

BIOCOMBUSTIBLES: Bioetanol y Biodiesel

M^a José Núñez García y Pablo García Triñanes

Dpto de Ingeniería Química, ETSE

Universidad de Santiago de Compostela



RESUMEN

El **biocombustible** es el término con el cual se denomina a cualquier tipo de combustible que derive de la biomasa. Es una fuente renovable de energía, a diferencia de otros recursos naturales como el petróleo, carbón y los combustibles nucleares. Aunque se puede hablar de muchos tipos de biocombustible, por su importancia, aplicación y volumen de producción, básicamente hay dos: el bioetanol y el biodiésel. Se cree que pueden sustituir a los combustibles fósiles más tradicionales, en virtud de su bajo o nulo deterioro ambiental y sus características de renovación.

El bioetanol, o etanol de biomasa, puede ser obtenido de maíz, de caña de azúcar, remolacha, ... por medio de procesos de fermentación enzimáticos de sus azúcares. Dado que la composición de la celulosa es muy rica en azúcar, resultaría muy útil producir alcoholes a partir de la fermentación de celulosa, principal componente estructural de los materiales vegetales. Según el Consejo Nacional de Defensa de los Recursos Renovables de Estados Unidos, más de mil millones de toneladas de materiales con celulosa (aserrín, césped, hojas de árboles, viruta de madera, etc.) se generan anualmente y de su destilación fermentativa podrían ser obtenidos cerca del 30% de los combustibles necesarios para los automóviles en el 2050. El problema radica en los elevados costos que representa romper la rígida celulosa para posteriormente fermentarla y destilarla. Se espera que en un futuro muy cercano, microorganismos genéticamente diseñados para degradar y producir el etanol, a partir de celulosa, permitan bajar los costos de producción del etanol desde esta fuente natural.

El biodiesel se fabrica a partir de aceites vegetales, ya sean usados o sin usar. El sistema más habitual es la transformación de estos aceites vegetales a

través de un proceso de combinación con alcohol metílico e hidróxido sódico, produciéndose un compuesto que se puede utilizar directamente en un motor diesel sin modificar, obteniéndose glicerina como subproducto. La glicerina puede utilizarse en otras industrias como la farmacéutica, de detergentes, etc. Esta transformación de los aceites vegetales, si bien nació de forma muy casera y rudimentaria empleando aceites de fritura de restaurantes de comidas rápidas, ha dado origen a una variedad de empresas que se encargan de reciclar los aceites usados para su transformación en biodiesel. Luego lo venden como aditivo a las empresas petroleras que lo mezclan con los combustibles tradicionales y obtienen una variedad de Diesel adecuado para el uso en los automóviles. La utilización directa de un aceite vegetal en un motor diesel es posible, aunque hay que introducir modificaciones en el motor. Uno de los inconvenientes es que estos aceites se congelan a temperaturas moderadamente bajas. Aun así hay algunas personas que los utilizan de este modo.

Ventajas de los biocombustibles

- a) No incrementan los niveles de CO₂ en la atmósfera, con lo que se reduce el peligro del efecto invernadero.
- b) Proporcionan una fuente de energía reciclable y, por lo tanto, inagotable.
- c) Revitalizan las economías rurales, y generan empleo al favorecer la puesta en marcha de un nuevo sector en el ámbito agrícola.
- d) Se podrían reducir los excedentes agrícolas que se han registrado en las últimas décadas.
- e) Se mejora el aprovechamiento de tierras con poco valor agrícola y que, en ocasiones, se abandonan por la esasa rentabilidad de los cultivos tradicionales.
- f) Se mejora la competitividad al no tener que importar fuentes de energía tradicionales.

Desventajas del uso de los biocombustibles

- a) El costo de producción de los biocombustibles casi dobla al del de la gasolina o gasóleo (sin aplicar impuestos). Por ello, no son competitivos sin ayudas públicas.
- b) Se necesitan grandes espacios de cultivo, dado que del total de la plantación sólo se consigue un 7% de combustible. En España, por ejemplo, habría que cultivar un tercio de todo el territorio para abastecer sólo la demanda interna de combustible.
- c) Potenciación de monocultivos intensivos, con el consiguiente uso de pesticidas y herbicidas.

d) El combustible precisa de una transformación previa compleja. Además, en los bioalcoholes, la destilación provoca, respecto a la gasolina o al gasóleo, una mayor emisión en dióxido de carbono.

e) Su uso se limita a un tipo de motor de bajo rendimiento y poca potencia.

