

# Biocombustibles de segunda generación

---

Norbert Hackenberg\*

\* Norbert Hackenberg

## Resumen

*La producción de combustibles líquidos a partir de biomasa, o sea "biocombustibles", como alternativa a los combustibles producidos a partir de petróleo, está actualmente creciendo con una enorme dinámica en muchas regiones del mundo. Esta dinámica tiene sobre todo dos razones: por un lado los precios del petróleo cada vez más altos, y por el otro lado la promoción de los biocombustibles motivada principalmente por razones políticas. Puesto que las fuentes fósiles de energía son limitadas, es inevitable sustituirlas tarde o temprano por fuentes renovables de energía. El alza de los precios de las fuentes fósiles impulsará este proceso. Entre las fuentes fósiles de energía, el petróleo se agotará más pronto, mientras que el gas natural y ante todo la hulla alcanzarán todavía para un tiempo bastante prolongado. Sin embargo, las fuentes fósiles de energía son las fuentes más importantes de generación de gases invernaderos, y en primer lugar el CO<sub>2</sub>, por lo cual, desde la perspectiva del cambio climático, no es razonable seguir recurriendo a estas fuentes hasta su agotamiento.*

La producción de combustibles líquidos a partir de biomasa, o sea "biocombustibles", como alternativa a los combustibles producidos a partir de petróleo, está actualmente creciendo con una enorme dinámica en muchas regiones del mundo. Esta dinámica tiene sobre todo dos razones: por un lado los precios del petróleo cada vez más altos, y por el otro lado la promoción de los biocombustibles motivada principalmente por razones políticas.

Puesto que las fuentes fósiles de energía son limitadas, es inevitable sustituirlas tarde o temprano por fuentes renovables de energía. El alza de los precios de las fuentes fósiles impulsará este proceso. Entre las fuentes fósiles de energía, el petróleo se agotará más pronto, mientras que el gas natural y ante todo la hulla alcanzarán todavía para un tiempo bastante prolongado. Sin embargo, las fuentes fósiles de energía son las fuentes más importantes de generación de gases invernaderos, y en primer lugar el CO<sub>2</sub>, por lo cual, desde la perspectiva del cambio climático, no es razonable seguir recurriendo a estas fuentes hasta su agotamiento.

Cambiar el sistema energético hacia las energías renovables es en principio posible; el sol y el viento representan una cantidad de energía que supera mil veces la demanda anual de energía de toda la economía mundial. El desafío consiste en desarrollar las

tecnologías adecuadas para su aprovechamiento sostenible. Un estudio preparado recientemente por un consejo de científicos para el Gobierno Alemán<sup>[1]</sup> llega a la conclusión que a largo plazo la energía solar y la eólica, y eventualmente también la geotérmica, predominarían como fuentes de energía. En lo referente a los combustibles líquidos para el sector transporte, existe amplio consenso entre expertos y organismos internacionales respecto a que los biocombustibles constituyen la única opción realista de sustitución de combustibles fósiles en el futuro cercano.

La biomasa representa un potencial prácticamente inagotable. La energía solar que recibe la tierra y que es fijada a través del crecimiento continuo de las plantas en el planeta, supera varias veces la demanda de energía primaria. La energía solar fijada como producción primaria neta de biomasa corresponde a unos 50.000 millones de toneladas equivalentes de petróleo ("Million tons of oil equivalent" = Mtoe) por año, mientras que la demanda de energía primaria alcanza solamente 9.700 Mtoe<sup>[2]</sup>. Desde luego estos son datos globales; por otra parte, debido a limitaciones tecnológicas, económicas y ecológicas, se podrá aprovechar en realidad, solamente una parte de esta biomasa.

## Relevancia de los biocombustibles y tendencias de su desarrollo

El desarrollo de los biocombustibles empezó con la producción de bioetanol, impulsada por la llamada primera crisis del petróleo desde mediados de los años setenta del siglo pasado, en Brasil a partir de caña de azúcar, y en Estados Unidos, a partir del maíz. En una década la producción de bioetanol alcanzó unos 12 millones de toneladas y se mantuvo alrededor de este nivel hasta el año 2000. El estancamiento debió tener sus causas en el bajo precio del petróleo durante esta época. A partir del año 2001 se presenta un enorme crecimiento de la producción, hasta alcanzar 36,5 millones de toneladas en el año 2006. La producción de biodiesel empezó mucho más tarde, a inicios de los años noventa y alcanzó unos 7,5 millones de toneladas en el año 2006, mientras que la producción de bioetanol fue unas cinco veces mayor. Sin embargo, el sector del biodiesel creció a una tasa del 33 por ciento, tasa mucho más alta que la del bioetanol (18%)<sup>[3]</sup>.

No se vislumbra un fin de este boom. Para el año 2007 se estima la producción total de biocombustibles (bioetanol y biodiesel) en unos 54 mil millones de litros. Sin embargo, los biocombustibles representan solamente el 1,5 por ciento de la producción mundial de todos los combustibles líquidos, aunque el crecimiento de su producción es mucho más dinámico que el del total de los combustibles líquidos, lo que implica que su participación en la producción total va aumentando rápidamente.

