

2.3 Combustibles alternativos al hidrógeno

2.3.1 Introducción

Analizaremos los siguientes combustibles:

- Etanol
- Biodiesel
- Metanol
- Gasificación del carbono

2.3.2 Etanol

El etanol, también llamado alcohol etilo, alcohol de grano o EtOH, es un líquido limpio e incoloro. El etanol ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$) es el etano con una molécula de hidrógeno sustituida por un grupo hidroxilo, -OH. Una disolución acuosa de etanol tiene un cierto sabor dulce, pero soluciones más concentradas tienen un gusto ardiente.

Cuando la biomasa es la materia prima para producir etanol, se le denomina bioetanol. Para conseguir el bioetanol se utilizan como materia prima jugos azucarados (mostos de uva, azúcares de caña o remolacha), productos amiláceos por hidrólisis del almidón (de cereales, por ejemplo) o a partir de celulosas presentes en los vegetales. Estas materias se someten a procesos tanto físicos como biológicos (hidrólisis de las celulosas y almidones, fermentación de azúcares, destilación y deshidratado) con los que se obtienen las dos principales aplicaciones del bioetanol. Una de estas aplicaciones es la formulación de gasolinas. En este caso, el bioetanol se mezcla con isobutano para la obtención del ETBE, un aditivo oxigenado para la obtención de gasolina sin plomo de alto índice de octano. La segunda aplicación consiste en la mezcla con carburante mineral hasta porcentajes del 15 por ciento, aunque tiene algunos inconvenientes: necesidad de adaptación de las infraestructuras de distribución existentes y necesidad de hacer modificaciones mecánicas en los motores convencionales.

En la actualidad muchos vehículos pueden circular con mezclas de gasolina y etanol. La mayoría con bajos porcentajes en la mezcla E10 (10% de etanol y 90% de gasolina) y algunos con altos niveles E85 (85% de etanol y 15% de gasolina). Debido a la abundancia de vehículos compatibles con el etanol, el etanol tiene un gran potencial como combustible del futuro.

La mayoría de los vehículos comerciales actualmente disponibles pueden funcionar con E10, que es obligatorio en algunas regiones para que actúe como combustible oxigenador del aire para mejorar la calidad del aire. Además, mucho de los nuevos vehículos pueden utilizar E85, que está calificado como un combustible alternativo. Los vehículos que pueden funcionar con E85, gasolina o cualquier mezcla de los anteriores, son denominados “coches de combustible flexible” (FFVs, flexible fuel vehicles). Los FFVs están ampliamente disponibles. En Estados Unidos ya se han vendido más de 3 millones de FFVs, aunque la mayoría de los compradores todavía no son conscientes de que tienen la posibilidad de utilizar el combustible E85.

Debido al limitado suministro de crudo, y a la creciente preocupación de la degradación ambiental, existen unas buenas previsiones para el mercado del etanol. Debido a la variedad de productos que pueden ser utilizados como materia prima en su fabricación, el etanol ofrece tremendas posibilidades. Además el etanol también puede ser utilizado para producir hidrógeno.

El etanol reduce la dependencia de muchos países a las importaciones de petróleo porque se puede producir de forma local. En la actualidad, en Estados Unidos, el etanol reduce la demanda de importaciones de petróleo y de metil tributil eter en 98000 barriles al día. Lo que supone una reducción anual de 1.1 billones de dólares americanos. Actualmente en España se encuentra en explotación una planta en Cartagena de Ecocarburantes Españoles, en la que participa el IDAE (Instituto para la Diversificación y el Ahorro de la Energía) que produce 80.000 toneladas anuales de bioetanol y se encuentran en estudio otras plantas similares en Galicia, Castilla y León y Andalucía. Por ello, el actual Plan de Fomento de las Energías Renovables plantea como objetivos para el año 2010 la producción de 400.000 tep (toneladas equivalentes de petróleo) de bioetanol y 100.000 tep de biodiesel.

Utilizando etanol, también se reduce la polución atmosférica. El etanol tiene baja reactividad y un alto contenido en oxígeno, lo que lo convierte en una herramienta efectiva en la reducción de la contaminación de ozono. También es un sustituto de los tóxicos activadores de octano de la gasolina como son el benceno, tolueno y xileno.

