiésel [RER, 2005]; por el contrario en Alemania y Austria este producto se comercializa ya en 1.800 gasolineras.

España experimenta un crecimiento en producción de biodiésel proporcional a la tendencia europea alcanzando, a finales de 2004, casi el 50% del objetivo inicial del PER. En la gráfica 14 se puede observar el crecimiento exponencial experimentado en la producción de Biodiésel en España. Es especialmente significativo el crecimiento conseguido entre el año 2004 y 2005.



GRÁFICA 14 *Producción de biodiésel en España.*

Fuente: Asociación de Productores de Energía Renovable (APPA).

Aunque a finales de 2005 la capacidad instalada en España, de acuerdo con la gráfica 14, es de 300.000 Tm, si se tiene en cuenta que algunas de las plantas no estarán en servicio hasta finales de año y que, por tanto, su actividad será testimonial, la producción de biodiésel en España efectiva para 2005 fue del orden de las 150.000 Tm.

En la gráfica 15 se representa la producción de biocarburantes en España por Comunidades Autónomas para el año 2004.



GRÁFICA 15 *Producción biocarburantes a finales de 2004.*

Fuente: IDEA.

En la tabla 9 se adjuntan las instalaciones de producción de biodiésel existentes en España que se encuentran en producción.

Promotor	Emplazamiento	Capacidad(Tm/a)	Tecnología	Observaciones
Stocks del Vallès	Montmeló (B)	6.000	B.D.I. (A)	En producción (12/02)
Bionor Transformación	Berantevilla (A)	30.000	Nopek (EE.UU)	En producción (05/03)
Bionet Europa	Reus (T)	50.000	AT Agrar (D)	En producción (10/03)
UCM / IDAE	Alcalá de Henares (M)	5.000	UCM	En producción (04/04)
Bionorte	San Martín (As)	4.000	-	En producción (03/05)
Biodiésel Castilla la Mancha	Santa Olalla (To)	10.000	B.D.I. (A)	En producción (05/05)
E.H.N.	Caparroso (Na)	35.000	Lurgi (D)	En producción (05/05)
Biocarburantes Almadén	Almadén (CR)	20.000	Enegea (A)	En construcción (11/05)
General de Bicarburantes	Pontejos (S)	150.000	AT Agrar (D)	En construcción (12/05)
Grupo Ecológico Natural	Palma de Mallorca (IB)	6.000	-En proyecto	
EMTs de Cataluña/ IDAE/Sammet on Plus	Martorell (B)	100.000	-En proyecto	

TABLA 9 *Instalaciones de biodiésel en España.*

Fuente: Grupo de Ingeniería Química y Ambiental de la Universidad Rey Juan Carlos.

A continuación se describen de manera breve algunas de las características de las plantas en funcionamiento:

- La empresa **Bionet Europa S.L.** tiene una planta de nivel precomercial, que utiliza como materia prima aceites vegetales fritos y oleínas. La planta está situada en Reus (Tarragona) y puede producir 50.000 toneladas/año de biodiésel para uso en flotas cautivas de autobuses.

- En el año 2003 se inauguró en Tárrega (Lérida) el primer surtidor en toda España que suministra al por menor biodiésel. El combustible se comercializa con el nombre de BDP 30, proviene de la planta de **Stocks del Vallés** (empresa participada por el Institut Català de Energia) en Montmeló (Barcelona) cuya planta produce 6.000 toneladas/año (ampliable a 18.000) a partir de aceites usados.

Esta empresa catalana, que cuenta con 5.700 clientes y ha producido hasta la fecha 4.000 toneladas, distribuye en 21 gasolineras que cuentan con surtidores de este carburante, la mayoría concentradas en Cataluña. El objetivo es producir 6.000 toneladas anuales, aunque la planta tiene capacidad para producir y almacenar tres veces más. La puesta en marcha de Stocks al Vallés supuso un montante cercano a los cinco millones de euros.

Las primeras pruebas que ha realizado Stocks del Vallés utilizaron los autobuses públicos de Mataró (Barcelona). Se utilizó biodiésel puro, aunque también es posible mezclándolo con gasóleo (hasta un 70%). El consistorio de Madrid también tiene previsto que el 40% de los autobuses de transporte público funcione con este combustible.

- En la **Comunidad de Madrid** existe una planta, cuya construcción se ha desarrollado en los años 2002 y 2003, para la producción de biodiésel de 1.000 – 1.500 toneladas/año y que utiliza aceites vegetales usados que se recogen para su reciclado de restaurantes y establecimientos similares. A partir de esta materia prima, y mediante un proceso desarrollado por el Departamento de Ingeniería Química de la Universidad Complutense de Madrid, se produce un biodiésel que se utiliza, mezclado con gasóleo, como combustible en autobuses públicos de transporte de pasajeros de Alcalá de Henares y Madrid.

La construcción y desarrollo de la planta ha sido liderada por el IDAE, con el apoyo financiero de la Comunidad de Madrid y la colaboración del Ayuntamiento de Alcalá de Henares, que ha cedido la parcela correspondiente. La Universidad Complutense ha aportado la tecnología y el personal técnico y de operación durante la etapa de optimización de la planta.

El proyecto tiene por objeto demostrar la viabilidad técnica del proceso desarrollado a escala de laboratorio por la Universidad Complutense y, una vez acreditada su viabilidad, optimizar el proceso productivo y, así, desarrollar una tecnología comercial española que permita la valorización energética de estos residuos.

La utilización de este biodiésel en vehículos tiene varias ventajas medioambientales. Por un lado, se reciclan aceites vegetales usados, que de otro modo se desecharían directamente. Por otro lado, se reducen las emisiones de contaminantes de los vehículos. La Comunidad de Madrid ha subvencionado esta planta por un importe total de 300.000 €.

- La empresa **Biocombustibles Cuenca S.A.** y la empresa de ingeniería **Técnicas Reunidas, S.A.** comenzó a construir en febrero de 2006 (siendo el plazo de ejecución de 14 meses) la planta de biocombustibles que va a poner en marcha en esta ciudad y que será la mayor de España de sus características y una de las mayores de Europa, con una capacidad de producción mínima de 40.000 Tm de biodiésel al año. Además, será la segunda factoría que procese aceites vegetales vírgenes en España tras la que ha entrado en funcionamiento en Navarra, mientras que ya existen cuatro plantas que procesan aceites reciclados procedentes del uso en la cocina, concretamente, dos ubicadas en Cataluña, una en Alcalá de Henares y la restante en el País Vasco. La factoría se dedicará a procesar aceites vegetales vírgenes para la obtención de biocombustible, fundamentalmente de girasol, aunque también de otros aceites como colza, soja, palma o algodón, ya que se trata de una planta “multiproducto”.
- En Andalucía se creó la empresa **Albatio S.L.**, sociedad de capital mixto integrada por la Empresa pública de Gestión Medioambiental S.A, (**EGMASA**) y Albaida Recursos Naturales y Medioambientales S.A., esta última participada en un 75% por Cajamar, que se dedicará a gestionar aceites usados y grasas animales para su transformación en biodiésel, combustible alternativo al gasóleo procedente del petróleo. Está previsto que en las instalaciones de esta empresa en Níjar (Almería), la primera planta de biodiésel en Andalucía, se produzcan anualmente unas 6.000 toneladas de biodiésel. Para su puesta en marcha se han invertido 7.200.000 euros, el 40% aportado por la empresa dependiente de la Consejería de Medio Ambiente, **EGMASA**.
- En Catarroso (Navarra) se ha inaugurado por parte de la empresa **Acciona Energía** una planta de producción de biodiésel con capacidad de 30.000 toneladas/año. Las plantas (una de biodiésel y otra de bioetanol) se situarán frente a la antigua estación del ferrocarril de Catarroso.  
Según la empresa Acciona Energía la planta de biodiésel ha costado alrededor de 30 millones de Euros, mientras que la de bioetanol alcanzaría los 90 millones.
- La empresa **Repsol-YPF** ha anunciado que piensa construir una planta de biodiésel en León. La planta de obtención de biodiésel que Repsol y Ucogal van a desarrollar en la provincia leonesa logrará una producción final de combustible refinado de 100.000 toneladas. La cifra es casi tres veces superior a la capacidad de las plantas que actualmente extraen combustible biológico a partir de aceites vegetales. Para llegar a esa producción se precisarán hasta 300.000 toneladas de semillas de oleaginosas (colza, soja, nabina o girasol).
- Por otra parte, está en estudio la construcción de una planta de biodiésel en Ferrol por el Instituto Enerxético de Galicia (**INEGA**) y la sociedad **Biodiésel Production, S.A.**
- Asimismo, existen también iniciativas en Asturias y Valencia para la construcción de plantas de biodiésel.

Por último, se presenta en la tabla 10 una relación de las plantas de biodiésel que se encuentran en estudio y proyección. Existen otras más, pero por su importancia y por lo avanzado del estado del proyecto enumeramos las siguientes:

<i>Promotor</i>	<i>Localidad</i>	<i>Provincia</i>	<i>Capacidad (Tm/año)</i>
Grup Ecologic Natural	Llucmajor	Mallorca	16.000
ACOR	Olmedo	Valladolid	66.000
Biodiésel Castilla La Mancha	Ocaña	Toledo	80.000
Biocombustibles Andaluces	Arahal	Sevilla	60.000
Biodiésel Productions	Escombreras	Murcia	250.000
Bioenergética Extremeña 2020 S.L.	Valdetorres	Badajoz	60.000
General de Biocarburantes S.A. (Geobiosa)	Pontejos	Cantabria	150.000

TABLA 10 *Plantas de biodiésel en España en estudio.*

Fuente: CO2-Solutions.

#### 4.6.2 Producción de biodiésel en Europa

Según publica el European Biodiésel Board, la producción de biodiésel, en el año 2004, fue de casi dos mil millones de toneladas, destacando Alemania como primer productor, tal y como se puede ver en la tabla 11, con algo más de la mitad de todo el combustible producido. Esto supone un aumento del 35% respecto a los datos del 2003. En el European Biodiésel Board [RFEB] se detallan las plantas de producción que hay en los diferentes países europeos miembros.

<i>PAIS</i>	<i>Producción en Toneladas</i>
Alemania	1.035.000
Francia	348.000
Italia	320.000
Dinamarca	70.000
Republica Checa	60.000
Austria	57.000
Eslovaquia	15.000
España	13.000
Reino Unido	9.000
Lituania	5.000
<b>TOTAL 2004</b>	<b>1.932.000</b>

TABLA 11 *Producción de Biodiésel en Europa en 2004.*

Fuente: www.ebb-eu.org

Muchas acciones de sensibilización se están llevando a cabo por parte de gobiernos y organismos oficiales para la promoción de las energías renovables y, en particular, del biodiésel.

A título ilustrativo y demostrando el interés que tiene para la UE el fomento de estas tecnologías, se señala que en julio del año 2005 todos los vehículos que transportaban a los líderes mundiales, ministros y técnicos que asistieron a la reunión del G8 en Gleneagles (Escocia), estaban propulsados por biodiésel. Este combustible, fabricado por la empresa Argent Energy, consistía en una mezcla al 5% de diésel mineral de bajo contenido en azufre y biodiésel producido a partir de aceites reusados y grasas vegetales.

Esta proporción, 5% biodiésel y 95% carburante convencional, es la más usada en Europa pero no por ello supone el límite máximo que puede ser utilizado. Varias flotas cautivas Americanas y Canadienses funcionan con mezclas al 20%. En California se distribuye biodiésel sin mezclar, al que se le añaden aditivos para que pueda funcionar hasta -20°C. Esta misma fórmula se está probando en Alemania y Austria.

Un reciente estudio del Departamento de Agricultura de Estados Unidos ha revelado que la capacidad de producción de biodiésel de la Unión Europea podría exceder los cuatro millones de toneladas a mediados de 2006. De acuerdo con el Consejo Europeo de Biodiésel (EBB), la producción de biodiésel de la UE se estima que pasó de 1,45 millones de toneladas en 2003 a 1, 85 millones de toneladas en 2004.

Cerca del 80% del biodiésel de la Unión Europea es elaborado con aceite de semilla de colza, y aproximadamente una tercera parte de la cosecha de esta semilla de 2004 fue utilizada en la producción de biocarburantes. Durante el último año, la demanda de aceite de semilla de colza para la fabricación de combustible ha repuntado en la medida que la Unión Europea está haciendo un esfuerzo por disminuir su dependencia en las importaciones de combustibles fósiles, así como de cortar la emisión de gases invernaderos.

Tal y como se puede comprobar en la tabla 11, Alemania es el principal productor de biodiésel de la Unión Europea. En 2004, Alemania produjo un millón de toneladas de biodiésel, que equivalen al 56% de la producción total de la UE. Se estima que a mediados de 2006, la producción de biodiésel de Alemania oscilará entre 1,9 y 2,1 millones de toneladas. Para esa misma fecha, la producción de biodiésel de Francia podría alcanzar las 700.000 toneladas, la de Italia 525.000 toneladas, en tanto que en Reino Unido podría ubicarse en 250.000 toneladas. De otra parte, se estima que los países con menor capacidad de producción de biodiésel en 2006 serían Dinamarca (35.000 toneladas); Suecia (9.000 toneladas) e Irlanda (5.000 toneladas).

### *Biodiésel en Alemania*

Alemania es con diferencia el país de la Unión Europea con mayor producción de biodiésel, por lo que se refleja en este apartado las características de la producción en este país.

La capacidad de producción alemana de biodiésel en 2004 ascendió a 1,1 millones de toneladas en 2004, y se espera que en 2005 se superen los 1,4 millones de toneladas de Biodiésel [APPA].

Las ventas de biodiésel en 2004 a través de estaciones de servicio en Alemania ascendieron a 376.6 millones de litros, desde los 360.2 millones de litros en 2003 y 189.6 millones de litros en 2002. En 2003, Alemania presentó como dato 800.000 Tm de biodiésel consumidas, lo que significa el 1,4% del consumo total de combustibles. Alemania importa toda la producción danesa de biodiésel (41.000 ton en 2003). Además, tuvo un consumo de 5.000 Tm de aceite puro de colza (0,88% del consumo total).