Las capacidades productivas se concentran en un número bastante reducido de países, y están estrechamente vinculadas con su promoción en el marco de las prioridades políticas de estos países. Tres cuartas partes del bioetanol se producen en solamente dos países, que son Estados Unidos y Brasil. Estados Unidos ha superado la producción de bioetanol de Brasil en el año 2005. El resto de países siguen a estos dos, a gran distancia. En cuanto al biodiesel, la Unión Europea produce el 80% del total mundial. Alemania produce casi la mitad de esta cantidad, siendo el país productor de biodiesel más importante

del mundo. No obstante existen muchos países, sobre todo en la Unión Europea, África y el Sur-Este de Asia que están adquiriendo importancia como productores de biocombustibles. Brasil ha iniciado un ambicioso programa cuya meta es incrementar la producción de bioetanol a partir de caña de azúcar en un 50 por ciento hasta el año 2009.

Las fuerzas que impulsan la expansión de las capacidades productivas y el crecimiento sostenido de la producción de los biocombustibles son en primer lugar, las metas de mezcla obligatoria, en segundo lugar, los importantes subsidios impositivos establecidos en muchos países, y en tercer lugar, los fuertes intereses predominantes en el sector agrícola. La Unión Europea, como ejemplo, ha establecido ambiciosas metas de mezcla. La Comisión Europea estima que para cumplir con estas metas, el consumo de bioetanol crecerá de 1,5 Mtoe en el año 2007 a más que 15 Mtoe en el año 2020, y el biodiesel de 6 Mtoe a 19 Mtoe en el mismo período.

## La necesidad de desarrollar biocombustibles de segunda generación

El Worldwatch Institute de Washington publicó en su sitio web bajo la fecha del 13 de febrero de este año un breve artículo de su Presidente, Christopher Flavin, con el título "Time to Move to a Second Generation of Biofuels"<sup>[4]</sup>. En este artículo Flavin señala los resultados de 2 estudios científicos que han sido publicados en la revista Science y que corroboran un argumento esgrimido por el Worldwatch Institute en su libro "Biofuels for Transportation" (2007), en el sentido de que la expansión de las áreas usadas para producir la materia prima para los biocombustibles podría generar la emisión de grandes cantidades de CO<sub>2</sub> del suelo y de la biomasa existente. Tales emisiones contrarrestarían en consecuencia, las ventajas presentadas por los biocombustibles en relación con su balance de gases invernaderos.

Según Flavin, de acuerdo a los resultados de estos estudios existen casos en los cuales es posible que la

producción de los biocombustibles produzca cantidades de CO<sub>2</sub> aún mayores a las que se busca evitar durante su consumo. Esto ocurriría como consecuencia de convertir hábitats naturales en cultivos energéticos, e incluso donde se convierten cultivos alimenticios existentes en cultivos energéticos, y se expande al mismo tiempo el área cultivada para producir los alimentos en otros lugares. La razón de este efecto es que la biomasa existente en hábitats naturales contiene grandes cantidades de carbono que es emitido al aire cuando estos ecosistemas se convierten en cultivos agrícolas. En la opinión de Flavin, los dos estudios publicados en Science reforzarían el argumento de que es urgente cambiar rápidamente hacia los biocombustibles de segunda generación.

Pero hay otros argumentos en contra de los biocombustibles convencionales. Según Monfort, la agencia Food and Agriculture Organization (FAO) de las Naciones Unidas habría comunicado el año pasado que la demanda de biocombustibles habría tenido una influencia sustancial en el alza de los precios de los alimentos que se observa actualmente en todo el mundo. Además, según la FAO, el precio del trigo habría doblado, las reservas mundiales de alimentos estarían en su nivel más bajo desde hace 25 años, y la ayuda en alimentos para los países en desarrollo habría disminuido debido a los precios elevados. Debe quedar claro que la creciente demanda y producción de biocombustibles representa solamente un factor en estas tendencias; existen otros factores más que participan en el fenómeno. Varios organismos internacionales destacan que el uso de alimentos para producir biocombustibles continuaría presionando sobre las tierras arables y los recursos hídricos ya escasos en muchas regiones.

## Expectativas y ventajas

El desarrollo de los biocombustibles de segunda generación presenta ventajas respecto de aquellos de primera generación. Se menciona:

- El menor nivel de impactos ambientales;

- Un mayor rendimiento en combustible o energía por hectárea, debido a que es posible aprovechar el total de la biomasa;
- El potencial encerrado en el aprovechamiento de una vasta gama de materia prima, y en particular, de residuos o desechos como paja o madera; y,
- La posibilidad de "diseñar" combustibles sintéticos a fin de optimizarlos en cuanto a su eficiencia energética y
- Bajo nivel de emisiones.

Muchos autores consideran el menor nivel de impactos ambientales que presentan los biocombustibles de segunda generación en comparación con los de la primera, como su ventaja más relevante. Algunos estudios indican que el bioetanol fabricado a partir de lignocelulosa presenta ventajas ambientales esenciales sobre el bioetanol fabricado a partir de maíz. El maíz es un cultivo que requiere importantes insumos de energía y degrada el suelo, mientras que es posible producir el bioetanol celulósico a partir de materias primas nativas que en general requieren menos fertilizantes, son más fáciles a manejar entre las cosechas, y presentan un nivel menor en cuanto a su balance "well-to-wheel" de gases invernaderos. También presentan impactos menos relevantes sobre los recursos hídricos debido a la reducida erosión del suelo y menores pérdidas de fertilizantes y nutrientes causadas por escorrentías ("runoff"). Además, algunas tecnologías permiten quemar la lignina que no ha sido posible convertirla a bioetanol a fin de generar energía para las plantas procesadoras, asimismo la quema del bagazo a fin de obtener energía para el procesamiento de la caña de azúcar a bioetanol convencional.

