

# La bioenergía: oportunidades y retos tecnológicos

el desarrollo de las plantaciones energéticas y las tecnologías de segunda y tercera generación más compatibles con el aprovechamiento sustentable de la bioenergía

## 1. Definición

Se define como bioenergía a la energía que se obtiene de materia de origen biológico. La biomasa es el material orgánico de origen biológico que más ha sido utilizado como combustible a lo largo de toda la historia de la humanidad. La biomasa es el material orgánico que producen las plantas al sintetizar luz, agua y CO<sub>2</sub> mediante el proceso de fotosíntesis, en el que la energía solar queda almacenada en enlaces químicos, que a su vez puede ser liberada mediante procesos como la combustión, la digestión, la descomposición o bien mediante su hidrólisis y fermentación combustibles líquidos o gaseosos. Otras fuentes de materiales orgánicos de origen biológico igualmente importantes han sido los residuos de los animales particularmente el estiércol y los desechos de las sociedades humanas como la basura en su componente orgánica. En la actualidad, si bien la biomasa y los residuos animales mantienen su importancia como combustibles tradicionales en comunidades rurales y urbanas principalmente de los países en desarrollo, todos estos materiales orgánicos actualmente se revelan como

**Jorge Islas Sampeiro<sup>1</sup>**  
**Alfredo Martínez Jiménez<sup>2</sup>**

## Introducción

**E**n este artículo se analizan las oportunidades y los retos tecnológicos de la bioenergía para constituirse en una alternativa energética sustentable para México y el Mundo. Primeramente se analizan la versatilidad de la bioenergía para producir energéticos sólidos, líquidos y gaseosos, sus fuentes de producción natural y antropogénica y las tecnologías actuales de aprovechamiento. Posteriormente, se analizan

<sup>1</sup> Doctor en Economía de la Energía por la Université Pierre Mendès France. Investigador Titular B del Departamento de Sistemas Energéticos del Centro de Investigación en Energía, UNAM. Nivel I del SNI. Correo electrónico: [jis@cie.unam.mx](mailto:jis@cie.unam.mx).

<sup>2</sup> Doctor en Biotecnología de la Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM. Investigador Titular B del Dpto. de Ingeniería Celular y Biotecnología del Instituto de Biotecnología-UNAM. Nivel II del SNI. Correo electrónico: [alfredo@ibt.unam.mx](mailto:alfredo@ibt.unam.mx).

combustibles alternativos de uso comercial e industrial, que producidos bajo criterios de sustentabilidad pueden ofrecer importantes cantidades de energía renovable con emisiones de cambio climático neutras.

amplio uso en la cocción de alimentos, el calentamiento de agua, la producción de electricidad en turbinas de vapor, la producción de calor industrial y electricidad. Además, se puede obtener de ellos gas de pirólisis que se usa como energético en motores de combustión interna.


## 2. Tipos de bioenergía

Los materiales orgánicos de origen biológico proporcionan según su origen y procesamiento, energía técnicamente útil y factible de aprovechar desde el punto de vista económico en las tres formas físicas, a saber, sólido, líquido y gaseoso, lo cual le confiere a la bioenergía las características de un recurso energético universal, limpio y de gran alcance si se aprovecha su capacidad de regeneración y si se explota con criterios de sustentabilidad. Debido a estas características la bioenergía puede contribuir de manera importante a sustituir las fuentes de energía fósil y nuclear. La bioenergía da lugar a los siguientes energéticos útiles para los seres humanos, los cuales se obtienen generalmente sometiendo a un proceso de transformación del material biológico; esta transformación generalmente está mediada por procesos desarrollados *ex profeso* por el ser humano.