En resumen, no se encuentra un biocombustible líquido (bioetanol y biodiesel) que sea claramente más ventajoso que otro (la elección dependerá del fin al que se destine), ni siquiera por su costo, que varía en función de diversos factores: materias primas utilizadas, precio en el mercado de los subproductos y derivados producidos con el biocombustible, costo de la energía y tecnología utilizada en el proceso de transformación, así como el propio tamaño del vegetal. Aunque producir un bioetanol o biodiesel resulta más costoso que generar gasolina y gasóleo, gracias a los decrecientes costos de las materias primas agrícolas y a las mejoras en la tecnología procesadora, se espera que los costos de la producción de biocombustibles se reduzcan en un 30% para el 2010.

Los biocombustibles se encuentran en un estado de desarrollo tecnológico aún muy joven. Al igual que ocurre con toda tecnología emergente, esto hace esperable, a corto y medio plazo, una reducción significativa de los costes de producción debido a la optimización de los cultivos energéticos y de los procesos de transformación, o del desarrollo de nuevas aplicaciones para la valorización de los subproductos generados y para la mejora del balance económico global.

Actualmente, el coste antes de impuestos de la gasolina y el gasóleo se encuentra en 0,46 €/litro y 0,50 €/litro respectivamente. En España, con la tecnología existente, producir biocombustibles tiene un coste final en torno a 0,63 €/litro para el bioetanol a partir de cereales y de 0,74 €/litro para el biodiésel a partir de aceite de girasol, según un estudio del [IDAE](#) (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía). Este valor puede ser sensiblemente inferior en el caso de emplear aceites vegetales usados u otros cultivos energéticos de mayor rendimiento por hectárea que el girasol. Así, las grandes diferencias entre los precios de los combustibles fósiles y los biocombustibles que hasta muy recientemente frenaban el desarrollo de estos últimos, se están reduciendo muy significativamente con el precio de un barril de petróleo al alza.

Demanda energética en la UE.- El caso español: perspectivas

La demanda de energía en la Unión Europea ha aumentado desde 1986 a un ritmo entre el 1 y el 2% anual. Durante este periodo, se ha producido una disminución de la intensidad energética (consumo de energía necesario para realizar cada unidad de PIB) en la industria. Este hecho es consecuencia de las mejoras técnicas adoptadas y de los desplazamientos hacia actividades menos intensivas, que se ha visto contrarrestada, con creces, por el auge del consumo en el sector residencial, comercial y de transporte; sectores en los que la mayor parte de las necesidades energéticas están cubiertas por los hidrocarburos.

El transporte ha registrado un importante crecimiento, que en el caso español ha sido espectacular, lo que nos ha llevado a tener una de las mayores intensidades energéticas en Europa en este sector, fruto de utilizar más el transporte por carretera que el ferrocarril y hacerlo con mayores recorridos que nuestros vecinos. Esta tasa de crecimiento en el uso de energía para el transporte tiene graves consecuencias para la calidad del medio ambiente y para el cambio climático mundial, ya que es responsable del 60% de las emisiones de gases contaminantes a la atmósfera. Dado que la movilidad que da el transporte es esencial para el desarrollo económico y el bienestar social, los encargados de formular políticas energéticas deben encontrar soluciones para reducir los efectos negativos del uso del transporte sin reducir sus contribuciones positivas.

Aunque se están introduciendo mejoras, como consecuencia del uso de tecnologías que controlan la emisión de contaminantes convencionales, las emisiones de CO₂ siguen siendo una cuestión difícil de solucionar. En palabras de la Comisión Europea⁽¹⁾ "los esfuerzos emprendidos por la industria automovilística para rebajar las emisiones de CO₂ de los turismos serán insuficientes para reducir y estabilizar la demanda energética del transporte". En este contexto, el desarrollo de combustibles alternativos a los derivados del petróleo es una clara prioridad política para la Unión Europea, y por tanto para España.

Entre las distintas alternativas a la utilización de gasolinas y gasóleos, los biocombustibles líquidos derivados de biomasa (denominados en adelante biocarburantes) son los que ofrecen a corto-medio plazo las mejores oportunidades para su utilización. Además de las ventajas ambientales y de seguridad en el suministro ya comentadas, suponen una fuente de nueva actividad para la agricultura utilizando tierras no necesarias para la producción de alimentos y favoreciendo la ocupación de la población agraria.

El Parlamento Europeo ha aprobado recientemente una Directiva⁽²⁾ para fomentar el uso de biocarburantes en el sector del transporte, de manera que su utilización alcance el 2% del consumo de energía en este sector en el año 2005 y el 5,75% en el año 2010.