Para comprender la evolución alemana es interesante destacar el hecho de que hasta el comienzo del 2004, la mezcla de biocombustible no gozaba de exención fiscal, por lo que la producción alemana de biocombustible (biodiésel) ha ido dirigida en exclusiva a la utilización pura del mismo. A partir de enero de 2004, el gobierno alemán eximió a los biocombustibles mezclados con combustibles con el objetivo de dar un mayor impulso al biodiésel y bioetanol en el país. Actualmente, se permiten mezclas de hasta el 5% para el biodiésel, aunque no se descarta que en un futuro se alcancen mezclas de hasta el 40%.



## CAPÍTULO 5

# Bioetanol

- 5.1. Producción de bioetanol (PÁG. 76)
- 5.2. Bioetanol como combustible (PÁG. 85)
- 5.3. El bioetanol como aditivo de las gasolinas: ETBE (PÁG. 87)
- 5.4. Aditivo de mejora de la ignición en motores diesel (PÁG. 88)
- 5.5. Pilas de combustible (PÁG. 89)
- 5.6. Barreras en el uso del bioetanol (PÁG. 90)
- 5.7. Producción de bioetanol (PÁG. 91)

El alcohol etílico o etanol es un producto químico obtenido a partir de la fermentación de los azúcares que se encuentran en los productos vegetales, tales como cereales, remolacha, caña de azúcar o biomasa. Estos azúcares están combinados en forma de sacarosa, almidón, hemicelulosa y celulosa. Las plantas crecen gracias al proceso de fotosíntesis, en el que la luz del sol, el dióxido de carbono de la atmósfera, el agua y los nutrientes de la tierra forman moléculas orgánicas complejas como el azúcar, los hidratos de carbono y la celulosa, que se concentra en la parte fibrosa la planta.

Actualmente, el bioetanol es el biocombustible con mayor producción mundial, del que se elaboraron más de 40.000 millones de litros durante el año 2004 en todo el mundo. Para su fabricación se pueden utilizar una gran cantidad de materias primas. Brasil produjo 15.066 millones de litros, principalmente de caña de azúcar, EE.UU. 13.351 millones de litros, procedentes del almidón del maíz, por resaltar los dos mayores productores, pero también se utiliza remolacha, cereal o residuos forestales. Se está estudiando la posibilidad de cultivar árboles, con alto contenido de celulosa, con el único fin de producir etanol, como pueden ser el chopo o el sauce. Igualmente el cultivo específico de algunas plantas con el fin de producir combustible podría ser una alternativa a las tierras sin cultivo, en el marco de la Política Agraria Común (PAC).

Otra alternativa a las cosechas dedicadas a fines energéticos, es el uso de residuos de procesos agrícolas, forestales o industriales, con alto contenido en biomasa. Estos residuos pueden ir desde la paja de cereal a las "limpias" forestales, pasando por los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) o las cáscaras de cereal o de arroz. Los residuos tienen la ventaja de su bajo coste, ya que son la parte no necesaria de otros productos o procesos, salvo cuando son utilizados en la alimentación del ganado. Los RSU tienen un alto contenido en materia orgánica, como papel o madera, que los hace una potencial fuente de materia prima, aunque debido a su diversa procedencia pueden contener otros materiales cuyo preproceso de separación incrementa mucho el precio de la obtención del bioalcohol.

La utilización del etanol como combustible ha pasado por varias etapas a través de los años. En los orígenes de la industria automovilística fue el principal combustible: los motores de ciclo Otto se diseñaron en principio para utilizarlo, pero posteriormente con el desarrollo de la industria basada en el petróleo los fabricantes de motores se decantaron por esta segunda opción. Cuando se temió por la estabilidad de estos mercados en los años 20 y el posterior embargo petrolífero del año 1973 se volvió a invertir en el desarrollo de bioetanol. El primer país que asumió este reto fue Brasil que a partir de ese año comenzó a mezclar etanol y gasolina en la proporción de 22:78. En 1979 Brasil produjo los primeros automóviles que podían funcionar con alcohol hidratado (95% de etanol y 5% de agua), más tarde, en 1980 la mayor parte de los coches fabricados estaban diseñados para funcionar exclusivamente con etanol.

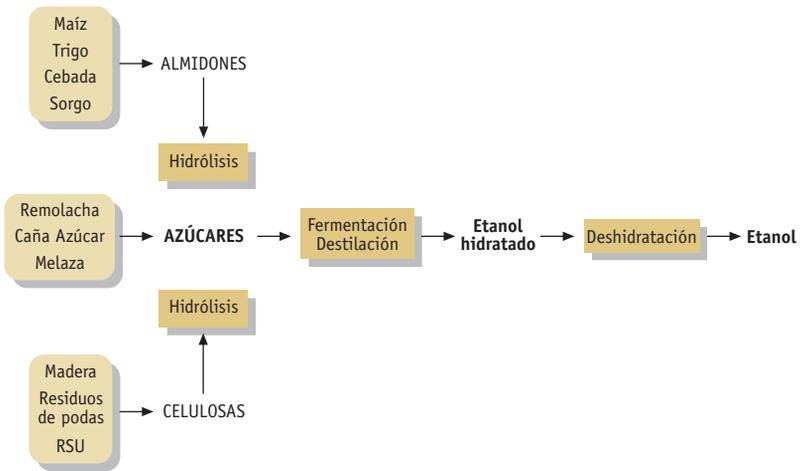
Hasta los años 80 la principal motivación para la producción de etanol fue su uso como combustible alternativo para la automoción, y así disminuir la dependencia de las importaciones de crudo y minimizar el impacto que las fluctuaciones del mercado ocasionan en los precios. A partir de mediados de los 80, a esta motivación se ha unido las políticas de mejoras medioambientales, principalmente en lo relativo a emisiones gaseosas. El creciente interés que han generado en los últimos años los problemas derivados del cambio climático, producido por las emisiones de gases de “efecto invernadero”, ha hecho que se busquen combustibles más respetuosos con el medio ambiente. Al igual que en el caso del biodiésel, la combustión del bioetanol produce el mismo CO<sub>2</sub> que absorbió la planta durante su crecimiento, si se exceptúa el emitido debido a la actividad energética necesaria en el proceso de su producción, por lo que algunos autores dicen que el balance es cero, en cuanto a las emisiones de CO<sub>2</sub>.

El etanol se usa en mezclas con la gasolina en concentraciones del 5 o el 10%, E5 y E10 respectivamente, que no requieren modificaciones en los motores actuales. Un obstáculo importante es la legislación europea sobre la volatilidad de las gasolinas que fija la proporción de etanol en mezclas E5. Concentraciones más elevadas, autorizadas en Suecia y Estados Unidos, permitirían disponer de un vehículo flexible, con un depósito, motor y sistema de combustible único capaz de funcionar con gasolina y etanol, solos o mezclados en cualquier proporción [Cabrera, J. A., 2006]. La otra alternativa para su uso es en forma de aditivo de la gasolina como etil-tercbutil éter (ETBE).

## 5.1 Producción bioetanol

El bioetanol se produce por la fermentación de los azúcares contenidos en la materia orgánica de las plantas. En este proceso se obtiene el alcohol hidratado, con un contenido aproximado del 5% de agua, que tras ser deshidratado se puede utilizar como combustible.

En la gráfica 16 se puede ver, de forma esquemática, el proceso completo de obtención del alcohol, a partir de las principales materias primas que se utilizan para su producción.



GRÁFICA 16 *Proceso de producción de bioetanol. Producción propia.*

Principalmente se utilizan tres familias de productos para la obtención del alcohol:

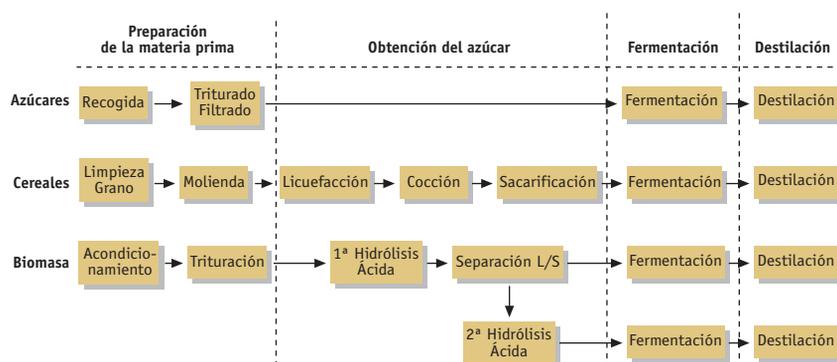
- Azúcares, procedentes de la caña o la remolacha, por ejemplo.
- Cereales, mediante la fermentación de los azúcares del almidón.
- Biomasa, por la fermentación de los azúcares contenidos en la celulosa y hemicelulosa.

Los materiales lignocelulósicos son los que ofrecen un mayor potencial para la producción de bioetanol. Una gran parte de los materiales con alto contenido en celulosa, susceptibles de ser utilizados para estos fines, se generan como residuos en los procesos productivos de los sectores agrícola, forestal e industrial. Los residuos agrícolas proceden de cultivos leñosos y herbáceos y, entre otros, hay que destacar los producidos en los cultivos de cereal. Por su parte, los residuos de origen forestal proceden de los tratamientos silvícola y de mejora o mantenimiento de los montes y masas forestales. También pueden utilizarse residuos generados en algunas industrias, como la papelera, la hortofrutícola o la fracción orgánica de residuos sólidos industriales. Muchos de estos residuos no sólo tienen valor económico en el

contexto donde se generan sino que pueden ser causa de problemas ambientales durante su eliminación [Cabrera, J. A., 2006].

Los residuos de biomasa contienen mezclas complejas de carbohidratos, llamados celulosa, hemicelulosa y lignina. Para obtener los azúcares de la biomasa, esta es tratada con ácidos o enzimas que facilitan su obtención. La celulosa y hemicelulosa son hidrolizadas por enzimas o diluidas por ácidos para obtener sacarosa, que es entonces fermentada. Tres son los principales métodos para extraer estos azúcares: la hidrólisis con ácidos concentrados, la hidrólisis con ácidos diluidos y la hidrólisis enzimática.

En la gráfica 17 se pueden ver las diferentes formas de procesar las materias primas, en función de su origen, para la obtención de sus azúcares.



GRÁFICA 17 Diferenciación de procesos de producción de bioetanol.

Fuente: Abengoa.

A continuación se describen los pasos implicados en los procesos más relevantes de cada una de estas alternativas para la elaboración del alcohol.

### 5.1.1 Acondicionamiento de las materias primas

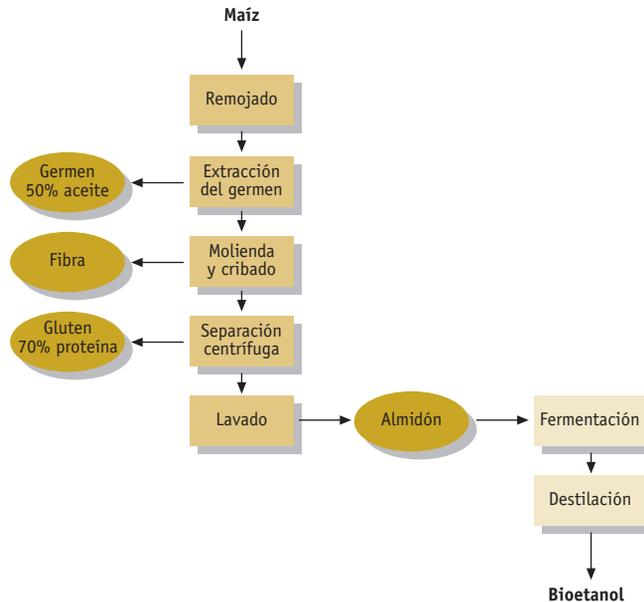
Los cereales son la principal fuente para la producción de bioetanol, destacando el uso del maíz en EE.UU. y la cebada y el trigo en las plantas instaladas en España. Se trata de plantas pertenecientes a Abengoa, primer productor europeo de bioetanol. En el caso de los cereales, para los procesos de preparación de la materia prima y la obtención de los azúcares que contienen, se utilizan principalmente dos tecnologías: Wet milling y Dry milling.

#### Proceso de molido húmedo (Wet Milling Processes)

Esta tecnología se aplica normalmente en plantas con grandes producciones de alcohol y es utilizada por aproximadamente dos tercios de los productores en

EE.UU. Este sistema es elegido cuando se quieren obtener otros subproductos, tales como el sirope, fructosa, dextrosa, etc. además de la producción del alcohol. Es un proceso complejo, dado el elevado número de pasos a seguir en el pretatamiento del maíz y su separación en sus diferentes componentes.

En este proceso, el maíz es “escaldado” en agua caliente, lo que ayuda a romper las proteínas, liberar el almidón presente en el maíz y ablandar el grano para el proceso de molido. El maíz es molido para obtener el germen, la fibra y la fécula. Con el germen se obtiene aceite y la fécula se centrifuga y sacarifica para producir una pasta de gluten húmeda. En la gráfica 18 se puede ver la secuencia sintetizada del proceso.



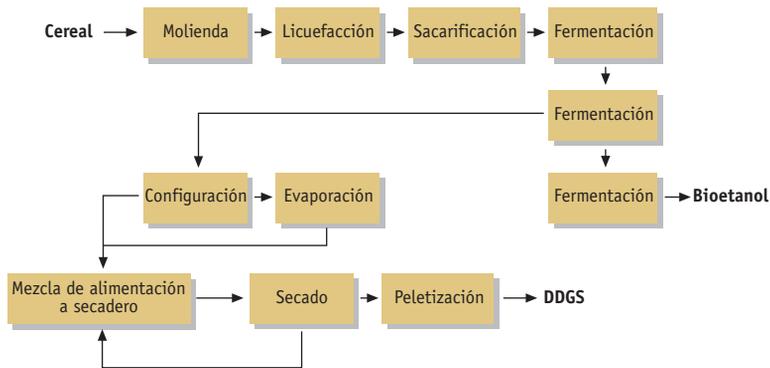
GRÁFICA 18 *Proceso de molido húmedo.*

Fuente: Abengoa.

El proceso comienza con el secado de los granos, posteriormente se inspeccionan automáticamente y se limpian de piedras, trozos de caña o paja y cualquier otra impureza. El maíz se remoja en grandes tanques en una solución que contiene pequeñas cantidades de dióxido de azufre y ácido láctico. Estos dos productos químicos, en agua a una temperatura de unos 50 °C, ayudan a ablandar los granos, en un proceso que puede durar entre uno y dos días. Durante este tiempo el maíz se hincha, luego se ablanda y debido a las condiciones ligeramente ácidas de la disolución se libera el almidón. La siguiente parte del proceso es pasarlo a través de un separador que, principalmente, hace que el germen de los granos flote en la parte superior de la mezcla y sea posible recogerlos fácilmente (debido al contenido de aceite de estos). A partir de ahí primeramente se obtiene la parte fibrosa y posteriormente se separa el almidón de las proteínas por un proceso de centrifugación.