Un aspecto específico importante es el potencial de los biocombustibles para reducir la emisión de CO<sub>2</sub>. El organismo de las Naciones Unidas para asuntos de energía, ONU-Energía, estima que existe un potencial significativo de reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> y otros gases invernaderos relacionados con el sector transporte<sup>[6]</sup>. ONU-Energía señala que es posible alcanzar hasta "costos negativos" en la reducción de

CO<sub>2</sub>, asumiendo que los precios del petróleo se mantengan elevados y que se logre reducir los costos de producción de los biocombustibles de segunda generación.

Existen estudios que estiman que el uso de etanol celulósico en lugar del bioetanol convencional reduciría las emisiones netas de CO<sub>2</sub> entre 70 y 90 por ciento. El alto nivel de reducción de CO<sub>2</sub> se debe sobre todo al hecho de que no se usan energías fósiles en el procesamiento del etanol. Sin embargo, el estudio citado preparado para el gobierno alemán señala que en la literatura científica existen enormes diferencias en cuanto a la reducción de CO<sub>2</sub> así como en los costos de ésta.

Con relación al potencial del biodiesel de segunda generación, de reducir las emisiones de CO<sub>2</sub>, existen pocos estudios; no obstante se estima que el potencial de reducción es relativamente alto, aunque que los costos también son muy elevados, debido a los enormes costos de inversión y a pesar de los bajos costos de la materia prima. El estudio preparado para el gobierno alemán concluye que la reducción de CO<sub>2</sub> a través del biodiesel de segunda generación sería alta, pero considerando su alto costo sería ineficiente desde la perspectiva política del cambio climático.

Las tecnologías de segunda generación ofrecen un mayor rendimiento de las materias primas porque permiten aprovechar toda la celulosa y no solamente el azúcar, almidón o aceite. De esta manera es posible aprovechar una mayor parte de un cultivo existente, maximizando su rendimiento por hectárea, minimizando al mismo tiempo, la necesidad de expandir las áreas cultivadas o de usar cultivos alimenticios para producir biocombustibles. Por ejemplo, una hectárea de maíz en Estados Unidos rinde entre 3.200 y 3.700 litros de bioetanol; con la tecnología de segunda generación el rendimiento podría alcanzar hasta 5.600 litros. En el caso de los cultivos no tradicionales, como el "switchgrass", que todavía no han sido optimizados o modificados genéticamente, se espera que las mejoras del rendimiento sean aún mayores<sup>[7]</sup>.

En la actualidad, la fabricación de bioetanol se basa en la fermentación de azúcar o almidón y la de biodiesel en el aprovechamiento de los aceites vegetales. Las industrias alimenticia y de biocombustibles están usando las mismas partes de las plantas como materia prima, entrando así la producción de biocombustibles, en competencia con los cultivos, lo que se traduce en una competencia entre la alimentación humana y los biocombustibles. Esta problemática se ha conocido en los medios de comunicación como "food versus fuel" ("alimentos versus combustible"). Al contrario que los biocombustibles convencionales, la fabricación de los biocombustibles de segunda generación se basa en la lignocelulosa ofreciendo la opción de usar aquellas partes de las plantas o cultivos específicos que no tienen valor para la alimentación humana. De esta manera es posible por un lado aprovechar subproductos o desechos de las industrias alimenticia o maderera para la producción de los biocombustibles. Por otro lado, la vasta gama de materias primas brinda mayores potencialidades para desarrollar métodos de cultivo y de conversión más eficientes.

### **Materia prima y tecnología de procesamiento**

Los biocombustibles de segunda generación se diferencian de los biocombustibles convencionales o de primera generación en cuanto a dos aspectos claves: las materias primas utilizadas y las tecnologías que se aplican para su fabricación.

Los biocombustibles de primera generación son aquellos fabricados a partir de azúcar o almidón en el caso del bioetanol, y aceites vegetales o grasas animales en el caso del biodiesel. La materia prima utilizada, aparte de las grasas animales, son plantas con alto contenido en azúcar, almidón o aceite. Los insumos mencionados son convertidos en combustibles líquidos mediante tecnologías convencionales. Los métodos agrícolas utilizados en el cultivo de las materias primas y las tecnologías de conversión, se aplican desde hace bastante tiempo y son en principio

bien conocidos. En la actualidad, son estos biocombustibles de primera generación que se están usando.

Los biocombustibles de segunda generación son combustibles líquidos fabricados a partir de la biomasa lignocelulósica de plantas. Su materia prima puede ser cualquier tipo de biomasa vegetal, desde desechos agrícolas o madereros hasta cultivos energéticos específicos. De esta manera, los cultivos se aprovechan con el total de su biomasa. Su procesamiento requiere de tecnologías avanzadas las que hasta hoy no están disponibles a escala comercial.

Se puede clasificar la materia prima proveniente de plantas para la fabricación de biocombustibles en tres categorías básicas: azúcar y almidón, aceites vegetales y lignocelulosa. Las dos primeras son fácilmente accesibles y requieren de escaso procesamiento previo a su conversión a biocombustibles. En cambio la obtención de lignocelulosa es más compleja. Su conversión a biocombustible es posible por medio de dos vías principales. La primera vía consiste en romper la lignocelulosa mediante una variedad de pasos físicos, químicos y eventualmente enzimáticos hasta conseguir azúcar el cual se fermenta para obtener bioetanol. La segunda vía consiste en procesos termoquímicos que utilizan la gasificación de la biomasa y el proceso Fischer-Tropsch para obtener biodiesel sintético. Estos procesos se conocen como "biomasa a líquido" ("biomass-to-liquid" - BTL).