Los biocarburantes, actualmente producidos a partir de productos agrícolas tradicionales, presentan unas características parecidas a las de los combustibles fósiles y se pueden utilizar en motores sin tener que efectuar modificaciones. Además, poseen ventajas medioambientales ya se considera que no existen emisiones netas de CO₂ a la atmósfera, no contienen azufre y su utilización en mezclas con los combustibles fósiles supone reducciones importantes en las emisiones de los vehículos.

Aunque la Directiva considera biocarburantes una amplia gama de productos (aceites vegetales, biogás, biometiléter, biohidrógeno, biometanol y su derivado el bioMTBE), el biodiesel y el bioetanol son los que se cuentan con un potencial de utilización más amplio.

El biodiesel encuentra su aplicación en motores Diesel sustituyendo al gasóleo de automoción o mezclados con el mismo en prácticamente cualquier proporción. El bioetanol puede utilizarse en motores Otto, sustituyendo a la gasolina o bien mezclados con ella en pequeñas proporciones. El etil-ter-butil-eter (ETBE), derivado del etanol, puede sustituir al aditivo metil-ter-butil-eter (MTBE) que se ha venido utilizando como producto oxigenado substitutivo del tetraetilo de plomo para mejorar el índice de octano de la gasolina.

Para que los biocarburantes de origen agrícola sean una alternativa energética real, se necesita que estos productos no sólo presenten características equivalentes a los de procedencia fósil, sino también que, en el conjunto de los procesos de obtención, se consigan balances energéticos positivos y lleguen al mercado a un coste similar al de los productos derivados del petróleo a los que sustituyen. El principal inconveniente con el que se enfrenta la comercialización de estos combustibles en el sector de transporte es el alto coste de fabricación.

En la actualidad, su utilización sólo es viable si se aplican sistemas de ayudas, como las de tipo fiscal, que reducen el tipo de impuesto especial aplicable a los biocombustibles de origen agrícola. En España, la Ley 53/2002, de Medidas Fiscales, Administrativas y del Orden Social permite aplicar el tipo cero de impuestos especial de hidrocarburos con carácter general y hasta el año 2012.

MATERIAS PRIMAS PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOCARBURANTES

El biodiesel se obtiene a partir de aceites vegetales obtenidos de plantas oleaginosas. La producción de aceites vegetales es posible a partir de más de 300 especies diferentes. Aunque los cultivos arbóreos (palma, olivo, etc.) suelen presentar mayores rendimientos en aceite que los cultivos herbáceos, las operaciones de recolección son más complejas, lo que hace que, en principio, sean menos interesantes. Las condiciones edafoclimáticas, rendimiento, contenido en aceite y la necesidad de mecanizar la producción limitan actualmente el potencial de obtención de aceites vegetales a unas pocas especies. Los aceites vegetales destinados a la producción de biodiesel se obtienen, en la actualidad, por procedimientos convencionales a partir de semillas oleaginosas de las que colza, girasol y soja son las más utilizadas.



Plantas de Jatropha (izda) y soja (dcha)

El bioetanol combustible se obtiene mediante fermentación de mostos azucarados que, en la actualidad, se obtienen de vegetales ricos en azúcar o mediante hidrólisis y fermentación del almidón contenido en algunos vegetales como material de reserva. La caña de azúcar es el cultivo azucarado más utilizado para la producción de etanol en los países de clima cálido como Brasil, mientras que en Europa se utiliza la remolacha. Los cereales (maíz en Estados Unidos y trigo y cebada en Europa) son las materias primas utilizadas actualmente en la industria de etanol de almidón.

Tradicionalmente estos cultivos se han dedicado a la producción alimentaria y su utilización energética se ha planteado sobre la base de las condiciones económicas creadas por la retirada obligatoria. 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 producción del biocarburante depende principalmente del precio de la materia prima. Esta es la principal barrera que ha impedido el desarrollo de la industria de biocarburantes, ya que al agricultor se le ofrecen precios inferiores a los correspondientes a alimentación y no le resulta interesante. Por ello, deben existir medidas de apoyo que se traduzcan en un desarrollo real de cultivos no alimentarios, creadores de empleo. Las medidas aplicadas hasta ahora, por ejemplo en el marco del programa Altener o las relativas al cultivo de productos agrarios en el ámbito no alimenticio en superficies que reciben subvenciones en concepto de retirada de la explotación agrícola merecen una valoración positiva, pero no son suficientes.