2.3.3 Biodiesel

El biodiesel es un sustituto del combustible diesel. Se produce a partir de fuentes renovables como son los aceites vegetales nuevos y usados y las grasas animales. Como el diesel procedente del petróleo, el biodiesel funciona en motores de ignición por compresión. Las mezclas hasta el 20% de biodiesel (mezclado con combustibles diesel procedentes del petróleo) se puede utilizar en casi todos los motores diesel, y es

compatible con la mayoría de la infraestructura de almacenamiento y distribución. Generalmente estas mezclas de baja concentración no necesitan ninguna modificación de los motores, sin embargo los consumidores deben consultarlo con sus vendedores.

Las mezclas de alta concentración, incluso las puras (100% de biodiesel , B100) pueden ser utilizadas en muchos de los motores construidos a partir de 1994 con pequeñas o nulas modificaciones. Sin embargo, el transporte y almacenamiento necesitan equipos específicos.

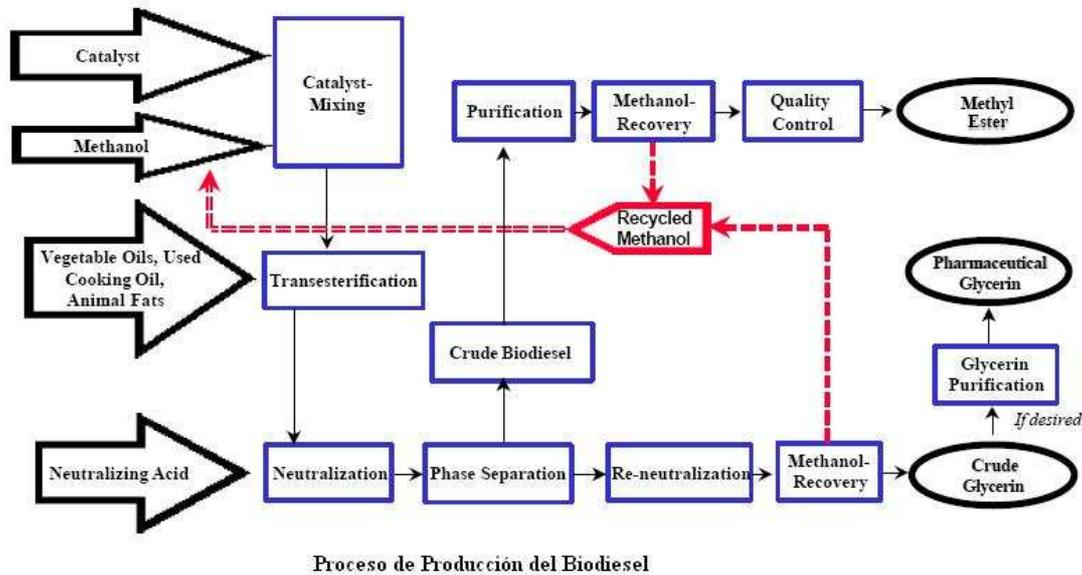
Utilizando biodiesel en un motor diesel convencional se reducen sustancialmente las emisiones de hidrocarburos quemados, de monóxido de carbono, de sulfatos, de hidrocarburos aromáticos policíclicos, de hidrocarburos aromáticos policíclicos de nitrato, y de partículas. Estas reducciones aumentan a medida que la cantidad de biodiesel en la mezcla aumenta. Las mayores reducciones se producen con el B100.

El uso del biodiesel disminuye la fracción de partículas de carbono sólido, debido a que el contenido de oxígeno del biodiesel permite la mejor combustión hasta CO₂. Igualmente reduce el porcentaje de sulfatos ya que el biodiesel contiene menos de 224ppm de azufre. Mientras que la fracción soluble, o de hidrocarburos, se mantiene constante o aumenta.

Las emisiones óxidos del nitrógeno aumentan con la concentración de biodiesel en el combustible. Algunos biodiesel producen más óxidos de nitrógeno que otros, y algunos aditivos se han mostrado prometedores a la hora de modificar estos aumentos. Sin embargo es necesaria más investigación para resolver este problema.