## Proceso de molido en seco (Dry Milling Process)

Este proceso consiste en limpiar y moler los granos de cereal hasta reducirlos a finas partículas por un sistema mecánico. Se produce una harina con el germen, la fibra y la fécula del maíz. Para producir una solución 'azucarada' la harina es hidrolizada o convertida en sacarosa usando enzimas o una disolución ácida. La mezcla es enfriada y se le añade la levadura para que comience a fermentar. En la gráfica 19 se puede ver el proceso detallado.



GRÁFICA 19 *Proceso de molido seco.*

Fuente: Abengoa.

De la masa resultante, una vez obtenido el alcohol, se obtiene un subproducto (DDGS, en inglés Dried Distiller Grains of Solubles, granos secos, solubles, de destilería, que se distribuyen en forma de pellets) que se puede utilizar como alimentación para ganado. Esta tecnología es usada en plantas de pequeño y medio tamaño.

### 5.1.2 Hidrólisis

Las celulosas no pueden ser fermentadas directamente, es necesario convertirla en azúcares más sencillos para su conversión en alcohol. La hidrólisis es un proceso químico que divide la molécula de celulosa por la acción de la molécula de agua. Las complejas estructuras de la celulosa (celulosa, hemicelulosa y lignina) son divididas en diferentes procesos para conseguir una solución azucarada, y eliminar productos de descomposición de los azúcares que pueden inhibir o, al menos, dificultar el proceso de fermentación. Principalmente se realizan procesos de hidrólisis de ácidos concentrados y bajas temperaturas, de ácidos diluidos y altas temperaturas y enzimáticos.

#### *Hidrólisis con ácidos concentrados*

En este proceso se añade entre 70-77% de ácido sulfúrico a la biomasa, que ha sido secada previamente hasta obtener una humedad menor del 10%. La proporción de ácido es de 1:25 por cada parte de biomasa y se mantiene a una temperatura controlada de 50°C.

Entonces se añade agua, para diluir el ácido a un 20-30% de la mezcla, aumentando su temperatura hasta los 100°C. El gel producido en este proceso es prensado para obtener la mezcla de ácido y azúcar, que finalmente son separados. Este es un proceso del que se obtiene rendimientos muy elevados pero a un coste igualmente muy elevado, por lo que industrialmente no se realiza.

### *Hidrólisis con ácidos diluidos.*

Es uno de los procesos de hidrólisis más antiguos, simples y eficientes para la producción del alcohol. El primer paso es mezclar una proporción de 0,7% de ácido sulfúrico con la hemicelulosa presente en la biomasa, para que se hidrolice a 190°C. La segunda parte consiste en optimizar el rendimiento de la reacción con la parte de la celulosa más resistente, para ello se usa un 0,4% de ácido sulfúrico a 215°C. Finalmente los líquidos hidrolizados son neutralizados y recuperados, normalmente mediante percolación.

### *Hidrólisis enzimática*

Consiste en “romper” (hidrolizar) la celulosa por la adición de determinadas enzimas. La celulosa es degradada por las celulasas a azúcares, que pueden ser fermentados por levaduras o bacterias para producir etanol.

En síntesis, el proceso consiste en descomponer la celulosa y la hemicelulosa del residuo en azúcares sencillos y transformarlos en etanol por fermentación. En primer lugar se lleva a cabo un pretratamiento del residuo cuyo objetivo es alcanzar los mejores resultados en las etapas siguientes (hidrólisis y fermentación). Desde el punto de vista económico, esta etapa es crítica, puesto que gran parte del coste total del proceso estaría en esta primera etapa.

Como resultado del pretratamiento se obtiene una disolución de azúcares provenientes de la ruptura de la hemicelulosa y un residuo sólido (constituido principalmente por la celulosa del residuo original).

La hidrólisis enzimática presenta ventajas frente a la hidrólisis química, como menores costes de equipamiento (debido a que se realiza a presión atmosférica y a temperatura próxima a la ambiental), mayores rendimientos y no necesita utilizar agentes químicos.

### **5.1.3 Fermentación del azúcar**

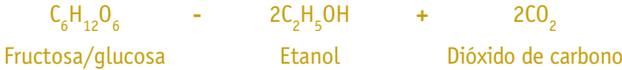
La última etapa del proceso consiste en la fermentación por levaduras de la glucosa liberada a partir de la celulosa, así como la de los azúcares procedentes de la hemicelulosa que se han liberado durante los pretratamientos anteriores.

La levadura contiene una enzima llamada invertasa, que actúa como catalizador ayudando a convertir los azúcares en glucosa y fructosa (ambos  $C_6H_{12}O_6$ ).

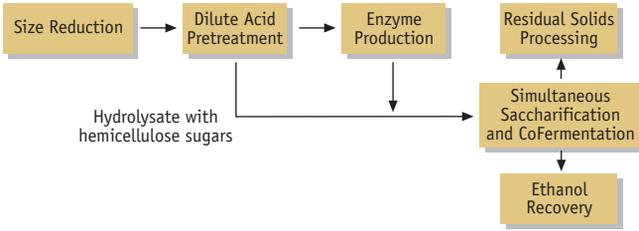
La reacción química es la siguiente:



La fructosa y la glucosa reaccionan con otra enzima llamada zimasa, que también está presente en la levadura para producir el etanol y dióxido de carbono.



Un avance muy importante sobre este proceso fue la introducción simultánea del tratamiento de sacarificación y el de fermentación, patentado por la Gula Oil Company y la Universidad de Arkansas. Este proceso reduce el número de reactores necesarios durante la producción, ya que elimina el reactor separado de hidrólisis, y, más importante aún, evita el problema de la producción de agentes inhibidores asociados a las enzimas [PDE]. A la vez que el azúcar es producido por las enzimas, la fermentación lo convierte en alcohol. Posteriormente este proceso se ha mejorado incluyendo la fermentación de múltiples sustratos de azúcar. A continuación se muestra el proceso de forma esquemática en la gráfica 20.



GRÁFICA 20 *Proceso simultáneo de sacarificación y fermentación de la empresa Gula Oil Company.*

Fuente: D.O.E.

### 5.1.4 Destilación

El alcohol producido por destilación contiene una parte significativa de agua, que debe ser eliminada para su uso como combustible. Para ello se utiliza un proceso de destilación. Dado que el etanol tiene un punto de ebullición menor (78,3°C) que el agua (100°C), la mezcla se calienta hasta que el alcohol se evapore y se pueda separar por condensación de éste.

### 5.1.5 Plantas de producción de bioetanol

En España existen actualmente dos plantas productoras de bioetanol, Ecocarburantes Españoles y Bioetanol Galicia, situadas en Cartagena y A Coruña, respectivamente, que son propiedad de la compañía Abengoa. Esta misma empresa junto con Ebro Puleva prevé inaugurar durante el 2006, una tercera planta, Biocarburantes de Castilla y León, en Babilafuente (Salamanca) [Cabrera, J. A., 2006]. A continuación se detallan brevemente estas plantas junto con los principales proyectos en desarrollo.

#### *Ecocarburantes Españoles*

La planta está situada en el Puerto de Escombreras en la ciudad de Cartagena en la región de Murcia. Fue construida en 1999, y tiene una capacidad de producción de 118.000 toneladas anuales de bioetanol con 130.000 toneladas de pienso animal seco (DDGS). En el año 2000, se ha añadido una planta de destilación de alcohol vínico con una capacidad anual de 50 millones de litros. La planta de Ecocarburantes emplea a más de 80 personas en diversas áreas como el mantenimiento, operaciones, el manejo de material, ingeniería, logística y marketing y comercialización, también incluye la parte de la administración del grupo de negocio de Abengoa Bioenergía.

#### *Bioetanol Galicia*

Esta planta está situada al noroeste de España, en Texeira cerca de A Coruña, Galicia. Fue construida en 2001, con una capacidad de producción de 139.000 Tm/año de bioetanol, 96.000 toneladas de pienso animal seco (DDGS). En el año 2003, se añadió una planta de destilación de alcohol vínico con una capacidad anual de 50 millones de litros. Bioetanol Galicia emplea a 65 personas en diversas áreas como el mantenimiento, operaciones, el manejo de material, la ingeniería, la logística y el marketing y comercialización.

Además estas dos plantas tienen una capacidad de producción que permite exportar a países de la Unión Europea, accediendo a los mercados europeos más rápidamente y de forma más económica.

#### *Biocarburantes de Castilla y León*

Esta planta empezará a producir bioetanol a mediados del año 2006 con una producción estimada de 200 millones de litros de alcohol al año. Ha sido concebida para producir etanol usando como materias primas cereal (trigo, cebada, maíz) y paja de cereal. Cabe destacar que esta instalación industrial no solo utilizará como materia prima para la producción del etanol el grano de cereal sino que también utilizará la paja del cereal, aunque es un proceso laborioso y que empezará a funcionar de forma experimental hasta finales de ese año. Más adelante se pretende

obtener alcohol carburante de productos aún más baratos: residuos forestales y desechos de árboles frutales. Por lo tanto, esta planta será pionera en la utilización de biomasa como materia prima, propiciando paralelamente la eliminación de residuos forestales y vegetales y mejorando la calidad del entorno. Esto sitúa aún más a España en la vanguardia en investigación de sustitutos para los combustibles fósiles. Además, la planta de Biocarburantes de Castilla y León tendrá una capacidad de producción anual de 220.000 Tm de pienso de alto contenido en proteína para la alimentación animal.

Actualmente, los proyectos para construir nuevas plantas se están incrementando, así junto a estas instalaciones en España existen otras en fase de ejecución como las que se citan a continuación.

- En la Comunidad de Castilla-La Mancha **ACCIONA Energía** construye en la actualidad una planta de bioetanol, con capacidad de producir anualmente 33 millones de litros. La planta ubicada en Alcázar de San Juan (Ciudad Real), supone una inversión de 7 millones de Euros y se espera que esté operativa en 2006. La materia prima utilizada serán alcoholes brutos procedentes de la subasta de origen vínico que los Organismos de la Intervención de la UE realizan con objeto de regular el sector. El bioetanol se producirá previa limpieza y deshidratación de estos alcoholes para elevar su pureza del 92% al 99%.
- **Sniece** anunció en Julio de 2005 la construcción de la primera planta de bioetanol en Torrelavega. El coste total de la inversión se ha situado en torno a los 62 millones de euros. La futura planta, cuya construcción está previsto que de comienzo dentro del primer trimestre del 2006 y que previsiblemente se espera que este operativa en el primer trimestre de 2007, utilizará como principal fuente de materia prima el cereal, trigo o cebada y fabricará en torno a las 100.000 toneladas al año (unos 125.000 millones de litros).
- En Septiembre de 2005 se acordó la construcción en la provincia de Zamora, en Barcial del Barco, de una planta de bioetanol. Se espera que dicha planta entre a funcionar en Abril de 2007. La sociedad que construirá esta planta de bioetanol, se llamará **Ecobarcial**. La inversión ascenderá a unos 100 millones de euros y se repartirá entre las entidades participantes en el proyecto lideradas por **Energía de Castilla y León, ENCALSA**, sociedad formada en un 90% por **Biovent** y en un 10% por el **Ente Regional de la Energía de Castilla y León, EREN**. Esta planta tendrá asociada una central de cogeneración con una potencia de 25 megavatios. La futura planta producirá cerca de 100.000 toneladas de bioetanol al año y consumirá alrededor de 325.000 toneladas al año de cereal, principalmente trigo, cebada o maíz.
- A finales del 2005 la Comunidad de Castilla y León anunció su intención de construir una planta experimental de bioproductos, promovida por la Administración Regional, en Villarejo de Órbigo (León), a través del Instituto Tecnológico Agrario de Castilla y León. Es previsible que empiece a funcionar a mediados de 2007. Esta

infraestructura, que supondrá una inversión para el Ejecutivo Regional de 6,7 millones de euros, se dedicará a la investigación de cultivos para el aprovechamiento como materia prima para producir biocarburantes. La Junta de Castilla y León, por otro lado, ya ha puesto en marcha los primeros cultivos de remolacha alcoholera y achicoria en las comarcas del Páramo y el Órbigo en la provincia leonesa para dar inicio a las primeras investigaciones de este centro. Con éstas se llevarán a cabo, entre otras aportaciones, estudios de rentabilidad y posibles aplicaciones del bioetanol.

---

---

## 5.2 Bioetanol como combustible

### 5.2.1 Etanol como combustible único

Históricamente, el primer vehículo que se diseñó para el uso de etanol fue una variante del Modelo T de Henry Ford, que estaba pensado para ser utilizado en las granjas, de forma que sus propios dueños pudieran producir el alcohol a partir de la fermentación del maíz. Posteriormente se desarrolló el Modelo A, que también podía usar tanto etanol como gasolina. Actualmente, para que los vehículos de explosión puedan funcionar con etanol es necesaria una serie de modificaciones, que incluyen el depósito, las conducciones de combustible, los inyectores, el sistema informático de gestión del motor y el sistema anti-sifón. En los últimos años se han desarrollado una serie de vehículos capaces de funcionar tanto con gasolina como con etanol o una mezcla de ambos. Se denominan *Flexible Fuel Vehicles* (FFV). Estos automóviles disponen de un sensor que detecta la relación etanol/gasolina y en función de la mezcla ajustan la carburación del motor. La utilización del etanol modifica la mezcla de aire y combustible tratando de mantener la potencia y el consumo del automóvil en un valor óptimo.

El etanol, como combustible único, es utilizado principalmente en Brasil y Argentina. Su uso con temperaturas inferiores a 15°C puede dar lugar a problemas de encendido, para que esto no ocurra el método más común de solucionarlo es añadirle una pequeña parte de gasolina. La mezcla que se usa más ampliamente es el E85 que está compuesto de un 85% de etanol y un 15% de gasolina.