El hecho de que en la actualidad la producción de biocarburantes se realice a partir de cultivos tradicionales (caña de azúcar, cereal, remolacha, colza, girasol, etc.) que han sido seleccionados y mejorados para la producción alimentaria (y no por el energético), y que sea este mercado el que gobierne sus precios, unido a la caída de los precios del petróleo en la primera mitad de

la década de los 80, -aunque la subida espectacular de los últimos años minimice este efecto -, hace que los biocarburantes no sean competitivos, haciendo necesario liberar de impuestos a este tipo de combustibles para que lleguen al mercado en competencia con los productos de origen fósil.

Por ello deben desarrollarse, desde una perspectiva energética, nuevos cultivos más productivos y con menores costes de producción. En este sentido, la colza etíope (*Brassica carinata*), el cardo (*Cynara cardunculus* L.) y la utilización de los aceites vegetales usados son ejemplos prometedores de materias primas para la obtención de biodiesel en un futuro. Para la producción de bioetanol combustible se están investigando otras especies como la patata (*Helianthus tuberosus* L.) y el sorgo azucarero (*Sorghum bicolor* L.). Estos cultivos, además de su menor coste de producción, serían más rentables para la producción de etanol ya que se podrían emplear los tallos secos (patata) o el bagazo (sorgo) para la producción del vapor y la electricidad necesaria en el proceso de obtención de etanol.

Además de los nuevos cultivos anteriormente citados, los materiales lignocelulósicos son los que ofrecen, en el futuro, un potencial mayor 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 los cultivos leñosos y herbáceos y, entre ellos hay que destacar los producidos en los cultivos de cereal y algunos otros cultivos con utilidad industrial textil y oleícola. Los residuos de origen forestal, proceden de los tratamientos silvícolas y de mejora y mantenimiento de los montes y masas forestales. También pueden utilizarse residuos generados en algunas industrias, como la industria papelera, y la fracción orgánica de los residuos sólidos industriales. Muchos de estos residuos no sólo no tienen valor económico en el contexto en el que se generan, sino que suelen provocar problemas ambientales durante su eliminación.

Los materiales lignocelulósicos también puede ser producidos en cultivos dedicados específicamente a la producción de biomasa con fines energéticos. Dentro de estos se pueden diferenciar dos tipos: los orientados a la producción de materiales leñosos con especies de crecimiento rápido y cultivadas en ciclos cortos, como el eucalipto o el chopo, y los orientados a la producción de especies vegetales anuales, como por ejemplo, el cardo (*Cynara cardunculus* L.), que presentan un elevado contenido en biomasa lignocelulósica.

Los materiales lignocelulósicos presentan una estructura compleja (formada mayoritariamente por celulosa, hemicelulosa y lignina) que hace que el proceso de obtención de los azúcares para su transformación en etanol sea más difícil que en el caso del almidón y, aunque todavía no existen plantas comerciales de producción de etanol que utilicen biomasa lignocelulosa, en los últimos años se han realizado avances significativos en investigación y desarrollo (entre ellos cabe destacar la aportación del CIEMAT) que están posibilitando que los procesos de producción de etanol de lignocelulosa estén cercanos a la comercialización. La empresa Biocarburantes de Castilla y León

(sociedad creada al 50% por Ebro Puleva y Abengoa), está construyendo la primera fábrica mundial que producirá a partir del año 2005 bioetanol a partir de biomasa procedente no sólo del grano de cereales sino también de la paja.

PRODUCCIÓN Y UTILIZACIÓN DE BIOCARBURANTES

Producción y utilización de biodiesel



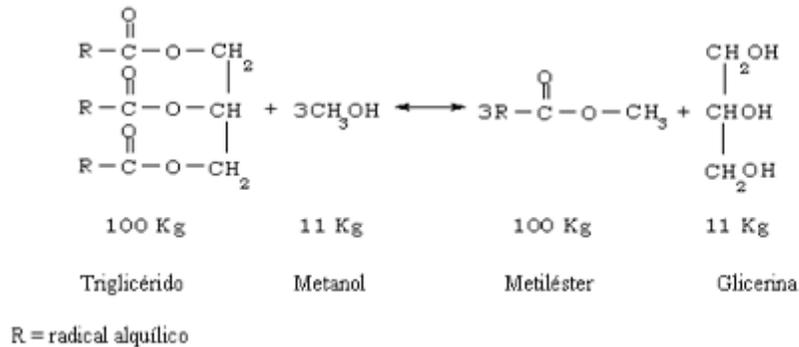
Los aceites vegetales utilizados en la producción de biodiesel se obtienen por procedimientos convencionales a partir de plantas oleaginosas que precisan una preparación consistente en un desengomado y filtración previos. Las semillas son prensadas mecánicamente separándose el aceite y la torta. Normalmente se somete a las semillas a un calentamiento previo y a la acción de un solvente, con lo que se logran rendimientos de extracción de aceite cercanos al 100%. La torta, que se obtiene como residuo del prensado, tiene un alto contenido en proteína y se comercializa para alimentación animal, ayudando a disminuir los costes que el proceso de extracción tiene sobre el precio final del aceite.