No obstante ello, el término "biocombustibles de segunda generación" es un concepto global que abarca una gran variedad de combustibles y de tecnologías con un gran número de variantes. Además, los términos y conceptos relevantes no se usan de manera inequívoca, hecho que complica su sistematización. Si se toma como criterio clave el aprovechamiento de la planta completa para la fabricación del biocombustible líquido, el espectro de los tipos de biocombustibles va desde el etanol fabricado a partir de lignocelulosa hasta los combustibles sintéticos, como el biodiesel sintético producido mediante tecnologías de BTL.

El etanol lignocelulósico parece ser el producto líder entre las tecnologías de segunda generación de biocombustibles, pero no es el único. Además del biodiesel sintético, se consideran biocombustibles de segunda generación el biobutanol, el octanol y el metanol. El biobutanol podría ser utilizado también para sustituir a la gasolina y en materia de contenido energético es superior al bioetanol y más cercano a la gasolina. Sin embargo, debido a que el rendimiento de su conversión es muy bajo, no es tan interesante como el bioetanol. Por su parte el metanol no ha sido aceptado hasta hoy como combustible en un nivel amplio, debido a su alta toxicidad.

Aparte de los biocombustibles, los procesos producen también desechos. Algunos desechos como la lignina pueden ser quemados a fin de generar energía en forma de electricidad o calor. Otros como las aguas servidas de la fermentación requieren un tratamiento específico a fin de recuperar sustancias valiosas o de reducir su toxicidad.

### La biomasa lignocelulósica

Una característica de la producción de los biocombustibles de segunda generación es el aprovechamiento de la biomasa celulósica de las plantas. Las sustancias celulósicas de las plantas contienen celulosa, hemicelulosa y lignina<sup>[8]</sup>.

La **celulosa** es el componente básico de las paredes de las células vegetales. Es un polisacárido estructural que forma parte de los tejidos de soporte. En biomasa representa el 50 por ciento de las paredes de las células, por lo cual es el compuesto químico orgánico más abundante en el mundo, formando la mayor parte de la biomasa terrestre, razón por la cual es también el polisacárido más abundante. El ejemplo más puro de celulosa es el algodón con un porcentaje mayor al 90 por ciento. La celulosa es un polisacárido compuesto exclusivamente de moléculas de -glucosa; es en consecuencia un homopolisacárido formado de un solo tipo de monosacárido; su fórmula

química sumaria es  $(C_6H_{10}O_5)_n$ . La celulosa es rígida, insoluble en agua y contiene desde varios cientos hasta varios miles de unidades de glucosa.

La **hemicelulosa** es también un componente de las paredes de las células de las plantas. Su función es la de una sustancia de soporte y armadura, en la mayoría de los casos en conjunto con la celulosa. La hemicelulosa forma parte de las paredes de las diferentes células de los tejidos vegetales, recubriendo la superficie de las fibras de celulosa y permitiendo el enlace de pectina. Contribuye a dar rigidez a las paredes de las células, protegiéndolas de la presión que causan las otras células que la rodean. Básicamente se trata de un heteropolisacárido compuesto por un conjunto heterogéneo de polisacáridos que a su vez están formados por monosacáridos como la glucosa, la galactosa y la fructosa.

La **lignina** (el nombre proviene del latín: "lignum" = madera) es una sustancia sólida e incolora que se deposita en las paredes de las células vegetales, causando la formación de madera (lignificación). La lignina es, después de la celulosa, la segunda sustancia orgánica más abundante en el planeta. La lignina es una macromolécula fenólica, compuesta de varios componentes monoméricos.

### Etanol lignocelulósico

Para la fabricación de bioetanol existen tres métodos básicos que son:

1. La fermentación biológica de azúcar o almidón.
2. La gasificación termal seguida de la sintetización del etanol.
3. La gasificación termal seguida de una fermentación biológica.

Es posible utilizar todas las materias primas con los tres métodos, pero el azúcar y el almidón se procesarían típicamente mediante la fermentación biológica convencional. Por otra parte, convertir las materias

primas lignocelulósicas en bioetanol es solamente posible después de fracturar la celulosa y dividirla en glucosa y otros tipos de azúcar en un primer paso del procesamiento, llamado sacarificación. Estos azúcares pueden ser convertidos en bioetanol a través de fermentación en el segundo paso del procesamiento. Para fracturar la lignocelulosa se utiliza normalmente enzimas producidas mediante distintos tipos de levaduras.

Los aspectos químicos relevantes en estos procesos no son aún conocidos del todo; además las enzimas son costosas, y falta todavía una oferta comercial de productos enzimáticos adecuados<sup>[9]</sup>.

Muchas de las tecnologías para la sacarificación de biomasa lignocelulósica todavía no están comercialmente disponibles. Su comercialización a escala industrial depende en gran medida del desarrollo de las enzimas precisas para cada tipo de materia prima, a fin de reducir los costos de la producción. Childs y Bradley señalan que los costos de las enzimas necesarias para la producción de bioetanol lignocelulósico habrían bajado desde el año 2001, de 5 dólares por galón a menos de 0,20 dólares por galón.

### Biodiésel sintético

El diésel sintético BTL de segunda generación se fabrica típicamente mediante gasificación de la biomasa seguida por un proceso Fischer-Tropsch. Según lo explica el estudio preparado para el gobierno alemán, el procesamiento BTL consiste en cuatro pasos: (i) pirolisis de la biomasa; (ii) gasificación; (iii) tratamiento del gas; y (iv) síntesis del combustible. El gas sintético es convertido en combustible mediante el proceso Fischer-Tropsch, el mismo que convierte el gas sintético en combustible líquido mediante catalizadores y altas temperaturas. El proceso Fischer-Tropsch es una tecnología establecida, descubierta por los científicos alemanes Franz Fischer y Hans Tropsch en el año 1923, y usada durante la segunda guerra mundial para la fabricación de combustible a partir de carbón. En Sudáfrica se ha construido varias

plantas procesadoras que producen combustibles a partir de carbón a fin de abastecer el país con combustible durante los embargos comerciales en la época del "apartheid"; tales plantas siguen operando.