**Biocombustibles** como por ejemplo, la leña, los residuos forestales, el carbón vegetal, y los desechos agrícolas como la paja, bagazo y otros. Estos energéticos tienen

**Biocarburantes** como los aceites vegetales puros, los aceites vegetales esterificados, el alcohol, los residuos de aceite de cocina, los cuales se emplean en motores Otto y Diesel para poner en marcha automóviles, autobuses, camiones de carga, o para producir electricidad y calor en generadores y trabajo mecánico proveniente de su uso en motores industriales. Estos energéticos líquidos actualmente provienen de una amplia variedad de cultivos como son la caña de azúcar, el maíz, el betabel, colza, la soja, la palma de aceite y el piñón, entre otros, pero a un futuro corto provendrán de otros cultivos como la higuera, la *Jatropha* así como de los residuos de aceite de cocina y residuos agroindustriales y de material lignocelulósico provenientes de plantaciones energéticas forestales.

**Biogás**, que es el metano, producto de la fermentación de residuos orgánicos que los bosques, campos agrícolas y de los desechos de animales de crianza como vacas, cerdos, borregos, cabras, caballos y aves. Asimismo, este producto energético se puede obtener de la basura a través de su producción en



rellenos sanitarios; el metano cuando es extraído se emplea entonces para producir ya sea energía térmica, mecánica o eléctrica. Por otro lado, el hidrógeno, combustible gaseoso, también puede ser obtenido transformando residuos orgánicos o bien mediante procesos fotobiológicos.

El uso de la bioenergía tiene importantes ventajas que la hacen sumamente atractiva para ser usada como energético. En la problemática de cambio climático su gran ventaja frente a los combustibles fósiles es que puede sustituirlos sin provocar un aumento de las emisiones que producen el cambio climático. Otra ventaja es que es la única fuente energética capaz de retar al petróleo en su máspreciado mercado capturado, a saber, el de los combustibles líquidos para el sector transporte como se está evidenciando en Brasil, Estados Unidos y la Unión Europea en donde el alcohol y el biodiesel están quitándole partes importantes de mercado a las gasolinas y al diesel.

A muy largo plazo la transición energética puede llevar en efecto al empleo de diferentes tipos de combustibles para automotores, no obstante las mejores predicciones a la fecha indican que para al menos otros treinta años seguiremos usando preferencialmente combustible líquidos en este sector. En éste se consumen en México más de 100 millones de litros diarios de gasolina y alrededor de 50 millones de litros

por día de diesel. La utilización de gas para el transporte es órdenes de magnitud menor a estos valores.

Hay que remarcar también que la bioenergía es la única fuente de energía renovable que se puede almacenar tan fácilmente como el petróleo y el gas lo cual es una ventaja económica para establecer el equilibrio entre la oferta y la demanda de energía, particularmente en el sector transporte. En el sector eléctrico, esta misma cualidad hace que la bioenergía para la producción de electricidad sea completamente despachable, ya que las plantas de bioenergía constituyen capacidades “firmes” de potencia eléctrica.

Finalmente, es importante mencionar que la bioenergía sustentable fomenta la vegetación, ofrecen nuevas oportunidades a la agricultura, permiten un mejor equilibrio entre desarrollo urbano y desarrollo rural y propicia un mejor manejo de los espacios, de los bosques, de las reservas naturales, de los asentamientos humanos y de las actividades productivas. Permite también la eliminación de los desechos orgánicos rurales y urbanos por lo que contribuye a la higiene y al desarrollo de materiales y sustancias de origen orgánico para la industria de la construcción y del papel. Desde el punto de vista social y económico la bioenergía tiene un potencial amplio para el desarrollo de

pequeñas y medianas industrias que pueden representar cientos de miles de empleos.

Dichas estas ventajas es importante remarcar que el logro de la bioenergía debe de realizarse alejándose de los sistemas de producción agrícola intensiva, a gran escala y basados en monocultivos ya que con frecuencia ellos llevan a la deforestación y a la pérdida de biodiversidad.

### 3. Categorías de material orgánico para la producción energética


Reconociendo el enorme potencial y las ventajas que representa la bioenergía, es claro que ella por sí sola no puede desplazar el patrón actual de producción de energía basado fundamentalmente en las energías fósiles y nucleares. Ella puede sin embargo, contribuir a desplazarlo junto con la amplia variedad de energías renovables.