La utilización de combustibles vegetales, en motores Diesel, es casi tan antigua como el mismo motor. Su inventor, Rudolf Diesel, utilizó en el año 1900 aceite de cacahuete como combustible, para la demostración de la adaptabilidad del motor. No obstante la industria automovilística ha ido desarrollando los nuevos motores para utilizar gasóleo por lo que, en los motores actuales, los aceites vegetales sin modificar causan diversos problemas que obligan a la modificación de estos. Para evitar estos problemas, se recurre a transformarlos químicamente mediante un proceso de transesterificación capaz de mejorar substancialmente las características como carburante de los aceites vegetales.

La obtención del biodiesel se basa en la reacción con metanol o etanol (transesterificación) de las moléculas de triglicéridos para producir ésteres. De esta manera se consigue que las moléculas grandes y ramificadas iniciales, de elevada viscosidad y alta proporción de carbono, se transformen en otras de cadena lineal, pequeñas, con menor viscosidad y porcentaje de carbono y de características físico-químicas y energéticas similares al gasóleo de

automoción. El biodiesel pueden utilizarse como único combustible o en mezclas con el gasóleo sin efectuar ninguna modificación en el motor.

La reacción de transesterificación es la siguiente:



El proceso químico es relativamente sencillo. Sin embargo, para producir un biodiesel de calidad deben optimizarse las variables de proceso, tales como el exceso de metanol, la catálisis del mismo, desactivación del catalizador, agitación, temperatura y, en general, todas las variables del proceso. La viscosidad del éster es menos de dos veces superior a la del gasóleo, frente a las 10-20 veces la del aceite vegetal crudo.

La producción de biodiesel a partir de aceites vegetales es una tecnología madura, capaz de aprovechar diversas materias primas, que ha alcanzado nivel comercial en muchos países de Europa, Asia y Estados Unidos desde su inicio en pequeñas cooperativas de productores a fines de la década de los 80.

Los costes de transformación industrial de los aceites vegetales en biodiesel dependen mucho de la capacidad de la planta de transformación. Para una planta de 500.000 t/año los costes totales (incluida la extracción, el refinado y la esterificación) se situarían en torno a las 140,6 €/tonelada de biodiesel. Puesto que por cada litro de biodiesel producido es necesario un litro de aceite vegetal, de no contar con subvenciones, el coste actual de la materia prima hace inviable el proceso desde un punto de vista económico, si se realiza con los aceites tradicionalmente obtenidos por el sector agrícola. Para el desarrollo de esta actividad de forma masiva, utilizando las grandes posibilidades productivas del sector agrario hay que buscar nuevos cultivos o variedades, capaces de proporcionar aceites más baratos. Además este precio podría rebajarse si se imputaran a los costes de operación los ingresos obtenidos por la venta de los subproductos como la glicerina.

Una de las cuestiones que hacen interesante la incorporación del biodiesel a la matriz energética, es la posibilidad de la reactivación de la economía producto del incremento del área destinada a cultivos oleaginosos y la generación de empleo directo e indirecto. El biodiesel podría representar el aumento de la producción de cultivos oleaginosos, mediante la sustitución paulatina de la importación de gasóleo por biodiesel. Se puede destacar, además, la posibilidad de desarrollar áreas agrícolas marginales, poner nuevamente en

funcionamiento plantas aceiteras abandonadas, silos con capacidad ociosa y la adopción comercial de cultivos oleaginosos alternativos. Esto traería como consecuencia la oportunidad de disponer también de subproductos con valor comercial: glicerina y tortas y harinas como base para la alimentación animal.

Producción de bioetanol y sus derivados

El bioetanol se obtiene por fermentación de medios azucarados hasta lograr un grado alcohólico, después de fermentación, en torno al 10%-15%, concentrándose por destilación para la obtención del denominado "alcohol hidratado" (4-5% de agua) o llegar hasta el alcohol absoluto (99,4% min de riqueza) tras un proceso específico de deshidratación. Esta última calidad es la necesaria si se quiere utilizar el alcohol en mezclas con gasolina en vehículos convencionales.