La composición química del biodiesel sintético BTL es muy diferente a la del biodiesel de primera generación y se obtiene mediante esterificación de aceites vegetales o grasas animales. La industria automovilística tiene grandes expectativas respecto de los biocombustibles BTL fabricados a partir de gas sintético. La razón de ello reside en la posibilidad de diseñar el producto final de acuerdo a las necesidades de los motores, mientras se modifica su composición química durante el procesamiento. Por ello se denomina "combustibles sintéticos BTL" o también "designer fuels". Diseñar los combustibles "a medida" permitiría optimizar la eficiencia energética, el rendimiento, las emisiones de los motores y del combustible al mismo tiempo. Los combustibles BTL son enteramente compatibles con los combustibles fósiles en todas las proporciones de mezcla. Ello implica también que es posible introducirlos a la infraestructura de abastecimiento existente sin modificar la misma. Además son necesariamente mucho más limpios que los combustibles fósiles, porque la tecnología de su procesamiento requiere la eliminación de cualquier contaminante del gas sintético.

El contenido energético del combustible BTL es solamente de tres por ciento inferior al del diésel fósil, por lo que 1,03 litros de combustible BTL sustituyen a un litro de diésel fósil.

### Biorefinerías

En relación con los biocombustibles de segunda generación es importante mencionar el concepto de las "biorefinerías". Este concepto abarca la idea de integrar la producción de biocombustibles, la de productos químicos de mayor valor, y la generación de energía. El objetivo de las biorefinerías es optimizar el uso de los recursos, minimizar los desechos y por consiguiente, maximizar el rendimiento y los benefi-

cios. Según lo que se explica en el estudio de The Royal Society de Inglaterra, al contrario que las refinerías petroleras que casi siempre son complejos industriales muy grandes, el concepto de las biorefinerías incluye una variedad de instalaciones de diferentes tipos y tamaños. En su forma más sencilla, una biorefinería podría ser una fábrica de papel donde se quema la lignocelulosa a fin de generar electricidad y calor para sus propios usos u otros, o un ingenio azucarero donde se quema el bagazo en forma similar. Se espera que el aprovechamiento de la lignocelulosa como materia prima en el futuro facilite mejorar aún la eficiencia de los procesos de conversión y el aprovechamiento de los desechos<sup>[10]</sup>.

Es posible integrar y optimizar varios procesos biológicos, químicos o térmicos en una biorefinería. Las biorefinerías existentes producen bioetanol a partir de azúcar o almidón, además de varios subproductos útiles como CO<sub>2</sub> purificado de la fermentación el mismo que se usa en varios procesos industriales, en la industria de bebidas, o de pienso a partir de los desechos secados. Sin embargo, según The Royal Society hoy en día no existe ninguna biorefinería que cumpla completamente con esta visión.

### Biocombustibles a partir de algas

Aparte de las materias primas convencionales y lignocelulósicas existen otras opciones poco conocidas para producir bioetanol o biodiesel. Algunas algas producen fécula, la que se puede convertir en bioetanol; otras producen pequeñas gotas de aceite el cual se puede aprovechar para la producción de biodiesel. Muchos científicos creen que las algas son las plantas más indicadas para la producción de biocombustibles, ya que presentan un alto rendimiento, crecen hasta en aguas negras y agua del mar y no necesitan mucho más que agua, luz solar y CO<sub>2</sub> para crecer. Utilizar algas para la fabricación de biocombustibles podría presentar varias ventajas en comparación con el resto de materias primas. Estas, son las plantas con el crecimiento más rápido en el mundo, existen especies capaces de cuadruplicar su biomasa en un solo

día; es posible cultivar algas durante todo el año; cultivar algas no requiere ni tierras arables ni agua limpia, por consiguiente no va a competir con los cultivos alimenticios por estos recursos; y finalmente su rendimiento es mucho más alto que el de cualquier otro cultivo. En la opinión de algunos expertos, las algas presentan tantas ventajas que finalmente dominarían sobre todas las otras fuentes de biomasa<sup>[11]</sup>. Sin embargo, hasta la producción comercial a gran escala faltarían todavía unos cinco años.

La empresa GreenFuel Technologies<sup>[12]</sup>, considerada como la empresa de punta en materia de cultivo de algas, estima el rendimiento en biodiesel de una "farm" de algas en más que 50.000 litros por hectárea y año. En términos comparativos, el rendimiento en biodiesel producido a partir de aceite de palma alcanza unos 5.000 litros por hectárea/año, mientras que el rendimiento del bioetanol a partir de maíz es de unos 3.500 litros por hectárea/año. Algunos expertos como Childs y Bradley estiman que las algas podrían producir diez hasta treinta veces más aceite por hectárea que los cultivos convencionales.

Es posible cultivar las algas en estanques abiertos al aire libre; su construcción y operación sería relativamente poco costoso. Sin embargo, cultivar las algas en estanques abiertos implicaría que variaciones de la temperatura, la luz, el nivel y calidad del agua, viento, lluvia y evaporación puedan afectar su crecimiento. Además existe el riesgo de que especies indeseadas se infiltren en los estanques y contaminen los cultivos. Por lo tanto, GreenFuel Technologies ha desarrollado una tecnología a fin de cultivar algas en sistemas cerrados similares a invernaderos, llamados "bioreactores alga-solares". Estos sistemas son costosos, pero la producción sería altamente eficiente. Además aseguraría cosechas continuas, amplios ciclos de producción y un rendimiento considerablemente mayor.