Para la obtención de biodiesel se emplean especies convencionales de girasol, colza, soja, palma y olivo, así como aceites vegetales usados (fritos) a los que se aplica operaciones de esterificación y refinado. El glicerol, se produce como subproducto, y es un producto utilizado en la industria farmacéutica, y por lo tanto valioso.

El biodiesel se puede producir a partir de variadas tecnologías de esterificación. Los aceites y las grasas son filtrados y se les somete a un pretratamiento con el objetivo de eliminar el agua y otros contaminantes. Si están presentes ácidos grasos, estos pueden ser, bien eliminados o bien transformados en biodiesel utilizando algunas tecnologías específicas. Tras el pretratamiento, los aceites y las grasas se mezclan con un alcohol, que suele ser normalmente el metanol, y un catalizador, que suele ser hidróxido de sodio o de potasio. Las moléculas de aceite, los triglicéridos, se rompen y se transforman en ésteres y glicerol, que posteriormente se separan y purifican.

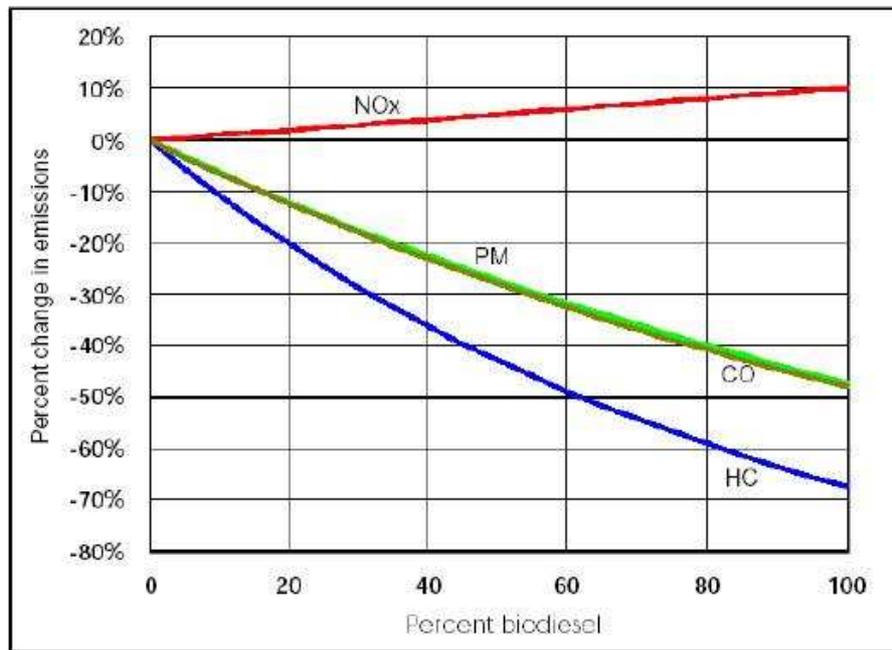


Fuente: DOE

Figura 19 – Proceso de Producción del Biodiesel

Aproximadamente el 55% de la industria del biodiesel puede utilizar cualquier grasa o aceite como materia prima, incluidas las grasas recicladas de la cocina. La otra mitad de la industria está limitada a aceites vegetales, al más barato que es el aceite de soja. La industria de la soja está siendo la fuerza motriz de la comercialización del biodiesel debido al exceso de la capacidad de producción, por los productos sobrantes y la caída de los precios. Lo mismo ocurre con las grasas reciclada, y la industria de la grasa animal. Sin embargo de que estos productos son más baratos que los aceites de soja. Combinando estos dos recursos hay materia prima suficiente como para producir 1.9 billones de galones de biodiesel (ayudado por las subvenciones que tiene el biodiesel).

El biodiesel neto (100% de biodiesel) reduce las emisiones de dióxido de carbono en más de un 75% frente al diesel procedente del petróleo. Utilizando una mezcla del 20% de biodiesel se reducen estas emisiones en un 15%. Usando biodiesel también se reducen las emisiones de partículas y monóxido de carbono. Además el biodiesel prácticamente no contiene azufre por lo que su combustión contribuiría a la reducción de las emisiones de dióxido de azufre así como de los aerosoles de sulfato contenidos en las partículas emitidas en la combustión del diesel convencional.