Desafortunadamente el etanol contiene menos energía por litro que las gasolinas, con lo que su rendimiento es menor, pudiendo llegar hasta un 30% menos, principalmente en modelos antiguos, cuando se utiliza el E85. Saab [SAAB] produce el modelo 95 turboalimentado que asegura una mayor economía que los motores de gasolina, utilizando una mayor relación de compresión, ofreciendo rendimientos semejantes a sus equivalentes con combustibles convencionales.

El etanol tiene un octanaje mucho mayor que la gasolina –entorno a 110– lo que hace que no se quemara de forma tan eficiente en los motores convencionales. El uso continuado de combustibles con una alta proporción de etanol, como el E85, produce corrosiones en el metal y en las piezas de goma.

### 5.2.2 Mezcla directa de etanol y gasolina

Los motores de encendido pueden funcionar con mezclas de hasta el 25% de alcohol deshidratado sin que sean necesarias modificaciones en el motor. No obstante su

rendimiento varía respecto al combustible convencional. Estas son algunas de las diferencias [Ballesteros I., 2002]:

- Reducción de la potencia y el par motor (aproximadamente un 2% para mezclas al 15%)
- Aumento del consumo (4% para mezclas del 15%)
- Aumento de la corrosión de las partes metálicas y componentes de caucho.

Sin embargo, si se ajusta el motor aumentando la relación de compresión, y adaptando la carburación a la nueva relación estequiométrica, se consigue una mayor potencia y par motor (9% con una mezcla del 20% de alcohol), mejora el rendimiento térmico y reduce el consumo (7% con respecto a lo que se obtendría solo con gasolina) y una combustión más perfecta, con menor índice de carbonización y emisión de gases contaminantes (reducción de CO y HC a medida que aumenta el porcentaje de alcohol en la mezcla) [Ballesteros I., 2002]

Brasil es el país que más ha experimentado con la mezcla de alcohol y gasolina, aumentado su proporción hasta un valor del 25%, como se ve en la siguiente progresión:

- 1977 4.5%
- 1979 15%
- 1981 20%
- 1985 22%
- 1998 25%
- Desde el año 2002 entre el 20 y el 25%

Otros países que utilizan estas mezclas son Nicaragua, EEUU, Colombia, Argentina, Australia e India, por poner algunos ejemplos.

Sin embargo, el límite máximo de etanol en Europa está limitado por la especificación del contenido en oxígeno de 2.7%, que supone limitar el uso del etanol al 7.8%. No se proporciona ninguna excepción para la mezcla de etanol por encima del 7.8%. En algunos países europeos se utiliza normalmente una mezcla del 5% de etanol [Abengoa, 2006].

## 5.3 El bioetanol como aditivo de las gasolinas: ETBE

Otra alternativa para el uso del bioetanol como combustibles es transformarlo para su utilización en aditivo de la gasolina, en lugar de cómo su sustituto. Con la introducción de las gasolinas sin plomo, necesarias por el uso de catalizadores para la disminución de las emisiones nocivas, se vio afectado el *número de octano* de la gasolina. Para recuperar el octanaje y reducir las emisiones contaminantes se añadieron aditivos oxigenantes tales como el metanol, etanol, tercbutil alcohol (TBA) o el metil-tercbutil éter (MTBE).

En los últimos años el etil-tercbutil éter (ETBE) se está imponiendo sobre los otros aditivos por ser sus emisiones de hidrocarburos menos tóxicas, debido a que el acetaldehído es mucho menos tóxico que el formaldehído, además de poderse obtener a partir de recursos renovables en lugar del petróleo, como el MTBE. Además, el ETBE es mucho menos soluble en agua que el MTEB, lo que disminuye la posibilidad de contaminar las aguas.

El ETBE presenta dos grandes ventajas sobre el bioetanol, como son su menor afinidad con el agua y una presión de vapor más adecuada que el alcohol, además de no requerir modificaciones en los motores actuales. Por estas razones su uso se está imponiendo en Europa, prevaleciendo sobre la mezcla con la gasolina. En España todo el etanol dedicado a la automoción es convertido a ETBE.

El ETBE se obtiene por reacción catalítica de isobuteno y etanol, en una proporción de 1:0,8, resultando un compuesto con unas cualidades superiores al MTBE y los alcoholes. A continuación se relacionan algunas de sus ventajas [BAUR]:

- Baja solubilidad en el agua, menor que el MTBE.
- Menor contenido de oxígeno (15,7%) que el MTBE (18,2%), por lo que no se necesita modificar el carburador.
- Menor RVP (Reid vapor pressure) (0,27 bar) que el MTBE (0,54 bar) y el etanol (1,22 bar).
- Reducción en la emisión de monóxido de carbono e hidrocarburos inquemados.
- Menor poder corrosivo que los alcoholes.
- Mayor poder calorífico.
- Mayor resistencia a la "separación de fase" que el MTBE.
- Mayor rendimiento de fabricación que el MTBE, a partir de isobuteno.

El ETBE es un buen sustituto del MTBE, que se puede producir en las plantas donde actualmente se produce el MTBE. En España se fabrica en cinco refinerías de las compañías Repsol YPF y Cepsa [SAF, 2003]. En España y en Francia se está usando en mezclas de hasta un 15% del volumen de gasolina (ETBE15) [TOTAL, 2003]. Además el MTBE es un producto nocivo y que está comenzando a prohibirse en algunas zonas, como puede ser el caso del Estado de California, en EE.UU.

## 5.4 Aditivo de mejora de la ignición en motores diésel

La mezcla etanol-diesel, mejor conocido como E-diesel, contiene hasta un 15% de etanol. Comparado con el diesel normal, el E-Diesel (nombre comercial utilizado por Abengoa para este producto) reduce perceptiblemente las emisiones de partículas y otros contaminantes y mejora las características del arranque en frío. Se encuentra actualmente en la etapa de desarrollo y no se comercializa actualmente. ABRD (Abengoa Bioenergy R&D) está trabajando para eliminar las principales barreras técnicas y regulatoras para su comercialización. Estas barreras incluyen:

- Bajo punto de Inflamación y volatilidad en el tanque.
- Posible inestabilidad de la micro-emulsión que evite que el etanol y el diesel se separen a bajas temperaturas.
- Carencia de los datos de pruebas reales para obtener la garantía del fabricantes (OEM).
- Un proceso costoso y largo para conseguir su registro, de acuerdo con las normas sobre emisiones y la salud.

El uso de E-diesel amplía aún más el mercado para las aplicaciones del etanol [Abengoa, 2006].

---

---

## 5.5 Pilas de combustible

Los vehículos eléctricos propulsados por pilas de combustible se consideran por muchos especialistas como la tecnología más prometedora para el transporte rodado a medio plazo [Macleay, 2003]. Cuando esta tecnología esté desarrollada, estos vehículos tendrán una alta eficiencia energética y su única emisión a la atmósfera será de vapor de agua. En una pila de combustible la energía química, que proviene de la combinación de hidrógeno y oxígeno, se convierte directamente en energía eléctrica sin pasar por un proceso de combustión.

Las pilas de combustible para automoción necesitan operar bajo ciertas limitaciones de peso, tamaño y temperatura. Actualmente las *pilas de membrana de intercambio de protones* (PEMFC) se adaptan adecuadamente a estas limitaciones:

- Bajas temperaturas de trabajo, entre 80°C y 100°C
- Alta densidad de corriente
- Rápida respuesta
- Bajo mantenimiento
- Rápido encendido y apagado

El hidrógeno es el combustible óptimo para estos dispositivos, sin embargo las medidas de seguridad y el coste de instalación asociado a la producción del hidrógeno, su almacenamiento, transporte, adaptación de las estaciones de servicio y depósitos de los vehículos abre la puerta al uso de combustibles alternativos al hidrógeno para este tipo de dispositivos. En este sentido el etanol puede ser una alternativa muy válida, al ser más sencillo de manejar que el hidrógeno y poder obtenerse más fácilmente a partir de fuentes renovables.

Actualmente, la investigación trabaja fundamentalmente en dos vías. Por una parte, el reformado de etanol –obtención del hidrógeno– tanto en el vehículo como en la estación de servicio y, por otra parte, el uso de pilas de combustible que funcionen directamente con este alcohol.

## 5.6 Barreras en el uso de bioetanol

Las dos principales barreras para su uso son las siguientes:

### *Afinidad con el agua*

Los sistemas de transporte y almacenamiento deben estar totalmente libres de agua. Incluso pequeñas cantidades de agua en las mezclas etanol-gasolina pueden producir su separación en dos fases, lo que reduce el rendimiento del motor. El etanol puede actuar como un disolvente que facilita la incorporación de agua a las mezclas de etanol-gasolina. El agua se puede almacenar en pequeñas cavidades de los sistemas con hidrocarburos, tales como cañerías, depósitos o sistemas de alimentación. Este agua, a menudo, contiene impurezas que normalmente no ocasionan problemas debido a que no se mezcla con los combustibles y se pueden drenar periódicamente. La mezcla de gasolina con etanol puede arrastrar este agua e incorporarlo al combustible.

Debido a los problemas con el agua, se prefiere no transportar estas mezclas por tuberías, usando en su lugar camiones para llevar el bioetanol hasta los puntos de distribución, principalmente en EE.UU.

### *Presión de vapor*

Aunque el etanol tiene una relativamente baja presión de vapor, cuando se utiliza como aditivo de la gasolina su presión de vapor efectiva es muy alta, llegando a un valor RVP (Reid Vapor Pressure) de 18 psi (124 KPa), lo cual representa una desventaja para su uso. Cuando el etanol se añade a una gasolina formulada adecuadamente, los hidrocarburos con bajo punto de ebullición, como butanos o incluso pentanos, deben ser reducidos para cumplir con las especificaciones de presión de vapor.

Valores bajos de presión de vapor reducen las emisiones debidas a la evaporación, en los procesos de llenado de los tanques y almacenamiento del combustible. Debido a estos beneficios ambientales es de esperar que las especificaciones de este parámetro sigan manteniéndose bajas. En algunos casos, para cumplir especificaciones, es necesario eliminar también el pentano. Esto supone un encarecimiento del proceso de producción de mezclas de etanol y gasolina, por lo que las compañías consideran impracticable reducir más la presión de vapor [Monyem, 2001].

## 5.7 Producción con bioetanol

La tendencia de producción de bioetanol a nivel mundial describe un comportamiento ascendente, lo cual supone una demanda de mercado igualmente positiva. Cabe pensar que dicho comportamiento podría atribuirse a la necesidad internacional de sustituir los combustibles tradicionales debido a las sucesivas crisis que se experimentan en este campo, aunque del mismo modo, el consumo mundial de bebidas alcohólicas está en crecimiento. Todo parece indicar que la demanda de etanol en el mercado mundial tenderá a acrecentarse en los próximos años. En la tabla 12 se recoge la producción de etanol desde el año 2000.

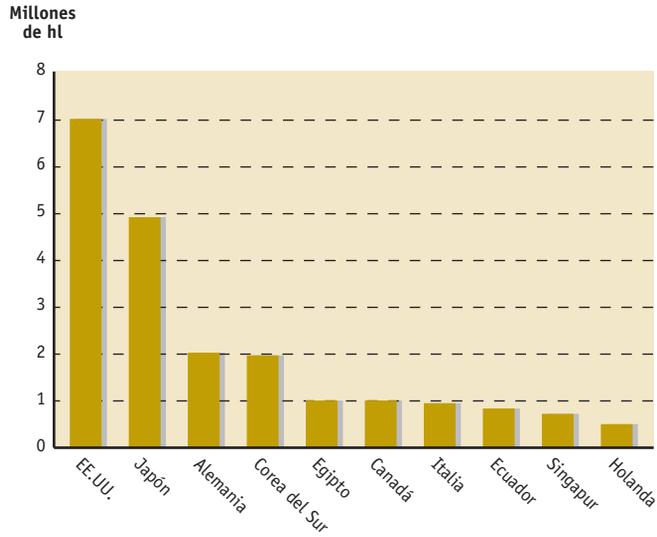
Año	Total	DESTINOS		
		Combustible	Industria	Bebidas
2000	31,8	19,0	9,8	3,0
2001	33,1	20,0	10,0	3,1
2002	34,7	21,0	10,5	3,3
2003	34,8	21,5	10,0	3,3
2004	36,4	22,0	11,0	3,4
2005	37,7	23,0	11,2	3,5

TABLA 12 *Proyección de la producción mundial de alcohol 2001-2005.*

Fuente: Proyecciones F.O. Licht. (Unidad de Medida: millardos de litros).

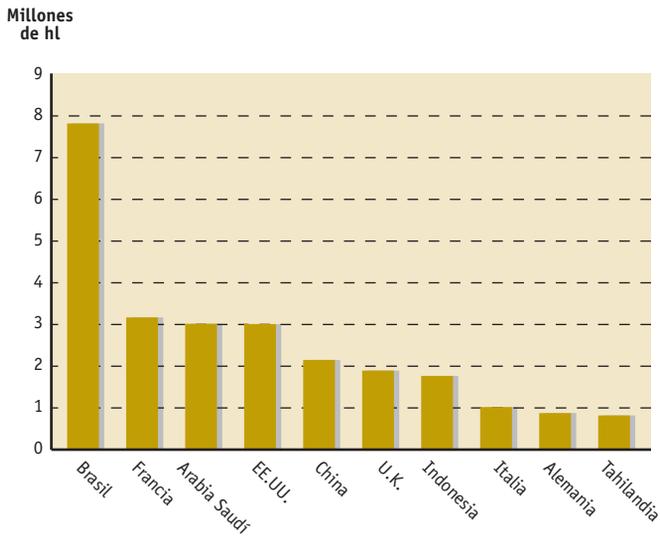
La tabla 12 revela dos características esenciales de la producción mundial de etanol. Lo primero y más importante, se puede observar un crecimiento constante y mantenido durante los últimos 4 años pasando de 31.8 billones de litros en el 2000 a 37,7 billones de litros en el 2005. En segundo lugar, ha de destacarse que el crecimiento en el uso del etanol es más acelerado como combustible que para bebidas o usos industriales. La demanda de etanol para combustible pasa de 19 millardos de litros en el 2000 a 23 millardos de litros en el 2005, y la demanda de etanol industrial pasó de 9.8 millardos de litros en 2000 a 11,2 millardos de litros en el 2005. Estos datos mundiales parecen indicar que la demanda mundial del etanol como carburante está en aumento.

En las gráficas 21 y 22 se muestran los principales exportadores e importadores mundiales de etanol.