Las algas no son solamente una fuente de biomasa para la producción de biocombustibles; también crecen a partir de altas concentraciones de emisiones de nitrógeno o CO<sub>2</sub>. Por consiguiente, cultivar algas podría permitir combinar la producción de biocom-

bustibles con la reducción de CO<sub>2</sub> y otras emisiones. GreenFuel Technologies ha desarrollado un sistema de bioreactores capaz de absorber el CO<sub>2</sub> emitido de plantas termoeléctricas u otras industrias directamente de las chimeneas y convertirlo en biocombustibles a través de un procesamiento llamado "emissions-to-biofuels"<sup>[13]</sup>. Para este propósito, los gases emitidos son introducidos en los bioreactores donde estimulan el crecimiento de las algas. Finalmente, las algas son extraídas y convertidas en biocombustible mediante tecnologías conocidas, como fermentación, transesterificación o gasificación. Esta tecnología se encuentra todavía lejos de su comercialización.

## Desafíos

Según la ONU-Energía, la diversidad de las materias primas potenciales para los biocombustibles de segunda generación puede ser considerada como una ventaja y una desventaja al mismo tiempo. Por un lado, fortalece la seguridad del suministro, aumenta la resiliencia y los beneficios económicos de los sistemas de producción de biomasa, en particular, si se compara con los monocultivos de uno o pocos cultivos. Por otro lado, la variedad de materia prima potencial con características físicas y químicas diversas crea desafíos para su manejo y procesamiento; por otra parte, tal variedad puede resultar en un producto final con características diferentes.

Aún hay mucho trabajo por hacer para determinar qué cultivos y qué especies son las más adecuadas para las diferentes aplicaciones de los biocombustibles líquidos, los distintos tipos de suelo, sistemas agrícolas, y contextos de su cultivo. Los factores clave a considerar al seleccionar la materia prima incluyen: la viabilidad económica, la sostenibilidad para las diferentes aplicaciones de los biocombustibles líquidos, la productividad por hectárea, requerimientos de insumos, incremento potencial de la productividad, la versatilidad del cultivo, el potencial de resistencia a sequías y plagas, la competencia con otros usos, la volatilidad del precio y los costos de oportunidad.

El estudio preparado para el gobierno alemán considera como desafíos más relevantes entre aquellos que frenan la producción de biocombustibles BTL a gran escala industrial con capacidades de más que 100.000 toneladas por año: (a) la necesidad de inversiones de varios miles de millones de dólares para una planta procesadora; y (b) los problemas logísticos relacionados con el abastecimiento de materias primas para las plantas.

Según Childs y Bradley, en el año 2006 se habrían invertido 2.300 millones de dólares, entre capitales de riesgo ("venture capital") y fondos privados ("private equity"), en el sector de los biocombustibles. Alrededor del 80 por ciento de estos montos se habrían invertido en la expansión de las tecnologías convencionales y maduras, y el resto -en su mayor parte, capitales de riesgo-, se habría destinado al desarrollo de las tecnologías de segunda generación.

Existen muchas dudas respecto a la viabilidad económica de la producción de combustibles sintéticos BTL. El estudio preparado para el gobierno alemán señala que las plantas productoras ubicadas en países del extranjero con posibilidades de producir materia prima -sobre todo madera- en grandes plantaciones, tendrían mejores perspectivas para una producción competitiva en comparación con plantas productoras ubicadas en Alemania. Además, la integración de las plantas BTL en grandes complejos petroleros o químicos presentaría importantes efectos sinérgicos que permitirían bajar los costos considerablemente.

Según la planta BTL Royal Society, si se utilizara el proceso Fischer-Tropsch podría asegurarse una producción mínima de alrededor de un millón de toneladas de biocombustible por año, volumen que corresponde al procesamiento de unas cinco millones de toneladas de biomasa seca como materia prima por año. La razón de esta enorme cantidad de biomasa es que el procesamiento es muy intenso en energía, la misma que debe ser cubierta a partir de biomasa cuyo contenido en energía es relativamente bajo, lo que explica la alta demanda de biomasa. Hay expertos que dudan de que sea posible transportar estas enor-

mes cantidades a grandes distancias a costos aceptables.

Por otro lado, la empresa CHOREN que acaba de construir la primera planta comercial de diésel BTL con una capacidad de solamente 16.000 toneladas de combustible por año, no vaticina problema alguna de abastecimiento a las grandes plantas comerciales. Al respecto, señala por ejemplo, que grandes fábricas de celulosa podrían procesar también un volumen muy superior al millón de toneladas de materia prima por año. Existirían modelos probados de las industrias maderera o agrícola para el abastecimiento de las grandes plantas procesadoras de BTL

### Riesgos y desventajas

Uno de los argumentos a favor de los biocombustibles de segunda generación es, que no crearían competencia con los cultivos y productos alimenticios y de esta manera no afectarían la alimentación humana.

No obstante la empresa Childs y Bradley sostiene que la competencia entre usos alimenticios y usos energéticos no estaría resuelta como consecuencia de la aplicación de tecnologías de segunda generación.