Average emission impacts of biodiesel fuels in CI engines⁶

Source: Environmental Protection Agency. October 2002 Draft Technical Report, *A Comprehensive Analysis of Biodiesel Impacts on Exhaust Emissions*, (EPA420-P-02-001) (www.epa.gov/OMS/models/biod1.htm).

Figura 20 – Porcentaje de reducción de emisiones en una mezcla de diesel y biodiesel con respecto al diesel dependiendo del porcentaje de biodiesel.

El biodiesel es además más seguro que el diesel tradicional porque es mucho menos combustible, con un punto flash superior a los 150°C, comparado con los 77°C del diesel procedente del petróleo.* Por lo tanto, el biodiesel puro o las mezclas con diesel procedente del petróleo son más seguras de manejar, almacenar y transportar. Además la materia prima necesaria en la producción del biodiesel es no tóxica, biodegradable y renovable.

A continuación se muestra una tabla comparativa entre las propiedades del Biodiesel y un tipo de Diesel convencional.

* El punto flash de un combustible se define como la temperatura a la cual el combustible debe ser calentado para producir una mezcla que se incendiará en presencia de una chispa o una llama. Si el punto flash de un combustible es demasiado bajo, no se puede considerar un combustible diesel y tiene que ser manejado con cuidado, como es el caso de la gasolina.

Tabla 5 – Comparación entre las propiedades de un Diesel y un Biodiesel

Selected Properties of Typical No. 2 Diesel and Biodiesel Fuels.

<u>Fuel Property</u>	<u>Diesel</u>	<u>Biodiesel</u>
Fuel Standard	ASTM D975	ASTM D6751
Lower Heating Value, Btu/gal	~129,050	~118,170
Kinematic Viscosity, @ 40°C	1.3-4.1	4.0-6.0
Specific Gravity kg/l @ 60°F	0.85	0.88
Density, lb/gal @ 15°C	7.079	7.328
Water and Sediment, vol%	0.05 max	0.05 max
Carbon, wt %	87	77
Hydrogen, wt %	13	12
Oxygen, by dif. Wt %	0	11
Sulfur, wt %*	0.05 max	0.0 to 0.0024
Boiling Point, °C	180 to 340	315 to 350
Flash Point, °C	60 to 80	100 to 170
Cloud Point, °C	-15 to 5	-3 to 12
Pour Point, °C	-35 to -15	-15 to 10
Cetane Number	40-55	48-65
Lubricity SLBOCLE, grams	2000-5000	>7,000
Lubricity HFRR, microns	300-600	<300

*Sulfur content for on-road fuel will be lowered to 15 ppm maximum in 2006.

2.3.4 Metanol

El metanol (CH_3OH) es un combustible alcohólico; es metano con un átomo de hidrógeno que es reemplazado por un radical hidroxilo (OH). Tiene unas propiedades físicas y químicas similares a las del etanol. También es conocido como el alcohol de la madera, puede usarse como combustible alternativo en aquellos vehículos de combustible flexible. Sin embargo no se usa normalmente porque los fabricantes de automóviles ya no suministran vehículos que puedan ser impulsados por metanol.

El metanol se produce principalmente a partir del reformado de vapor del gas natural para crear un gas sintético, que se utiliza para alimentar el tanque de un reactor que en presencia del un catalizador produce metanol y vapor de agua. También se puede producir a partir del carbón y la biomasa, sin embargo, el más utilizado hoy en día, por razones económicas, es el gas natural.

Las características físicas y químicas del metanol resultan tener algunas de las ventajas inherentes a los combustibles de los automóviles. Algunas de las ventajas del metanol son tener bajas emisiones, alta eficiencia, y menor riesgo de inflamabilidad que

la gasolina. Además, el metanol puede ser producido a partir de muchos productos con base de carbono como son el gas natural, el carbón y la biomasa (como por ejemplo la madera) y el uso del metanol podría reducir la dependencia de muchos países de las importaciones de petróleo. Entre las desventajas se encuentra el hecho de que las emisiones de metanol producen una alta cantidad de formaldehídos.