Plantación de maíz

El etanol puede utilizarse como único combustible, realizando modificaciones a los motores, o en mezclas con la gasolina desde un 10% hasta mezclas mucho más altas como el E-85. El E-85 es un combustible que contiene hasta el 85% de etanol y sólo un 15% de gasolina, que puede utilizarse en los vehículos denominados FFV (Flexible Fuel Vehicle). Los FFV están diseñados para poder utilizar indistintamente gasolina y mezclas en cualquier porcentaje hasta un máximo de etanol del 85%. Estos vehículos están equipados con un sensor de combustible que detecta la proporción etanol/gasolina y adapta los sistemas de inyección e ignición a las características de la mezcla. Estos vehículos están disponibles en el mercado en algunos países como Estados Unidos, Brasil o Suecia. En España se va desarrollar un proyecto de utilización de E-85 con una flota de vehículos FFV de la marca Ford que permitirá demostrar la viabilidad de este nuevo combustible en este tipo de automóviles.

En algunos países se prefiere utilizar mezclas de etanol con gasolina después de transformar el etanol en etil terciario butil éter (ETBE). El ETBE es el producto principal de la reacción en la que interviene una molécula de etanol y otra de isobuteno, lo que equivale a utilizar una tonelada de isobuteno y 0,8 t de etanol para obtener 1,8 t de ETBE. El ETBE es una alternativa al MTBE (metil terciario butil éter), que se obtiene a partir del petróleo y se utiliza como mejorante de las gasolinas. El ETBE tiene un índice de octano y un poder

calorífico ligeramente superior al MTBE, y su rendimiento de fabricación, a partir del isobuteno, también es más elevado.

64% Isobuteno + 36% Metanol -> MTBE

55% Isobuteno + 45% Etanol -> ETBE

El ETBE se puede producir en las mismas instalaciones en las que ahora se obtiene MTBE y en los países de la UE se acepta la incorporación del ETBE como mejorante de las gasolinas hasta un porcentaje del 10% sin que tenga que realizarse marcado especial, siendo su empleo totalmente aceptado por los fabricantes de automóviles. Las refinerías españolas con capacidad de producción de MTBE han realizado las modificaciones oportunas en sus instalaciones para poder utilizar etanol en la formulación del aditivo y, actualmente en todas ellas, se produce ETBE utilizando el bioetanol que suministran dos plantas en funcionamiento (Ecocarburantes Españoles y Bioetanol Galicia).

El precio de referencia, al que se podría pagar el litro de bioetanol para la fabricación de ETBE utilizable para la gasolina sin plomo podría estimarse como mínimo en una cantidad análoga al precio que ahora pagan las compañías petroleras por el metanol para la producción de MTBE (unas 0,12 €/l), incrementado en el valor del impuesto especial de hidrocarburos, (0,371 €/l para la gasolina sin plomo). Según este supuesto, el precio máximo al que podrían adquirir el etanol absoluto las industrias productoras del ETBE (petroleras) podría ser de unas 0,491 €/l.

Teniendo en cuenta que, para producir un litro de alcohol se necesitan aproximadamente 3 kg de cereal o 10 kg de raíz de remolacha, y que el valor que se espera que los cereales de secano al precio de garantía tengan en un futuro próximo (unas 0,12 €/kg) o el de la remolacha de tipo C (al precio medio de 0,02 €/kg), el precio de la materia prima para producir un litro de etanol a partir de cereales o de remolacha sería de 0,36 € o 0,20 €, respectivamente. La incidencia del coste del proceso de producción del etanol en el precio final de este producto, depende mucho del tamaño de la destilería. Para una destilería que produzca 40 millones de litros al año, los costes variables podrían establecerse en unas 0,102 €/l y los derivados de la amortización de la instalación en unas 0,045 €/l.

De esta manera, considerando los costes de la materia prima conjuntamente con el de producción del etanol, el coste del litro de etanol procedente de cereales sería de 0,508 € y el de remolacha C de 0,346 €. Comparados con el precio de referencia citado anteriormente (0,491 €/l), se observa que la remolacha C podría ser ya rentable para la producción de etanol y también los cereales si se logra un abaratamiento en el coste del proceso de producción del alcohol y si se comercializan los subproductos del proceso para pienso de animales.

La producción de etanol a partir de remolacha de tipo C parece ser viable desde el punto de vista económico, pero el problema es la falta de seguridad sobre la cantidad que se produciría anualmente de este tipo de remolacha.

Dado el amplio margen que queda para la producción de etanol, el precio de la remolacha C podría incrementarse hasta unos 0,03 €/kg, lo que podría aumentar el interés de los agricultores por cultivar remolacha fuera del cupo que tuvieran autorizado para la producción de azúcar. Por otra parte, los cultivos de remolacha para la producción de etanol podrían utilizar algunas de las variedades de alta producción de azúcar que no se comercializan por tener un mal rendimiento en azúcar cristalizada, pero que podrían ser una buena materia prima para la producción de etanol.