GRÁFICA 21 *Los 10 primeros países importadores en 2004.*

Fuente: Imc The World Market for Etanol Challenge and Opportunity.



GRÁFICA 22 *Los 10 primeros países exportadores de etanol en 2004.*

Fuente: Imc The World Market for Etanol Challenge and Opportunity.

De acuerdo a las estadísticas internacionales, Brasil, Estados Unidos e Indonesia, encabezan respectivamente la lista de principales países productores a nivel mundial, acumulando entre ellos un 64.2% de la producción mundial total; la cual ascendió en el año 2003 a 127,87 millones de litros de etanol, como puede verse en la tabla 13.

<i>Orden</i>	<i>País / Área</i>	<i>Cantidad (1)</i>	<i>Valor (2)</i>	<i>% (3)</i>	<i>\$ (4)</i>
1	Brasil	33.835.433	11.740.232	25,72	0,344
2	EE.UU.	26.810.473	10.428.040	22,845	0,392
3	Indonesia	21.565.331	7.148.024	15,66	0,328
4	Argentina	14.770.564	4.732.664	10,368	0,32
5	Tailandia	10.984.465	3.647.256	7,99	0,336
6	Australia	10.128.424	3.536.440	7,747	0,352
7	China	7.305.563	3.256.592	7,134	0,448
8	Pakistán	1.806.990	619.136	1,356	0,344
9	Francia	394.812	446.440	0,978	1,128
10	India	269.474	91.616	0,201	0,336
	<b>TOTAL</b>	<b>127.871.529</b>	<b>45.646.440</b>	<b>100</b>	<b>0,36</b>

TABLA 13 *Producción mundial de etanol en 2003.*

Fuente: Jtrade City, en base a datos de la Japan Tariff Association.

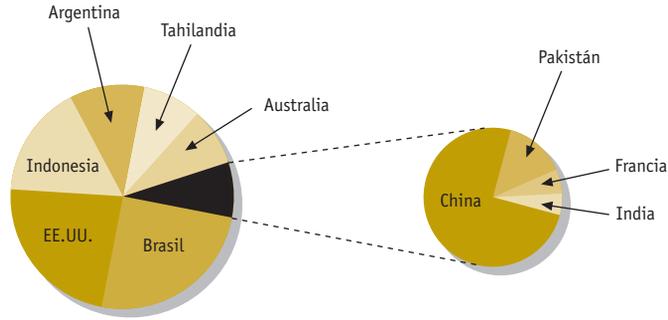
(1) Litros

(2) Cifras Jtrade son suministradas en Yenes. Los datos aquí consignados han sido convertidos a US\$ empleando el tipo de cambio promedio anual para el año 2002 de 125¥ (Yenes) = 1US\$

(3) Participación en el total de importaciones

(4) Precio promedio del año convertido a dólares según el mismo criterio señalado en (2)

Tal y como refleja la tabla 13, el líder indiscutible en la producción de etanol a nivel mundial es Brasil, representante de una de las economías más pujantes y grandes de América Latina. Para poder lograr disminuir esta dependencia de los combustibles no renovables, el gobierno brasileño adoptó varias leyes importantes para promover el uso del etanol como carburante. Del mismo modo, haciendo un análisis por zonas geográficas, tomando en cuenta la firma de los tratados de libre comercio en el continente americano, se puede observar en la gráfica 23 los tres países del continente americano (Brasil, Estados Unidos y Argentina) que están produciendo más del 58% del etanol mundial, lo que coloca a esta zona geográfica en una posición privilegiada en cuanto a experiencia en el tema.



GRÁFICA 23 *Producción mundial de etanol en 2003.*

Fuente: Elaboración Propia

En este sentido vamos a comentar brevemente la política y experiencia de producción de bioetanol de algunos de estos países líderes.

### *Brasil*

Brasil es pionero, primer productor y exportador mundial de alcohol carburante. Esta industria genera 2.5 millones de empleos y ha permitido ahorrar al país casi dos mil millones de dólares destinados a la importación de gasolina.

La experiencia de usar etanol como carburante comenzó en Brasil en los años 30 del siglo XX con una mezcla de 5% en la gasolina. En los años 70, una vez más por el alza de los precios del petróleo, decidieron aumentar el porcentaje de mezcla progresivamente, hasta llegar al 20% a principios de los años 80. En la actualidad, en las calles de Río, Sao Paulo o Bahía, la mayoría de vehículos usan exclusivamente etanol como carburante.

Asimismo, el gobierno brasileño está profundizando la experiencia de usar el etanol. A principios de agosto del 2003, el gobierno aprobó una partida de 855 millones de euros cuyo objetivo es crear un stock de 1.000 millones de litros para asegurar el suministro de etanol durante todo el año; puesto que la caña de azúcar es un cultivo estacionario que no se puede cosechar de forma continua.

Además del plan gubernamental, casi tres cuartas partes de los molineros han firmado un acuerdo comercial con tres sociedades mercantiles internacionales para acumular un stock de 1000 millones de litros para la exportación durante los próximos tres años.

Actualmente, en Brasil, el gobierno no está apostando por los vehículos que utilizan etanol exclusivamente, sino por los de combustión flexible, que les permiten consumir cualquier proporción de alcohol hidratado, dependiendo de los precios relativos en las estaciones de servicio. El motor de combustión flexible ha sido desarrollado por el mayor fabricante de automóviles brasileños.

El gobierno está preparando un paquete de incentivos, instrumentos y medidas para sostener la producción de alcohol si fuera necesario. Han publicado un decreto gubernamental que incluye cinco instrumentos, además de la iniciativa de un stock estratégico: creación de un programa de opciones, aprobación que el gobierno compre y venda stocks de etanol, pago de una prima sobre las compras de etanol al por mayor para incrementar ventas cuando sea necesario y subvenciones para las compras de Pagarés Rurales, una garantía con respaldo gubernamental para ventas futuras que facilite la acumulación de stocks.

Dentro de la experiencia brasileña, se pueden rescatar varias lecciones importantes, entre las cuales se puede mencionar la firme voluntad política del gobierno para promover la producción, comercialización y uso del etanol. Otro factor importante, es el diseño de estrategias de largo alcance para fomentar el crecimiento sostenido del consumo del etanol. Además, hay creación de incentivos claros en todos los eslabones de la cadena para estimular la producción del etanol.

### *EE.UU.*

La industria del etanol estadounidense continúa estableciendo récords mensuales de producción, según los datos publicados por la Administración de Información de la Energía (EIA por sus siglas en Inglés), el récord de junio 2003 fue un 13% más alto que el anterior récord de junio del 2002, el cual era de 530 millones de litros. Las 70 plantas existentes en el 2002 en Estados Unidos tenían una capacidad de producción superior a los 9.650 millones de litros anuales. En este país, el etanol se produce fundamental en base al procesamiento de maíz.

El Senado y el Congreso mantienen conversaciones para consensuar una ley sobre la energía. En un plazo de cuatro años, se prevé la prohibición del MTBE y se implementará un nivel mínimo de combustibles renovables. Con estos nuevos instrumentos legales, se espera un fuerte crecimiento de la demanda del etanol.

Las estimaciones de la demanda de etanol en California para sustituir al metil-tercbutil éter (MTBE) varían entre los 660 y los 950 millones de galones anuales, es decir entre 2.498 y 3.595 millones de litros, representando un incremento en el uso de etanol en el estado de California entre cuatro y seis veces.



## CAPÍTULO 6

### Normativa

6.1. Reforma de la Política Agraria Común (PAC) (PÁG. 100)

En el Plan de Fomento de Energías Renovables 2000-2010, de 1999, se exponen las principales tendencias y aspectos para el desarrollo de un mercado de biocarburos en España. En dicho Plan se establece como objetivo energético una producción y consumos totales de 500.000 tep para 2010, lo que supondría el 1,8% de las previsiones de consumo de combustible para transporte.

La Directiva 2003/30/CE planteó nuevos y mayores objetivos para el consumo de carburantes, estableciendo un aumento sustancial del uso de estos carburantes en el transporte, en particular en el transporte por carretera. Los Estados miembros deberán tomar una serie de medidas para conseguir que en el año 2010 un 5,75% de los carburantes fósiles utilizados actualmente (gasolina y gasóleo) haya sido reemplazado por biocarburos a más tardar el 31 de diciembre de 2010.

El consumo de biocarburos en España ascendió a finales del 2004 a 228,2 Ktep. La relevancia de este dato se encuentra en el hecho de que, hasta el año 2000 no existía ninguna planta de producción de biocarburos en funcionamiento, mientras que a finales del 2004 nuestro país era el primer productor de bioetanol de Europa y había experimentado un rápido avance en la producción de biodiésel. Pero más que los valores absolutos, que muestran que a finales del 2004 ya se había completado el 45,6% del objetivo fijado por el Plan de Energías Renovables para el año 2010, lo importante en este sector es la tendencia de crecimiento continuo en la que se encuentra, que dibuja un escenario de expansión francamente optimista [PER].

A continuación se van a enumerar las normativas y legislación que afectan a los biocarburos y especialmente aquellas relacionadas con el sector del transporte, haciendo un repaso de aquellas que afectan y regulan su uso y establecen las características de los biocarburos. A continuación se describen las más importantes:

- La **Directiva 2003/17/CE** del Parlamento Europeo y del Consejo, de 3 de marzo de 2003, modifica la Directiva 98/70/CE, fijando, fundamentalmente, el contenido de azufre máximo para gasolinas y gasóleo de automoción (clase A), a partir del 1 de enero de 2009, y para gasóleos destinados a ser utilizados en máquinas móviles no de carretera, tractores agrícolas y forestales, a partir del 1 de enero de 2008.
- Por su parte, la **Directiva 2003/30/CE** del Parlamento Europeo y del Consejo, de 8 de mayo de 2003, relativa al fomento del uso de los biocarburos u otros combustibles renovables en el transporte, establece que los Estados miembros deberán velar para que se comercialice en sus mercados una proporción mínima de biocarburos, y contempla para ello, entre otros aspectos, una serie de medidas relativas al porcentaje de mezcla de los gasóleos y de las gasolinas con los biocarburos.
- Asimismo, la **Directiva 2003/96/CE**, de 27 de octubre de 2003 reestructura el régimen comunitario de imposición de los productos energéticos y de la electricidad.

De esta forma, se ha tenido en cuenta el compromiso de España con el uso de los biocarburantes, fundamentalmente en el sector del transporte, lo que ha hecho necesario que se fijen las correspondientes especificaciones en línea con lo afirmado en la exposición de motivos de la Ley 53/2002 [L53, 2002], de 30 de diciembre, de medidas fiscales, administrativas y del orden social, lo que igualmente permitirá la consecución de los objetivos recogidos en el Plan de Fomento de Energías Renovables. Es de destacar a nivel español dos Reales Decretos:

- **Real Decreto 1739/2003**, de 19 de diciembre, por el que se modifica el reglamento de los impuestos especiales
- **Real Decreto 1700/2003**, de 15 de diciembre, por el que se fijan las especificaciones de gasolinas, gasóleos, fuelóleos y gases licuados del petróleo, y el uso de biocarburantes.

Por otra parte, habida cuenta de la dispersión normativa que existe en nuestro país relativo a las especificaciones de gasolinas, gasóleos, fuelóleos y gases licuados del petróleo, parece aconsejable la recopilación de todas ellas en una sola disposición.

Por último, en el **Real Decreto 1700/2003** de 15 de noviembre [RD17, 2003] se recogen en sus anexos las siguientes especificaciones:

- ANEXO II. Especificaciones del gasóleo de automoción (clase A).
- ANEXO III. Especificaciones de los gasóleos clase B y clase C.
- ANEXO IV. Especificaciones de fuelóleos.

## 6.1 Reforma de la Política Agraria Común (PAC)

Como se ha indicado anteriormente en este informe, la producción de biocombustibles líquidos puede suponer una alternativa interesante para aquellas tierras agrícolas que, como resultado de la Política Agraria Común (PAC) [PAC], que limita la superficie dedicada a los diversos cultivos herbáceos extensivos, pueden quedar abandonadas, contribuyendo así a la generación de empleo en el área rural (ver Reglamento CE N°.1259/1999 del Consejo de 17 de mayo de 1999).

Los cultivos herbáceos comprenden un gran número de cultivos de primera importancia, como son el trigo, la cebada, el maíz, el centeno, la colza, el girasol, los guisantes, etc. Estos cultivos ocupan el 40% de la superficie agrícola utilizada en la Unión Europea y están presentes en todos los Estados miembros. Desde 1992, se benefician de un régimen comunitario de ayudas por hectárea, que incluye igualmente medidas de retirada de tierras de la producción. Dicho régimen, primera partida de los gastos presupuestarios de la Unión, se ve afectado de forma muy particular por la reforma de la PAC derivada de la Agenda 2000.

La introducción de ayudas específicas para cultivos energéticos en la PAC es un avance notable respecto de la situación previa, aunque en su conjunto la situación actual se puede caracterizar por las siguientes condiciones:

- El importe actual de la ayuda por hectárea para cultivos energéticos (45 €) es similar al de otras ayudas para fines alimentarios, por lo que la mayor parte de las tierras más productivas se dedican a estos últimos.
- La superficie máxima garantizada para cultivos energéticos dentro de la PAC (1,5 MHa) puede ser insuficiente de cara al cumplimiento del objetivo de biocarburantes. Sin embargo, en caso de utilizarse una superficie mayor se reduciría el nivel de ayuda por hectárea.
- En los terrenos menos productivos, el beneficio del agricultor por cultivos energéticos no compensa en ocasiones el trabajo y el costo de la producción, máxime cuando puede optar igualmente por la opción de forestación de dichos terrenos.
- El procedimiento administrativo para la obtención de las ayudas a cultivos energéticos es más largo, complicado y exigente que en los otros casos.

Algunas de estas barreras podrían eliminarse debido a la situación actual, con un panorama ascendente del precio del barril de petróleo que podría generar una mayor competitividad del fin energético frente al alimentario. Por su parte, una reducción potencial de las ayudas a fines alimentarios (por ejemplo, por una mayor superficie a repartir por la entrada de

nuevos miembros en la UE) podría motivar a algunos agricultores a pasarse a cultivos energéticos, que todavía no han llegado al límite de superficie subvencionable.

Asimismo, debería simplificarse el proceso administrativo para las ayudas a cultivos energéticos, lo que eliminaría importantes barreras de cara a su solicitud por parte de los agricultores.