Si bien la materia prima lignocelulósica ofrecen un mayor rendimiento que los cultivos convencionales, deberían producirse también en tierras aptas para el cultivo. Pero cualquier expansión de estos cultivos podría aumentar la presión sobre las tierras usadas actualmente para cultivos alimenticios, con la consecuencia de que la competencia por las tierras seguiría siendo en cierta forma un problema. La competencia ya no se daría en forma directa a través de los productos agrícolas, como el maíz o la soya, sino en forma indirecta a través de las tierras cultivadas.

En cambio, la siembra de cultivos nuevos en tierras marginales no aptas para la agricultura tradicional, podría contribuir a mitigar esta problemática; no obstante, la competencia por el uso de las tierras no desaparecería plenamente. La producción de los biocom-

bustibles de segunda generación competiría también en alguna dimensión, con otros usos como son la agricultura, el desarrollo urbano, usos forestales o hábitats naturales.

En esta misma lógica, la ONU-Energía señala que el nivel de competitividad potencial dependerá de diversos factores, dentro de los que se incluyen el rendimiento de los cultivos y el ritmo en que se desarrollen las tecnologías de los biocombustibles de segunda generación. De todas maneras, existe un riesgo inherente a estas tecnologías. Además de desplazar cultivos alimenticios y cultivos de subsistencia, estas tecnologías podrían reforzar los incentivos para devastar eriales, tierras de pastoreo y sabanas, para plantar "switchgrass" u otros cultivos resistentes.

Un tema controvertido de los biocombustibles sería el de los organismos genéticamente modificados, dicen Childs y Bradley en su libro "Plants at the Pump". Según éstos, considerando la relevancia de desarrollar variedades de cultivos que obtengan altos rendimientos en tierras de baja calidad, parece muy probable que los organismos genéticamente modificados ("genetically modified organisms" - GMOs) tendrán un rol importante para los biocombustibles de segunda generación, y sobre todo en relación al incremento de la productividad de las tecnologías disponibles. Los GMOs podrían presentarse en dos lugares: en las enzimas que se necesita para los procesamientos químicos, y en las materias primas mismas.

Los GMOs ya están ampliamente difundidos en el mundo, pero su uso continúa siendo controvertido en muchos países. Podría ser menos controvertido aplicar GMOs para mejorar cultivos estrictamente energéticos, como el "switchgrass", o para diseñar enzimas que se usan en las plantas procesadoras. El tratamiento de este tema es aún un desafío en el marco de los eventuales estándares de sostenibilidad, pero debe ser resuelto en el marco de las políticas que definen los objetivos y las condiciones para el desarrollo de los biocombustibles de segunda generación.

## Situación actual y perspectivas

La información disponible acerca de las plantas procesadoras existentes para la producción de biocombustibles de segunda generación y sus capacidades varía de fuente a fuente. Según Childs y Bradley, al final del año 2007 existían solamente nueve plantas demostrativas en el mundo. Su capacidad alcanzó unos 12 millones de litros por año. Ninguna de estas plantas tenía las dimensiones de un nivel comercial y un gran número de nuevas plantas estaban en construcción o iniciando su operación.

Por otra parte, en el mes de abril del presente año se concluyó la construcción de la primera planta en el mundo, con dimensiones comerciales para la producción de combustible sintético a partir de biomasa (combustible BTL). Se trata de la planta "Beta" de la empresa alemana CHOREN, que se construyó en la pequeña ciudad de Freiberg, en Alemania, con una capacidad de 18 millones de litros (unas 16.000 toneladas) al año. La demanda en biomasa para esta cantidad de combustible es de 67.500 toneladas de madera por año. La producción comercial será iniciada en 8-10 meses después de las pruebas y ajustes. Según la empresa CHOREN, la inversión en la planta ha sido del orden de unos 100 millones de Euros (155 millones de dólares). La planta Beta produce el combustible denominado "SunDiesel" mediante un procesamiento basado en la gasificación de la biomasa seguida del proceso Fischer-Tropsch.

En síntesis, las ventajas potenciales que presentan los biocombustibles de segunda generación en relación a los combustibles convencionales usados hoy en día son varias. Algunos biocombustibles de segunda generación presentan ventajas relativas a su uso y rendimiento, y muchos de ellos presentan ventajas en cuanto a su balance energético y balance de gases invernaderos; sin embargo, no todos los biocombustibles de segunda generación presentan las mismas calidades. El tipo y dimensiones de las eventuales ventajas dependen de varios factores y varían según el tipo de materia prima y la tecnología que se aplica para su procesamiento. Por lo general se espera que requieran de cultivos menos intensivos; además, que

su competencia con la producción de alimentos sea menor, y que la demanda de energía fósil en los procesos de fabricación sea considerablemente reducida; tales ventajas no están garantizadas. Hasta hoy no existe ninguna producción comercial a gran escala, y por consiguiente no existen experiencias al respecto. Todo el sector de los biocombustibles de segunda generación se encuentra todavía en fase de desarrollo y demostración, lo que implica que todos los datos acerca de sus parámetros técnicos o económicos encierran un alto nivel de incertidumbre.

También existen serias dudas sobre si los biocombustibles de segunda generación serán económicamente viables en la próxima década. Uno de los desafíos logísticos más relevantes es el abastecimiento de enormes cantidades de biomasa requeridas por las plantas procesadoras. Algunos expertos opinan que, debido a los altos costos de transporte, la producción sería económicamente viable solamente en aquellos lugares donde la biomasa necesaria ya esté disponible, como es el caso del bagazo de la producción de azúcar o los desechos madereros.