DESARROLLO DE LOS BIOCARBURANTES EN LA UNIÓN

Aunque desde comienzos de los años 90, la producción europea de biocarburantes, ha experimentado un notable y constante incremento, la situación en los diferentes Estados Miembros varía enormemente. Sólo seis países (Francia, Austria, Alemania, Suecia, Italia y España) tienen una contribución real al total de producción de biocarburantes europeos.

El desarrollo de la producción de biodiesel en la Unión Europea ha aumentado de manera significativa, pasando de 55.000 toneladas en 1992 a 700.000 en el año 2000. Francia es el mayor productor con un 47% del mercado total, lo que supuso en el año 2000 más de 330.000 toneladas producidas en tierras de retirada. Alemania ocupa el segundo lugar con 246.000 toneladas, seguida de Italia (78.000 toneladas), Austria (27.000 toneladas) y Bélgica (20.000 toneladas).

En España existen operativas varias plantas de producción de biodiesel, como Bionor Transformación con una capacidad de producción anual de 20.000 toneladas y Stocks del Valles con 6.000 toneladas/año, ambas a partir de aceites vegetales usados. Existen otras plantas como Bionet Europa en Reus (50.000 toneladas), Biodiesel Caparroso en Navarra (35.000 toneladas), Biocarburants de Catalunya (100.000 toneladas), y la primera planta de producción de biodiesel con tecnología nacional en Alcalá de Henares, Madrid (5.000 toneladas).

En la Figura se muestra la localización de las plantas de producción de biodiesel, en funcionamiento y en ejecución, en España.



Hasta el año 2000 Francia era el mayor productor de bioetanol de la Unión Europea con 91.000 toneladas, pero desde el año 2002, con la entrada en funcionamiento de Bioetanol Galicia, España lidera la producción de etanol en Europa con una producción anual total de 180.000 toneladas. Desde el año 2001, en el que entró en funcionamiento una destilería con una capacidad de producción de 40.000 toneladas/año, Suecia es el tercer país productor europeo de etanol.

En la actualidad, en España, existen dos plantas de producción de etanol, Ecocarburantes Españoles y Bioetanol Galicia con una capacidad de producción de 80.000 y 100.000 toneladas/año, respectivamente. Junto a estas instalaciones que ya están operando, existe otra posterior, Biocarburantes de Castilla y León, en Babilafuente (Salamanca), con una capacidad de producción anual de 160.000 toneladas. Esta instalación tiene la particularidad de que será la primera instalación industrial que utilizará como materia prima para la producción de etanol, no sólo el grano de cereal (que supondrá el 95% de la producción total) sino también la paja.

Puede afirmarse, a la vista de los datos anteriores, que el sector de los biocarburantes en la Unión Europea y en España, está experimentando una verdadera expansión, que se sustenta en el recientemente aprobado marco normativo (Directiva 2003/30/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 8 de mayo de 2003) que proporciona un marco jurídico estable a las empresas que están invirtiendo en la producción de biocarburantes. La transposición de sus objetivos energéticos (5,75% de comercialización de biocarburantes en el año 2010) al ámbito español podría suponer la elevación del objetivo energético nacional en el área de biocarburantes, hasta un nivel próximo a 2.000.000 tep/año, desde los 500.000 tep/año que marcó el Plan de Fomento de las Energías Renovables.

La Directiva 2003/30/CE, junto a otra que permitirá exonerar de impuestos especiales a este tipo de biocarburantes abre la puerta al desarrollo de estos

productos y permitirá que la Unión Europea cree un mercado de biocarburos competitivos. En España, los biocarburos gozan de una exención total sobre impuestos especiales, conforme dispone la Ley 53/2002 de 30 de diciembre de 2002. Dicho impuesto es modulable, en función de la evolución comparativa de los costes de producción de los productos petrolíferos y los biocarburos.



Entre otros biocombustibles, podemos citar el biogas y el biohidrógeno

¿Qué es el BIOGAS?

Por BIOGAS se entiende un gas combustible, mezcla de metano con otras moléculas, formado en reacciones de descomposición de la materia orgánica (biomasa). La primera planta de biogás de España, que se está construyendo en la actualidad en la localidad de Vila-sana, en Lleida, empezará a producir energía eléctrica. La planta ha supuesto una inversión de un millón de euros y se espera que en siete años esté amortizada.