Sin embargo ninguna de las dos opciones actualmente existentes dentro de la PAC para los cultivos energéticos –la de las tierras de retirada y la de las ayudas directas- está siendo considerada hasta ahora como óptima por los agricultores en España. Las razones de ello hay que buscarlas en la pérdida de ganancia respecto a las ayudas y mercado para fines alimentarios, e incluso si se acogen al segundo caso, muchos no encuentran rentabilidad suficiente en los cultivos energéticos.

La ayuda a los cultivos energéticos forma parte de la estrategia global de la UE para ampliar el lugar de la energía renovable en la UE. Antes del 31 de diciembre de 2006, la Comisión deberá presentar al Consejo un informe sobre la aplicación del régimen de ayuda a los cultivos energéticos. Asimismo, los Estados miembros deberán presentar informes anuales sobre la aplicación de ese sistema.

Fuentes de información sobre la PAC: Reglamento (CE) nº 1782 del Consejo, de 29 de septiembre de 2003 (DO L 270 de 21.10.2003); Reglamento (CE) nº 795 de la Comisión, de 21 de abril de 2004 (DO L 141 de 30.04.2004); Reglamento (CE) nº 796 de la Comisión, de 21 de abril de 2004 (DO L 141 de 30.04.2004); Reglamento (CE) nº 1973 de la Comisión, de 29 de octubre de 2004 (DO L 345 de 20.11.2004). Dirección General de Agricultura y Desarrollo Rural de la Comisión Europea.

### **6.1.1 Las nuevas disposiciones con la PAC**

La producción de cultivos energéticos se ha contemplado históricamente en la PAC y posteriormente se modificó en la reforma del 2003. Bruselas fijó una ayuda especial de 45 €/Ha para este tipo de materias primas, cifra que este sector pretende elevar a 90 €/Ha si se quiere que estas siembras sean atractivas para el agricultor.

Desde la industria agroenergética se apoya el desarrollo de este tipo de producciones para asegurar el abastecimiento de materias primas y evitar importaciones. Desde el sector agrario y la Administración se mantiene la apuesta por los cultivos agroenergéticos como una salida para mantener la actividad en cientos de miles de hectáreas de la España continental, que podrían quedar abandonadas en el futuro por la bajada de los precios y la competencia exterior. Para algunas producciones como la remolacha, el desarrollo del bioetanol puede suponer la única salida para mantener el cultivo tras la última reforma de la OCM.

Este cambio en la política energética, con un mayor uso de materias primas para biocarburantes, puede tener efectos importantes en los mercados en origen. La mayor demanda de bioetanol para combustibles ha supuesto en los últimos dos años duplicar el precio del azúcar en el mundo. La razón ha estado en la decisión de Brasil de destinar una gran parte de sus producciones para biocarburantes y eliminar sus excedentes [ES, 2006].

A continuación se enumeran algunas de las nuevas disposiciones que se establecen con la PAC [APPA]:

### *Cereales*

El precio de intervención (durante el año 2000 fue de 111,19 euros/tonelada) pasó a 110,25 euros/tonelada para la campaña de 2000-2001 (la campaña cerealista comienza el 1 de julio) y a 101,31 euros para la campaña de 2001-2002. Una reducción posterior de los precios de intervención, unida a un ajuste de la ayuda, podrá decidirse a la luz de la evolución del mercado. Paralelamente, las ayudas directas pasaron de 54,34 euros a 58,67 y posteriormente a 63 euros por tonelada, de rendimiento regional histórico de los cereales (para obtener el pago por hectárea, este importe debe multiplicarse por el rendimiento de referencia determinado en los planes de regionalización establecidos por los Estados miembros). El principio de los incrementos mensuales se mantiene; estos son aplicables durante siete meses, de noviembre a mayo. Su importe actual es de 1 euro por tonelada y por mes.

### *Semillas oleaginosas*

El importe de base para el pago de la ayuda directa por hectárea, expresado en euros por tonelada de rendimiento regional histórico de los cereales, se situó en tres etapas, en el nivel del pago de los cereales y de la retirada de tierras: 81,74 euros/tonelada para la campaña 2000-2001, de 72,37 euros/tonelada para 2001-2002 y de 63 euros/tonelada a partir de 2002-2003. Sin embargo, el paso a este último importe, que permite establecer una ayuda única para los cereales, las semillas oleaginosas y la retirada de tierras, dependió del resultado de un informe que la Comisión presentar al Consejo. En el período intermedio, los estados miembros que hayan optado por calcular la ayuda al sector de las semillas oleaginosas a partir del rendimiento regional histórico de las semillas oleaginosas podrán seguir haciéndolo, estableciendo los importes de base mediante la aplicación de un coeficiente de 1,95 (que corresponde a la relación entre los rendimientos medios históricos de los cereales y de las semillas oleaginosas). Por último, las disposiciones del acuerdo de Blair House, que contemplan una reducción de la ayuda en caso de superar estas superficies, se aplicaron durante este período de 2000-2002, sin que el importe de base de la ayuda finalmente pagada pueda ser inferior al importe válido para los cereales y la retirada de tierras.

### *Retirada de tierras*

El porcentaje de base de la retirada de tierras obligatoria se ha fijado en el 10% para el período de 2000-2006; podrá modificarse posteriormente en función de las condiciones del mercado. Como ha sucedido hasta ahora, los productores que lo deseen podrán retirar más del 10% hasta un máximo que se dejará a la apreciación de los Estados miembros. En todos los casos, la ayuda por hectárea para la retirada de tierras es la misma que para el cultivo de cereales.

Con unos precios mundiales más atractivos a medio plazo, los productores europeos podrán participar de forma más dinámica en los intercambios mundiales, en los cuales la demanda es muy probable que sea más constante durante el período de aplicación de la Agenda 2000. La reforma constituye también un signo económico que incitará al conjunto del sector agrícola, en particular a los propios productores, a buscar la mejora de rentabilidad unitaria de las producciones. Para ello serán necesarias tanto la racionalización de las técnicas de producción y de las estructuras agrícolas, la continuación de la asimilación del progreso técnico y de los resultados de la investigación, como la explotación de nuevos mercados, la mejora de la calidad y la reducción de los costes de producción.

A más corto plazo, la aplicación progresiva de la reforma, unida a un porcentaje de retirada de tierras del 10% destinado a frenar el crecimiento de las existencias de intervención, deberá garantizar un buen ajuste coyuntural y facilitar el equilibrio del mercado.



## CAPÍTULO 7

# Empresas con proyectos de biocarburantes

## Relación de empresas españolas que participan en proyectos de biocarburantes:

- ABB T&D SYSTEMS
- ABB TRAF0, S.A.
- ABENGOA
- AC ESTUDIOS Y PROYECTOS, S.L.
- AGUIDROVERT SOLAR (DISTRIBUIDOR Y SERVICIO TÉCNICO), S.L.
- AHORA ENERGÍA, S.L
- ALATEC S.A
- ALCOUZER CONSULTORES
- ALSTOM POWER, S.A.
- ALUMBRO, S.L.
- AMBENE DESARROLLOS ENERGÉTICOS SOSTENIBLES S.L
- AMERICANA DE PROYECTOS, S.A.
- ANDALUZA DE CLIMATIZACIÓN
- APLICACIONES TÉCNICAS DE LA ENERGÍA S.L.
- ARIES INGENIERÍA Y SISTEMAS, S.A.
- ARUP
- ASOC. ESPAÑOLA EMPRESAS ENER. SOLAR Y ALTERNATIV
- ASOC. PROFESSIONALS ENERGIES RENOV. DE CATALUNYA
- ASOCIACION DE LA INDUSTRIA NAVARRA
- ATMEL EFANSA
- BECOSA ENERGIAS RENOVABLES
- BESEL, S.A.
- CADAGUA, S.A.
- CAI INGENIEROS PROYECTISTAS, S.L.
- CALORDOM
- CENTRO DE INVESTIGACIONES ENER, MEDIOAM. Y TECNOL
- CENTRO TECNOLOGICO GAIKER
- CESTERO INSTALACIONES, S.L.
- COENERGIA, S.L.
- COMBUSTION Y SECADO INGENIERIA, S.A.
- CONSTRUCCIONES CORMA, S.A.
- CONSULTING TECNICO DEL NOROESTE, S.A.
- CORSAN EMPRESA CONSTRUCTORA, S.A.
- COTECNO, S.A.
- CT ELECTRICIDAD
- DALKIA ENERGIA Y SERVICIOS, S.A.
- DEPAEX, S.L.
- DYTA ENERGÍA Y MEDIO AMBIENTE
- ECLAREON
- ECOCONSULT INGENIERIA DEL MEDIO AMBIENTE, S.A.
- ECOCYCLIC, S.A.
- ECOGAL
- EGAIN, S.A.
- ENERGIAS RENOVABLES, S.A.
- ENERYET ENERGIAS RENOVABLES, SL
- EOLOSOLAR, S.L.L.
- ESCAN CONSULTORES, S.A.
- ESTUDIOS Y TRATAMIENTO DE LA INFORMACION, S.A.
- EUROCOMERCIAL, S.A.
- EUROTHERM ESPAÑA, S.A.
- EVALUACION DE RECURSOS NATURALES, S.A.

- FACTORVERDE S.L.
- FANOSA, S.L.
- FOSTER WHEELER IBERIA, S.A.
- FUNDACION LEIA CENTRO DE DESARROLLO TECNOLÓGICO
- G.C.A. ENGINYERS ASSOCIATS S.A.
- GAS ENERGÍA IBÉRICA
- GENELEK SISTEMAS, S.A.L.
- GESTION ENERGETICA DE GALICIA, S.A. - GESTENGA
- GREEN POWER TECHNOLOGIES, S.L
- GRUP D'ASSESSORS MEDIAMBIENTALS, S.L.
- GRUP PAISATGE
- GRUPO DE ESTUDIOS Y ALTERNATIVAS 21, S.L.
- GRUPO SUFI
- GUASCOR
- HALO ENERGY LTD
- HC INGENIERÍA, S.L.
- HELIOTECNIA ENRIQUE JARILLO
- HEYMO INGENIERÍA, S.A
- HYDRO MARCOS INGS, S.L.
- IBENER INGENIERÍA, S.L.
- IBERDROLA, INGENIERIA Y CONSULTORIA, S.A.
- IBERICA DE ESTUDIOS E INGENIERIA, S.A.
- ICOGEN, S. A.
- IDEX IBERICA ENERGETICA, S.A.
- IDOM
- INCIR INGENIERÍA Y CIRCUITOS, S.L.
- INDUSTRIAS ELECTROMECHANICAS G.H., S.A.
- INGENIERIA DE LA MADERA FORESTAL Y ENERGETICA
- INGENIERÍA ENERGÉTICA Y DE CONTAMINACIÓN, S.A.
- INGENIERIA ISMAEL CABALLERO S.L
- INGENIERIA MONTAJES Y CONSTRUCCIONES, S.A.
- INGENIERÍA Y PROYECTOS VIENTO, SLU.
- INGENORT. SERVICIOS GEOTÉCNICOS Y RECURSOS NATURALES
- INIMA SERVICIOS EUROPEOS DE MEDIO AMBIENTE
- INSTALACIONES DE ENERGIAS ALTERNATIVAS ALMODOVAR, S.L.
- INSTITUTO DE INVESTIGACION TECNOLÓGICA
- INTERNACIONAL DE INGENIERIA Y ESTUDIOS TÉCNICOS
- ISOLUX WAT, S.A.
- L.G. PROMOCIONES 90, S.A.
- LEVENER, S.L
- LONJAS TECNOLOGÍA, S.A.
- LURGI ESPAÑOLA, S.A.
- MAQUINARIA DEPURACION Y SERVICIOS, S.A.
- MECANICA DE LA PEÑA, S.A.
- MONTAJES INDUSTRIALES TERMI, S.A.
- MPBATA
- NADAL DISEÑOS DE INGENIERÍA, S.L.
- NADREC, S.A.
- OCYASA MEDIOAMBIENTAL, S.L.
- OFITEC, INGENIERÍA Y PROYECTOS, S.L.
- PASCH Y CIA, S.A.
- POWERTEC
- PROYECTOS AUTOMATISMOS Y CABLEADOS, S.C.L.
- RECALOR, S.A.

- RECUPERACION DE ENERGIA S.A.
- RUSSULA, S.A.
- SDAD PARA DESARROLLO ENERGETICO DE ANDALUCIA
- SDAD. ESPAÑOLA MONTAJES INDUSTRIALES S.A.
- SERVICIOS OMICRON, S.A.
- SERVICIOS TECNICOS URBANOS, S.A. GRUPO ACCIONA
- SERVICIOS Y APLICACIONES ONTINYENT S.L.
- SGT ( SERVICIOS DE GESTIÓN TECNOLÓGICA, S.A.)
- SINAIE, ENERGIA Y MEDIO AMBIENTE, S.A.
- SOL POWER PLUS, S.L.
- SOLAER, S.L
- SOLARIS ENERGÍAS RENOVABLES
- SOLARTEC ECOSISTEMAS
- SUMINISTROS BOADILLA, S.L.
- TERMISA ENERGÍA, S.A.
- UMWELTKONTOR ESPAÑA
- UNION FENOSA INGENIERIA, S.A.
- UNITEC S.L.
- URBASER, S.A. - GRUPO DRAGADOS
- VIENSOL
- XCG CONSULTORES, S.A.

Fuente: IDAE

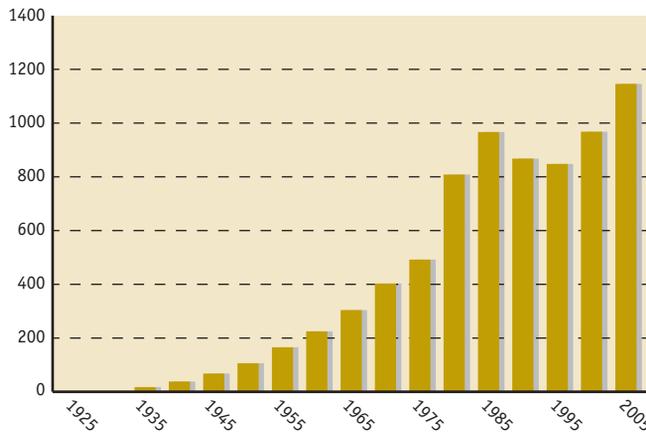
## CAPÍTULO 8

# Patentes en biocarburantes

Las patentes son documentos públicos donde los inventores detallan procedimientos o dispositivos para resolver los problemas que se encuentran, en cualquier campo de la técnica. A cambio los gobiernos les conceden el monopolio de su explotación durante un número limitado de años.