Por consiguiente, las proyecciones para el futuro desarrollo de los biocombustibles de segunda generación son divergentes. La Comisión Europea asume que en el año 2020 alrededor del 30 por ciento de los biocombustibles consumidos por la Unión Europea serán biocombustibles de segunda generación. No obstante todo lleva a pensar que los biocombustibles de segunda generación no jugarán un papel relevante en el abastecimiento de combustibles a nivel mundial en el corto y mediano plazo. Considerando los grandes desafíos técnicos aún no resueltos, la Agencia Internacional de Energía (IEA) concluye en el

"World Energy Outlook 2006"<sup>[14]</sup>, que aún en el año 2030 la producción de biocombustibles se basará en materias primas convencionales. El Worldwatch Institute<sup>[15]</sup> opina que en las dos próximas décadas la mayor parte de la biomasa aprovechada para la producción de biocombustibles provendrá de los cultivos existentes usados como fuentes de azúcar, almidón o aceite vegetal.

Los biocombustibles, ya sean convencionales o de segunda generación, van a ser adoptados en la medida que encajen en el "mix" de combustibles. Eso implica una variedad de desafíos ya que los diferentes tipos de biocombustibles presentan propiedades muy distintas. Ningún tipo de biocombustible cuenta con el potencial de sustituir la totalidad de combustibles fósiles en los grandes mercados. En resumen existe amplio consenso en torno a que los combustibles fósiles seguirán dominando el abastecimiento del sector transporte de combustibles líquidos en el futuro previsible.

## Referencias

- [1] WBA (Wissenschaftlicher Beirat Agrarpolitik beim Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz). 2007. Nutzung von Biomasse zur Energiegewinnung. Empfehlungen an die Politik. s/l. [http://www.bmelv.de/cln\\_044/nn\\_751706/SharedDocs/downloads/14-WirUeberUns/Beiraete/Agrarpolitik/GutachtenWBA,templateId=raw,property=publicationFile.pdf/GutachtenWBA.pdf](http://www.bmelv.de/cln_044/nn_751706/SharedDocs/downloads/14-WirUeberUns/Beiraete/Agrarpolitik/GutachtenWBA,templateId=raw,property=publicationFile.pdf/GutachtenWBA.pdf) (rev. 31.03.2008).

- [2] Datos según:  
CHOREN Industries.  
<http://www.choren.com/de/> (rev. 19.05.2008).
- [3] Estos y los siguientes datos según:  
(1.) WBA 2007;  
(2.) Monfort, J. Despite Obstacles, Biofuels Continue Surge.  
<http://www.worldwatch.org/node/5450> (rev. 23.05.2008);  
(3.) Sawin, J. L. 2008. Are Renewables Approaching a Tipping Point? Highlights from the REN21 Renewables 2007 Global Status Report.  
<http://www.worldwatch.org/node/5629> (rev. 23.05.2008).
- [4] Flavin, C. 2008. Time to Move to a Second Generation of Biofuels.  
<http://www.worldwatch.org/node/5616> (rev. 23.05.2008).
- [5] ONU-Energía. 2007. Bioenergía sostenible: Un marco para la toma de decisiones [Traducción informal por la Oficina de la FAO en América Latina y el Caribe]. s/l.
- [6] Childs, B. & Bradley, R. 2007. Plants at the Pump. Biofuels, Climate Change, and Sustainability. Washington, D.C.: World Resources Institute.  
[http://pdf.wri.org/plants\\_at\\_the\\_pump.pdf](http://pdf.wri.org/plants_at_the_pump.pdf) (rev. 20.05.2008).
- [7] Wikipedia. La enciclopedia libre. 2008. Celulosa.  
<http://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Celulosa&oldid=17463343> (rev. 21.05.2008).
- [8] Garten Rothkopf. 2007. A Blueprint for Green Energy in the Americas: Strategic Analysis of Opportunities for Brazil and the Hemisphere. Featuring: The Global Biofuels Outlook 2007 [Prepared for the Inter-American Development Bank]. Washington, D.C.: Inter-American Development Bank.  
<http://www.iadb.org/biofuels/> (rev. 21.05.2008).
- [9] The ROYAL Society. 2008. Sustainable biofuels: prospects and challenges. London. (Policy document; 01/08).  
<http://royalsociety.org/displaypagedoc.asp?id=28914> (rev. 23.05.2008).
- [10] Algae: The Alternative-Energy Dream Fuel. Kiplinger's Biofuels Market Alert. 2 (2007).  
<http://www.kiplinger.com/orders/kbf/Biofuels071607.pdf> (rev. 23.05.2008).
- [11] GreenFuel Technologies Corporation.  
<http://www.greenfuelonline.com/> (rev. 20.05.2008).
- [12] Ver también:  
Bourne, J. K. 2007. Biofuels: Boon or Boondoggle? Green Dreams. National Geographic, 212 (4), pp. 38–59.
- [13] IEA (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY). 2006: World Energy Outlook 2006. Paris.  
<http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2006/weo2006.pdf> (rev. 05.04.2008).
- [14] Datos según:  
(1.) Worldwatch Institute. 2006. Biofuels for Transportation. Global Potential and Implications for Sustainable Agriculture and Energy in the 21st Century [Summary]. Washington, D.C.  
<http://www.worldwatch.org/system/files/EBF038.pdf> (rev. 23.05.2008);  
(2.) Worldwatch Institute. 2006. Biofuels for Transportation. Global Potential and Implications for Sustainable Agriculture and Energy in the 21st Century [Final Report: prepared for the German Ministry of Food, Agriculture and Consumer Protection (BMELV) in cooperation with the German Agency for Technical Cooperation (GTZ) and the German Agency of Renewable Resources (FNR)]. Washington DC. (no publicado).