En un principio 'se tratarán residuos agrícolas como las cebollas, o la pulpa de la fruta dulce'. De todas maneras, 'también habrá materiales como la pasta de papel u otros residuos orgánicos'.

Además, existe un Consorcio del que forman parte veintitrés entidades europeas, que pretende simplificar las tecnologías existentes en generación de biogás para permitir a los pequeños agricultores y ganaderos aprovechar los residuos de sus instalaciones mediante su transformación en este gas combustible sin invertir en traslados.

La empresa malagueña Bioazul es una de las participantes en este proyecto, iniciado el pasado junio de 2006, que cuenta con tres años de duración y 2,1 millones de euros de presupuesto aportados por la Unión Europea. El programa, denominado Agrobiogás, consiste en desarrollar un sistema descentralizado de producción de biogás a partir de los residuos generados por las pequeñas fincas de forma que los agricultores puedan aprovechar esta energía, a la que les resulta "muy caro" acceder hoy día por la inversión que supone transportarlo hasta los centros que se encargan de su transformación. La

intención es que a los pequeños agricultores y ganaderos les resulte rentable obtener biogás ya sea para su autoconsumo o para vender la energía que produce.

Entre sus usos, este gas se utiliza normalmente en industrias para producir energía eléctrica y uno de sus principales valores "es el ambiental", ya que permite garantizar la reducción de residuos "que pueden ser desde rastros hasta excrementos de los animales" de la forma "más ecológica".

Biohidrógeno, ¿una alternativa para el futuro?

El aporte de energía es vital para la prosperidad de la vida en la Tierra y, por tanto, para la prosperidad de la humanidad. El hecho de que, en la actualidad, la mayor fuente de energía provenga de combustibles fósiles está provocando graves consecuencias ambientales de las que se derivan una importante degradación ambiental, problemas de salud, y el cambio climático. El hidrógeno ofrece amplias posibilidades como fuente de energía limpia y renovable, dado que es potencialmente más energético que los otros combustibles conocidos. Además, las ventajas del hidrógeno radican en que su combustión no genera residuos contaminantes y en su gran abundancia (asociado a otros elementos) en la naturaleza.

El desarrollo e implantación generalizada de tecnologías del hidrógeno como fuente de energía supondría un compromiso esencial para una gestión sostenible de los recursos, encaminado a lograr un uso generalizado de las energías renovables, y cubriendo, a la vez, las necesidades energéticas de la sociedad actual.

El hidrógeno es un elemento que puede ser obtenido de muy diversas fuentes y de muy diferentes formas: a partir de la electrólisis del agua; la restauración termo catalítica del hidrógeno en compuestos ricos en este elemento; y por procesos biológicos. En un reciente artículo publicado por la revista especializada [Hydrogen Energy](#) (2004, 29: 173-185), los investigadores David B. Levin, Lawrence Pitt y Murria Love, de la [Universidad canadiense de Victoria](#), hacen una recopilación del estado de desarrollo de las tecnologías de obtención de hidrógeno mediante procesos biológicos, el llamado «biohidrógeno». Actualmente, existen cinco rutas viables para obtener biohidrógeno: biofotólisis directa e indirecta, fotofermentación, síntesis mediante bacterias fotoheterótrofas y fermentación oscura.

La biofotólisis consiste en la producción de hidrógeno gracias al uso de algas verdes que utilizan la energía solar para disociar las moléculas de agua en hidrógeno y oxígeno. Según las características del proceso se desarrolla una biofotólisis directa o indirecta. En la fotofermentación se aprovechan las vías catabólicas de las bacterias no sulfuradas fotoheterótrofas para obtener hidrógeno a partir de residuos de compuestos orgánicos. Existen otras bacterias pertenecientes a la gigantesca familia *Rhodospirillaceae* que pueden desarrollarse en ausencia de luz usando monóxido de carbono para generar ATP y liberando hidrógeno molecular y dióxido de carbono.

Los autores del artículo analizan la eficiencia de los métodos anteriormente citados. De los resultados obtenidos destaca que el proceso de mayor

rendimiento es la oxidación de monóxido de carbono por *Rhodospirillaceae gelatinosus*, con un ritmo de generación de 96,0 mmol H₂/(l·h). Lo sigue en eficiencia un tipo de fermentación oscura, con 64,5 mmol H₂/(l·h). Además, Levin y sus colaboradores determinan que los procesos fotosintéticos no son suficientemente eficientes como para ser utilizados de forma operativa. Finalmente, apuntan que las tecnologías del biohidrógeno son aún muy recientes, y su desarrollo debe ir encaminado a aumentar los ritmos de obtención de hidrógeno y reducir las dimensiones de los dispositivos.