El metanol puede ser utilizado directamente para alimentar una célula de combustible. Este tipo de pilas se denominan pilas de combustible de metanol directo (DMFC, direct methanol fuel cell). De hecho las DMFC se han erigido en los últimos años como una alternativa real y razonable para aplicaciones anteriormente exclusivas de las pilas de combustible de electrolito polimérico alimentadas por hidrógeno (PEMFC), entrando en competición con éstas, al eliminar la necesidad de reformar el combustible

Además, el metanol puede producir hidrógeno fácilmente, y se está investigando sobre esta posibilidad. De modo que el metanol tiene potencial para ser utilizado para producir hidrógeno que alimente pilas de combustible en el futuro.

2.3.5 Derivados del carbón

Cuando el carbón se quema con aire en cantidad inferior a la estequiométrica, se produce un gas de bajo poder calorífico, que después de purificarse, puede ser empleado como combustible. Si se emplea oxígeno en lugar de aire se obtiene un gas con un poder calorífico medio que puede emplearse para la combustión directamente, o realizarle un proceso de postcombustión, con la reacción shift*, con el que se obtiene un gas de síntesis para la producción de combustibles líquidos o para la síntesis del amoníaco. A este gas de síntesis se le denomina Syngas, y está compuesto por monóxido de carbono e hidrógeno. La gasificación se lleva a cabo quemando carbón en una atmósfera de oxígeno y vapor, el proceso se produce en unas condiciones reductoras debidas al déficit de oxígeno.

La gasificación del carbón produce un gas síntesis que puede ser convertido en un combustible. En primer lugar se tendría que limpiar el gas de todas las sustancias nocivas como son el azufre, el nitrógeno y el mercurio y después elegir un compuesto químico que se pueda manufacturar a partir de monóxido de carbono e hidrógeno y más se acerque a las prestaciones objetivo, es decir, números de cetano y octano altos y a las emisiones objetivo, es decir baja emisión de partículas y de NOx.

* Reacción shift: $\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2$

La gasificación del carbón se utilizó en un principio para producir gas natural y un gas que pudiese transformarse en productos químicos (incluyendo combustibles líquidos). Sin embargo, debido a la mayor disponibilidad del gas natural esta producción descendió. Actualmente la gasificación del carbón, se ha centrado en el suministro de un combustible gaseoso, limpio y flexible para la alimentación de plantas industriales, aisladas de suministros de gas natural y para centrales generadoras de energía de ciclo combinado. La elevada eficiencia de los procesos de ciclo combinado que usan gas natural como combustible ha llevado a proponer la gasificación como vía posible para un aprovechamiento limpio y eficiente del carbón. Aunque se hayan desarrollado una gama de pequeños gasificadores de lecho fijo y lecho fluidizado con inyección de aire, su explotación se ha visto limitada por el precio relativamente bajo de los combustibles alternativos líquidos y gaseosos que se ofrecen en la actualidad.²⁷

En la gasificación, debido a la atmósfera reductora, el azufre contenido en el carbón se convierte en sulfuro de hidrógeno, que es más fácil de eliminar que el dióxido de azufre que se produce durante la combustión del carbón.

A partir de la gasificación del carbón es posible obtener:

- Amoníaco
- Metanol
- Metano
- Hidrocarburos
- Alcoholes
- Hidrógeno

De entre estos compuestos, algunos analizados anteriormente, destacan por sus prestaciones como combustibles, los líquidos de Fischer-Tropsch, que son unos hidrocarburos sintéticos parecidos a la gasolina y al diesel.

La tecnología Fischer-Tropsch convierte el carbón, el gas natural y productos de refinería de bajo valor en un combustible valioso y de combustión limpia. El combustible resultante es incoloro, inodoro y de baja toxicidad. Además, es virtualmente intercambiable con los combustibles diesel convencionales y pueden ser mezclados con el diesel a cualquier concentración.

²⁷ A. Ariztimuño Jauregui, F. Gonzalez Roman, A. Risueño Vilches. Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial de San Sebastián.