No hay patentes de productos, como tal, de biodiésel, bioetanol o de ésteres etílicos o metílicos, ya que son productos conocidos desde hace mucho tiempo y de utilización común. Lo que se registra son procesos industriales para su obtención, que mejoran los conocidos anteriormente, y otorgan a sus propietarios una ventaja competitiva respecto a sus competidores. Igualmente el proceso de transesterificación es bien conocido en la química orgánica, y sus principales técnicas fueron registradas por **Colgate-Palmolive-Peet** y por **E.I. duPont de Nemours & Company** entre los años 1942 y 1950, siendo 1945 donde se patentaron los principales procesos para su obtención.

El interés en las tecnologías relacionadas con los procesos de producción, mejora de rendimiento, limpieza de glicerina, etc. ha sido creciente, desde los años 50. Como muestra de ello se puede ver, en la gráfica 24, la evolución que ha tenido el número de patentes solicitadas, a nivel mundial, en estos años.



GRÁFICA 24 *Evolución del número de patentes registradas mundialmente en tecnologías relacionadas con el biodiésel.*

Fuente: Elaboración propia.

## Principales patentes que describen el proceso de obtención de biodiésel y glicerina

Patente	Inventor	Titular	Título	Año
US 2.271.619	Bradshaw	E.I. duPont de Nemours & Company	Process of making pure soaps	1942
US 2.360.844	Bradshaw	E.I. duPont de Nemours & Company	Preparation of détergents	1944
US 2.383.579	Allen	Colgate-Palmolive-Peet	Process for treating fats and fatty oils	1945
US 2.383.580	Arrowsmith	Colgate-Palmolive-Peet	Treating Fatty Materials	1945
US 2.383.581	Arrowsmith	Colgate-Palmolive-Peet	Process for preparing fatty materials	1945
US 2.383.596	Dreger	Colgate-Palmolive-Peet	Method of treating fatty glycerides	1945
US 2.383.601	Keim	Colgate-Palmolive-Peet	Treating fats and fatty oils	1945
US 2.383.602	Keim	Colgate-Palmolive-Peet	Process of treatment of fatty glycerides	1945
US 2.383.632	Trent	Colgate-Palmolive-Peet	Process of treating fatty glycerines	1945
US 2.383.633	Trent	Colgate-Palmolive-Peet	Process of treating fatty glycerines	1945
US 2.833.614	Percy	Colgate-Palmolive-Peet	Treatment of fatty glycerides	1945

TABLA 14 *Principales patentes para obtención de biodiésel y glicerina.*

## Otras patentes relevantes

Patente	Inventor	Titular	Título	Año
US 2.824.122	Kuceski	C P Hall Company	Purification of alpha, omega alkanedioic acids by partial esterification	1958
US 3.692.822	Hay	Gulf Research & Development Company	Process for preparing esters	1972
JP 53.114.806	Kawahara	Kao Corporation	Process for producing lower alcohol esters of fatty acids	1979
JP 56.120.799	Matsukura	Lion Corp.	Process for the preparation of high-quality fatty acid esters	1981
US 4.473.444	Feldman	National ditillers and chemical corporation	Extractive distillation of alcohol-ester mixtures	1984
US 4.668.439	Billestein	Hoechst Aktiengesellschaft	Process for the preparation of fatty acid esters of short-chain alcohols	1987

## Otras patentes relevantes Continuación

Patente	Inventor	Titular	Título	Año
US 4.976.892	Jeromin	Henkel Kommanditgesellschaft auf Aktien	Process for the pre-esterification of free fatty acid in fats and oils	1987
EP 0.127.104	Lepper	Henkel Kommanditgesellschaft auf Aktien	A process for the production of fatty acid esters of C1-4 aliphatic alcohols from fat and/or oils containing free fatty acids	1987
EP 0.321.777	Matsumoto	The Japan research and development association for bioreactor system	Process for transesterification of fat and oil	1989
US 5.354.878	Connemann		Process for the continuous production of lower alkyl esters of higher fatty acids	1994
EP 0.641.854	Kesling	Arco Chemical Technologies	Diesel fuel	1994
US 5.455.370	Demmering	Henkel Kommanditgesellschaft auf Aktien	Process for the production of fatty acid lower alkyl esters	1995
EP 0.494.177	Assmann	Henkel Kommanditgesellschaft auf Aktien	Continuous process for the production of lower alkyl esters	1996
US 5424467	Bam		Method for purifying alcohol esters	1996
US 5.525.126	Basu	Agricultural Utilization Research Institute	Process for production of esters for use as a diesel fuel substitute using non-alkaline catalyst	1996
US 5.578.090	Bradin	BRI	Biodiésel fuel	1996
US 5.520.708	Johnson	Iowa State University Research Foundation Inc.	Soybean oil ester fuel band	1996
US 5.7313.965	Foglia	The United States of America as represented by the secretary of Agriculture	Production of biodiésel, lubricants and fuel and lubricant additives	1998
US 6.015.440	Noureddini	Board of regents of the University of Nebraska	Process for producing biodiésel fuel with reduced viscosity and a cloud point below 32 deg. Fahrenheit	2000
US 6.174.501	Noureddini	Board of regents of the University of Nebraska	System and process for producing biodiésel fuel with reduced viscosity and a cloud point below thirty-two (32) degrees Fahrenheit	2001
US 6.399.800	Hass	The United States of America as represented by the secretary of Agriculture	Process for production of fatty acid alkyl esters	2002

## Otras patentes relevantes Continuación

Patente	Inventor	Titular	Título	Año
US 6.447.557 US 6.447.558 US 6.458.176	Yeh	ExxonMobile Research and engineering company	Diesel fuel composition	2002
EP 1607467	Furuta	Japan Energy Co.	Process for producing ester through transesterificación with acid catalyst	2005

TABLA 15 *Otras patentes relevantes.*

## Patentes que describen el proceso de obtención de bioetanol, ETBE y MTBE

Patente	Inventor	Titular	Título	Año
US4297172	KYLE	UNIV KANSAS STATE	Low energy process of producing gasoline-ethanol mixtures	1981
US 4.440.963	Childs	Phillips Petroleum Co.	Production of MTBE and ETBE	1984
FR2474527	KIRBY	COMMW SCIENT IND RES ORG	Production of ethanol by fermentation	1984
US4517298	TEDDER	GEORGIA TECH RES INST	Process for producing fuel grade ethanol by continuous fermentation, solvent extraction and alcohol separation	1985
DE3523790	KUECKENS	TECHNICA ENTWICKLUNG	Process for producing ethanol-based motor fuels and heating materials	1987
US 5.248.836	Bakshi Amarjit	Chemical Res & Licensing	Process for preparation of ETBE	1994
US 5.372.939	Lastik	US ARMY	Combined enzyme mediated fermentation of cellulosic and xylose to ethanol by Schizosaccharomyces pombe, cellulase, beta-glucosidase, and xylose isomerase	1994
CA 2.416.500	Gaddy	BioengineeringResources Inc.	Method for increasing the production of ethanol from microbial fermentation	2003
W02005044767	Goto Shigeo	Suzuki Takahiro	Method for producing ETBE with hydrous ethanol	2004
W02004046333	Otto	Novozimes North America Inc.	Ethanol production by simultaneous saccharification and fermentation	2004
JP2004208667	Minoru	Minoru	Method for producing ethanol by utilizing biomass resource	2004

TABLA 16 *Patentes obtención bioetanol, ETBE y MTBE.*



## CAPÍTULO 9

### Referencias

- Abengoa Bioenergy, 2006, Utilización del bioetanol  
<http://www.abengoabioenergy.com/research/index.cfm?page=9&lang=2>
- APPA, Asociación de Productores de Energías Renovables (APPA).  
<http://www.appa.es>
- Ballesteros, I, 2002, Situación Actual y Futuro de la Biomasa: Producción de Biocombustibles líquidos, Bioetanol y ETBE. CIEMAT.
- Baur, B. Kim, P.E. Jenkins y Y. Cho, 1990. Performance analysis of SI engine with ethyl tertiary butylether (ETBE) as a blending component in motor gasoline and comparison with other blending components. Center for Engine Technology. Mechanical Engineering Department. University of Nebraska-Lincoln.
- BBF, Biodiésel in bus fletes, The Kreiswerke Heinsberg's GMBH and Stadtwerke Neuwied's experience.
- Castaño, V., 2002. Curso: Situación actual y futuro de la biomasa, CIEMAT, tema 12. La experiencia de CIDAUT con biodiésel.
- Chang et al., 1996. Fuel properties and emissions of soybean oil esters as diesel fuel. Journal of American Oil Chemistry Society; 73(11): 1549-55.
- Cabrera, J.A., 2006. Informe CIEMAT.
- CNE, Comisión Nacional de la Energía.  
<http://www.cne.es>
- CPC.  
[http://www.cpc.at/itc\\_frameset\\_e.html?](http://www.cpc.at/itc_frameset_e.html)  
[http://www.cpc.at/itc/biodiésel/fahrzeuge\\_e.html](http://www.cpc.at/itc/biodiésel/fahrzeuge_e.html)
- Dorado M. P., Ballesteros E., Almeida J.A., Schellet C., Lohrlein H.P., Krause R., 2002. An alkali-catalyzed transesterification process for high free fatty acid oils. Trans. ASAE; 45(3): 525-9.
- DPE, Directiva 2003/30/CE del parlamento Europeo y del Consejo, del 8 de mayo de 2003.
- EBE, APPA & Price WaterHouse Coopers, 2005. Una estrategia de Biocarburantes para España (2005-2010), adaptación a los objetivos de la Directiva 2003/30/CE.
- EN-590. Especificación Diesel CEN (EN 590:1993).
- ES, El País, 19 de Febrero de 2006, suplemento Negocio, página 7
- ESSE, 2005. Estudio de la situación del sector energético nacional. RENOVALLIA. Informe cuestionario 2005.
- Freedman B., Butterfield R.O., Pryde E.H., 1986. Transesterification kinetics of soybean oil. Journal of American Oil Chemical Society, 63(10): 1375-80
- Freedman B., Pryde E.H., Mounts T.L., 1984. Variables affecting the yield on fatty esters from transesterified vegetable oils. Journal of American Oil Chemical Society, 61(10): 1638-43.

- Fuduka H., Kondo A., Noda H., 2001. Biodiésel fuel production by transterifications of oils, J. Biosci. Bioeng. 92(5):405-16.
- Van Gerpen J. H., Hammond E., Johnson L., Marley S., Yu L., Lee I., Monyem A., 1996. Détermining the influence of contaminants on biodiésel properties. Society of Automotive Engineers, paper n° 971685.
- Geyer, Jacobus and Lestz, 1984. Comparison of diesel engine performance and emissions from neat and transesterified vegetable oils. Transaction of the ASAE 1984; 27(2): 375-81.
- Lopez-Granados M., Mariscal R., 2005. Catalizadores para mejorar el medio ambiente. Instituto de Catálisis y Petroleoquímica.
- Gryglewicz S., 1999. Rapeseed oil methyl esters preparation using hétérogeous catalysts. Bioresour. Technol., (70): 249-53.
- IIE, Implications of Increased Ethanol Production for U.S. Agriculture, 2005. Food and Agricultural Policy Research Institute.
- ITC, ORDEN ITC/1038/2005, de 14 de abril, por la que se efectúa la convocatoria del año 2005, para la concesión de las ayudas del Programa de Fomento de la Investigación Técnica dentro del Plan Nacional de Investigación Científica, Desarrollo e Innovación Tecnológica (2004-2007), en la parte dedicada al fomento de la investigación técnica.
- Canakci M., Redil A., Arcaklioglu, E., 2006. Performance and exhaust emissions of a biodiésel engine. Applied Energy 83, Issue 6, 594-605.
- L38, La Ley 38/1992 de 28 de diciembre de Impuestos Especiales.
- L53, Ley 53/2002, de 30 de diciembre, de Medidas Fiscales, Administrativas y del Orden Social.
- LBC, 1997. Libro Blanco de la Comisión Europea de Energías Renovables.
- López D. E., Woodwin Jr. J. G., Bruce D. A., Lotero E. , 2005. Transesterification of triacetin with methanol on solid acid and base catalysts. Applied Catalysis A: General 295: 97-105.
- Ma F., Clements L.D., Hanna M.A., 1998. The effect of catalyst, free fatty acids, and water on transesterification of beef tallow: Trans ASAE 41(5): 1261-4.
- MacLean H., Lave L., 2003. Evaluating automobile fuel/propulsion system technologies. Progress in Energy and Combustion Science, Pergamon (29): 1-69.
- Meher L.C., Vidga S., Naik S. N., 2006. Technical aspects of biodiesel production by transesterification – a review. Renewable & Sustainable Energy Reviews, Volume 10, (3): 248-268.
- Mohamad I.A.W., Ali O.A., 2002. Evaluation of the transesterification of waste palm oil into biodiésel. Bioresources Technology, (85): 25-256.
- Monyem A., Germen J. H., 2001. The effect of biodiésel oxidation on engine performance and emissions. Biomass & Bioenergy (20): 317-325
- MRS, Committee to Review the R&D Strategy for Biomass-Derived Ethanol and Biodiésel Transportation Fuels. Review of the Research Strategy for Biomass-Derived Transportation Fuels. National Research Council Staff. (1999)

- NAB, Normas Alemanas para Biodiésel (DIN V51606).
- PAC, Política Agraria Común. Unión Europea. (2003)
- PDE, U.S. Dep. of Energy, 2005  
[http://www1.eere.energy.gov/biomass/process\\_description.html](http://www1.eere.energy.gov/biomass/process_description.html)
- PECM, Plan Energético de la Comunidad de Madrid 2004-2012.
- PERE, Plan de Energías Renovables en España 2005-2010.
- PERER, Plan de Energías Renovables en España 2005-2010. Resumen.
- PFER, Plan de Fomento de las Energías Renovables 2000-2010.
- RCE, Reglamento CE N°.1259/1999 del Consejo de 17 de mayo de 1999
- RD17, Real Decreto 1700/2003, de 15 de diciembre.
- RD1728, Real Decreto 1728/1999
- RD398, Real Decreto 398/1996
- RFEB, Relación de Fabricantes agrupados en el European Biodiésel Board.  
<http://www.ebb-eu.org/members.htm>.
- RGB, European Biodiésel Board, 2006. Relación de gasolineras que ofrecen biocarburantes.  
<http://www.biocarburante.com/index.php/biogasolineras/>
- SAAB, Saab, 2005.  
<http://www.saab.com/main/GLOBAL/en/pressreleases/recent/7/index.xml>
- SAF, 2003. Utilización de biocombustibles líquidos en motores. La experiencia de Repsol YPF con bioetanol. Curso: Situación actual y futuro de la Biomasa. CIEMAT.
- SEE, Ley 54/1997 del Sector Eléctrico en España.
- Tomasevic A.V., Marinkovic S.S., 2003. Methanolysis of used frying oils. Fuel Processing Technologies, (81): 1-6.
- TOTAL, TOTAL Paths to Sustainable Development. France, 2003. Available on the web  
[http://www.total.com/static/en/medias/topic103/Total\\_2003\\_Paths\\_to\\_Sustainable\\_Development.pdf](http://www.total.com/static/en/medias/topic103/Total_2003_Paths_to_Sustainable_Development.pdf)
- VD, 2004. <http://www.villesdiester.asso.fr/1.association/Hassos.html>
- Vicente G., Martínez M. y Aracil J., 1998. Ésteres metílicos como combustible. Materias primas y propiedades, Tecno-Ambiente 85 (10), 9-12.
- Vicente G., Martínez M. y Aracil J., 2001. Biodiésel: una alternativa real al gasóleo mineral. Ingeniería Química 377 (3), 135-145.

## CAPÍTULO 10

### Glosario

**Agua, contenido en:** El biodiésel tiene tendencias higroscópicas, por lo que puede absorber pequeñas cantidades de agua de la atmósfera. Esta situación dificulta la elección del valor de la especificación de esta propiedad. Además, para que el biodiésel sea de suficiente calidad no debe contener agua, ya que se producirían problemas en el motor y se aceleraría la velocidad de desgaste del sistema del combustible.

**Ayudas por hectárea:** instauradas por la reforma de 1992 con el fin de compensar la reducción de los precios garantizados, estas ayudas son fijas y están vinculadas al rendimiento medio histórico (calculado sobre el período de 1986-1990). Para obtenerlas, cada Estado miembro establece un plan de regionalización teniendo en cuenta factores específicos como la fertilidad de los suelos que influyen en los rendimientos. La zona en cuestión no debe superar la superficie de base regional, es decir, el número medio de hectáreas de una región que se han dedicado a cultivos o se han puesto en barbecho en el marco de un régimen de ayudas públicas en 1989, 1990 y 1991. Para la colza, la soja y el girasol, esta regionalización se realiza a partir de los rendimientos medios de las oleaginosas o los cereales. Para las proteaginosas y el lino no textil, la compensación se basa en el rendimiento cerealista. Por último, para el maíz, puede fijarse un rendimiento específico eventualmente subdividido entre zonas regadas y zonas no regadas. En las zonas definidas de esta forma, la ayuda por hectárea se calcula multiplicando el importe de base por tonelada por el rendimiento cerealista medio histórico de la zona (para las semillas oleaginosas, eventualmente su rendimiento medio específico).

**Azufre, contenido en:** El contenido en azufre de un combustible es una medida de la cantidad de los óxidos de azufre emitidos a la atmósfera. Los óxidos de azufre son los principales responsables de la lluvia ácida. Esta propiedad depende de la materia prima del proceso y, en este sentido, los aceites y las grasas no presentan contenidos en azufre detectables.

**Cenizas:** El contenido en materia inorgánica, como restos de catalizador, viene determinado por el contenido en cenizas. Un valor elevado de este parámetro supone la formación de residuos en la cámara de combustión del motor.

**Contenido de fósforo:** Si el biodiésel contiene cantidades elevadas de fósforo, las emisiones de partículas serán también elevadas. Además, reducen el tiempo de vida de los catalizadores de oxidación de los motores diésel. El contenido en fósforo de los ésteres depende de la materia prima. Para el caso del aceite vegetal dependerá a su vez del grado de refinado, por lo que si el aceite está totalmente refinado, el valor de esta especificación será despreciable, pero si no lo está puede contener cantidades cercanas a las 100 ppm.

**Corrosión al cobre:** Es una medida de la velocidad de corrosión del combustible en los motores. En este sentido, es necesario separar los restos de catalizador del biodiésel antes de su utilización como combustible.

**Densidad:** La densidad de los ésteres metílicos depende de la materia prima que se utilice en la transesterificación para su obtención. Suele tomar valores del orden de 0,86-0,88 g/cm<sup>3</sup>, bastante próximos a los del gasóleo convencional, e inferiores a los de los aceites vegetales. No interesa un valor muy elevado, para evitar productos que den una temperatura final de destilación alta. Sin embargo, por razones prácticas, interesa utilizar combustibles con cierta densidad, puesto que a mayor cantidad de masa de combustible por unidad de volumen se dispondrá de más energía.

**Derecho de importación** (que tiene que pagar el importador comunitario): previsto por el régimen de los intercambios de cereales con los terceros países, dentro de los límites impuestos por los acuerdos comerciales internacionales. No puede sobrepasar el precio de intervención incrementado en un 55% y reducido en el precio CIF representativo (CIF: coste, seguro y flete, es decir, el coste del producto más el seguro más los gastos de transporte).

**Estabilidad a la oxidación:** Este parámetro es, junto con el índice de yodo, una medida de la tendencia a la oxidación del combustible, pero no una medida del grado de oxidación del combustible. En este contexto, es recomendable añadir a las especificaciones el índice de peróxidos, propiedad que tradicionalmente se ha utilizado para medir el grado de oxidación de las grasas y aceites.

**Etanol:** Alcohol cuya molécula tiene dos átomos de carbono. Es un líquido incoloro y olor fuerte, que arde fácilmente dando llama azulada y poco luminosa. Se obtiene por destilación de productos de fermentación de sustancias azucaradas o feculentas, como uva, melaza, remolacha, patata. Forma parte de muchas bebidas, como vino, aguardiente, cerveza, etc., y tiene muchas aplicaciones industriales.

**ETBE:** etil-tercbutil éter, aditivo de la gasolina, que mejora el número de octano y puede sustituir al MTBE.

**Glicerina total:** La glicerina ligada es la cantidad de glicerina presente en forma de mono-, di- y triglicéridos. Su presencia en el biodiésel indica que la reacción no es completa, ya que los glicéridos son restos del aceite o grasa sin reaccionar contenidos en el éster metílico. La glicerina libre es la cantidad de glicerina que permanece en el biodiésel tras las etapas de purificación y su presencia en cantidades grandes indica que las etapas de separación y limpieza del biodiésel no se han realizado de forma adecuada. También se puede formar durante períodos largos de almacenamiento a través de la saponificación de los restos de glicéridos presentes en el biodiésel. La glicerina total es la suma de la glicerina ligada y libre. Cantidades elevadas de glicerina, en cualquiera de sus formas, provocan problemas en el motor, ya que se deposita en los sistemas de filtrado y de inyección del combustible, y aumentan las emisiones de aldehídos.

**Índice de acidez:** Es una medida del contenido en ácidos grasos libres del biodiésel, definiéndose como el número de miligramos de hidróxido potásico requeridos para neutralizar los ácidos grasos libres de un gramo de biodiésel. El índice de acidez del biodiésel depende del contenido en ácidos grasos libres del aceite o grasa de partida y del proceso de transesterificación. No debe presentar valores elevados, ya que causa problemas de corrosión en el motor.

**Índice de cetano:** El índice de cetano es la capacidad de autoignición que presenta un combustible cuando se le comprime en presencia de oxígeno. Esta es la propiedad más característica sobre la calidad de un combustible para su utilización en un motor diesel. Si esta propiedad es elevada el motor arranca aún a temperaturas bajas, el combustible arde más regularmente, siendo la combustión más regular y suave, lo que supone un aumento del rendimiento y una disminución de la contaminación de los gases de salida. Sin embargo, los combustibles con un índice de cetano superior a 60 no presentan mayores ventajas; si éste es muy alto (80 a 90) el combustible ardería lentamente, con la consiguiente subida lenta de la presión y considerable postcombustión. El índice de cetano de los ésteres es unas 10 unidades más alto que el gasóleo, por lo que presenta las ventajas descritas en el párrafo anterior.

**Índice de yodo:** Este parámetro mide el grado de insaturaciones del biodiésel, por lo que dependerá directamente de la materia prima que se utilice en la transesterificación. El grado de insaturaciones, a su vez, está relacionado con la tendencia del biodiésel a oxidarse. En las especificaciones alemanas y en el borrador de las europeas anteriores a su modificación, el valor máximo del índice de yodo es 115. Este ajuste dejaría fuera a los ésteres metílicos de girasol o soja, pero no a los de colza. En realidad, la colza ha sido la materia prima utilizada en países europeos como Alemania, Francia o Austria, lo que explica un límite tan bajo de la especificación, por no disponer de la experiencia necesaria en los ésteres metílicos de girasol y soja. Actualmente el límite se encuentra en 140.

**Invertasa:** La enzima invertasa cataliza la hidrólisis de la sacarosa a glucosa y fructosa, frecuentemente a esta reacción se denomina "inversión". La invertasa se puede obtener de las propias células de levadura.

**Metanol:** Alcohol cuya molécula tiene un átomo de carbono. Es un líquido incoloro, semejante en su olor y otras propiedades al alcohol etílico. Es tóxico.

**Metanol, contenido de.** El contenido de metanol del biodiésel afecta al punto de inflamación del combustible. Los ésteres metílicos de colza puros tienen un punto de inflamación de 160 °C, reduciéndose a 55 °C cuando contienen un 0,4 % de metanol. La presencia de metanol en mayor o menor cantidad en los ésteres depende de las etapas de purificación del biodiésel.

**MTBE:** metil-tercbutil éter, aditivo de la gasolina, que mejora el número de octano. Se obtiene a partir del petróleo.

**Número de octano:** El número de octano es la capacidad antidetonante de una gasolina; propiedad que asegura la estabilidad al encendido de la gasolina hasta el momento en que salta la chispa. Una gasolina con un número de octano inferior al requerido por el motor, no soporta las condiciones de presión y temperatura de la cámara, autoinflamándose antes de la aparición de la chispa de la bujía.

**Partículas sólidas:** Los contenidos en partículas sólidas de los ésteres dependerán de los aceites y las grasas que se utilizan como materia prima, aunque en todo caso son menores que para el gasóleo.

- Precio de intervención:** precio de compra al que en cada Estado miembro los organismos de almacenamiento están obligados a comprar (= compra de intervención) los cereales que les proponen los productores durante el período de noviembre a mayo. Los cereales admitidos para almacenamiento público deben respetar determinados criterios (índice de humedad, composición, etc).
- Precio mínimo:** se aplica a las patatas destinadas a la fabricación de fécula; es el precio que los industriales deben pagar a los productores.
- Punto de inflamación:** La inflamabilidad depende de la volatilidad de las sustancias. Así, temperaturas de inflamación y combustión altas son propias de hidrocarburos poco volátiles, lo que da idea de la dificultad que presentan dichas sustancias en el arranque en frío e incluso en tiempos de respuesta rápidos. En este aspecto es donde el biodiésel daría menores prestaciones. Por otro lado, la temperatura de inflamación del biodiésel es muy superior a la correspondiente al gasóleo, por lo que resulta más seguro.
- Punto de obstrucción de filtro en frío (POFF):** Es una propiedad relacionada con la operatividad de los combustibles a bajas temperaturas. En concreto, es la temperatura por debajo de la cual el combustible presenta un mal comportamiento y depende del número de insaturaciones del aceite o la grasa de partida. A mayor proporción de insaturaciones mejor es el comportamiento a bajas temperaturas del éster metílico. En este sentido, los ésteres metílicos obtenidos a partir de grasas animales, presentan POFF elevados, indicando un peor comportamiento en frío. Los valores de esta propiedad pueden ser mejorados con la incorporación de aditivos, aunque, en nuestro país, esto solo sería necesario en las zonas más frías.
- Residuo carbonoso Conradson:** Es una medida tradicional de la tendencia del combustible a formar depósitos carbonosos en el motor. Este parámetro es un indicador excelente del contenido en algunas impurezas del biodiésel como glicéridos, ácidos grasos, jabones y restos de catalizador.
- Restituciones por exportación** (que se pagan al exportador comunitario): destinadas a paliar las diferencias entre precios europeos y precios mundiales. Fijadas en general mediante licitación, son uniformes en toda la UE. Son igualmente posibles restituciones para la ayuda alimentaria en el exterior de la UE y, según determinadas modalidades, para los productos transformados. Existe un régimen especial de restitución para la exportación de bebidas alcohólicas producidas a partir de cereales.
- Retirada de tierras:** también denominada retirada de tierras de la producción o barbecho, se expresa en porcentaje de la superficie cultivada beneficiaria de una ayuda. El productor puede sobrepasar voluntariamente el porcentaje de base obligatorio. Los cultivos con fines no alimenticios (biomasa, biocarburantes) están autorizados en las tierras retiradas de la producción.
- Sacarosa:** La sacarosa, componente principal del azúcar de mesa, es un disacárido formado por una molécula de glucosa y otra de fructosa. Su nombre químico es: alfa-D-glucopiranosil (1->2)-beta-D-fructofuranósido y su fórmula química es: C<sub>12</sub>H<sub>22</sub>O<sub>11</sub>.
- Tasa de exportación** (que tiene que pagar el exportador comunitario): puede ser decidida por la Comisión en circunstancias excepcionales (cuando está amenazado el suministro de la UE) con el fin de estabilizar las cotizaciones y garantizar el equilibrio del mercado interior.
- Viscosidad:** La viscosidad de un carburante es una propiedad que afecta directamente al funcionamiento de los sistemas de inyección. Si es demasiado baja, los inyectores se tendrán que reparar con frecuencia, y si es demasiado alta, los inyectores sufren una presión excesiva, que se traduce en una mala atomización del combustible. El valor alto de viscosidad que presentan los aceites, es el principal responsable de que no puedan utilizarse directamente como combustibles. La transesterificación de estos aceites con metanol para formar ésteres metílicos reduce considerablemente el valor de la viscosidad.