No obstante el múltiple origen orgánico de la bioenergía, producto de una gran variedad de procedencias, de manera genérica se pueden distinguir dos categorías de producción de material orgánico para la producción energética:

**Residuos orgánicos**, naturales y de origen antropogénico, que sin otra utilización, liberan su energía en el proceso de su descomposición y dan como resultado CO<sub>2</sub> y

metano. Los residuos orgánicos naturales son todos aquellos residuos orgánicos que se generan de manera natural anualmente en los bosques. Estos residuos, que son enormes, son factibles de usarse para fines energéticos pero su aprovechamiento exige que se realice en el marco de un manejo sustentable de bosques, que guarde los equilibrios de los nutrientes de los suelos y de los ecosistemas a fin de preservar la existencia de los bosques. Los residuos de origen antropogénico, son los residuos orgánicos que se generan en el sistema económico y en la sociedad en general. Estos residuos se generan en grandes cantidades y están constituidos por los desperdicios provenientes del estiércol de animales y humanos, desechos agrícolas, rastros municipales, basura orgánica, lodos de depuradoras, paja, bagazos de caña y agave, cascarilla de trigo y arroz, rastrojo de maíz, virutas, desechos de madera, y papel entre otros.

**Plantaciones o cultivos agroenergéticos** inducidos por el hombre con vistas a su utilización energética y/o como materias primas para otras industrias. Estas van desde las plantaciones forestales de aprovechamiento rápido, pasando por las plantaciones de palmeras, pastos de crecimiento rápido, y cultivos de caña de azúcar y de colza, entre otros. El empleo y selección de plantas para producción de energía puede llevar consigo problemas



comparables con los que se dan en la agricultura intensiva de los alimentos con el empleo de cantidades de fertilizantes y plaguicidas nocivos para la naturaleza. De no estar bien regulado el uso de suelo puede llevar también a la deforestación y a la pérdida de biodiversidad. Finalmente, de no establecerse las políticas públicas adecuadas en la repartición de la renta agrícola-energética, estos aprovechamientos pudieran no contribuir a mejorar la equidad en las zonas agrícolas. Aún más conciliadoras con la biodiversidad y la producción de alimentos y los factores que acabamos de discutir se encuentran las plantaciones agroforestales y las plantaciones de aprovechamiento múltiple, pequeñas y medianas, en donde los trabajadores del campo se pueden asociar para ser los dueños de la producción.


#### **4. Plantaciones energéticas**

La silvicultura ofrece alternativas para la producción de biomasa para la bioenergía mediante plantaciones con especies perennes, conocidas también como plantaciones energéticas. A diferencia de los cultivos agroenergéticos, las plantaciones energéticas producen biomasa leñosa (lignocelulósica), constituida principalmente por celulosa (y en menor porcentaje por hemicelulosa y lignina).

A los sistemas de producción de biomasa para la bioenergía que utilizan especies perennes leñosas se les conoce también como plantaciones de leña o plantaciones dendroenergéticas.

Con las nuevas tecnologías, toda la biomasa, sea de tipo celulósico o de almidones, puede aprovecharse para convertirse en biocarburantes (etanol, biodiesel), en biogás y en biocombustibles para la producción de calor y en electricidad; sin embargo, se estima que una hectárea de tierra puede producir más biomasa de lignocelulosa que de carbohidratos-almidones. Comparando la ganancia de energía de los sistemas silvícolas y los agrícolas (antes de su procesamiento), los resultados muestran que en las especies anuales (incluyendo las oleaginosas y los cereales) la ganancia energética puede ser de <1 a 5, mientras que en las especies leñosas de 10 a 25 (incluyendo los fertilizantes, pesticidas, herbicidas, fuerza de trabajo y gasolina/diesel de la maquinaria). Estos resultados motivan mayor investigación en plantaciones energéticas leñosas y sobre la conversión y aprovechamiento de la biomasa lignocelulósica.

Con el reciente auge de la biomasa como combustible moderno se ha levantado un fuerte debate mundial cuestionado la sustentabilidad de la bioenergía, principalmente por sus efectos con la



seguridad alimentaria cuando se utilizan especies comestibles, así como por los posibles impactos ambientales y sociales. La producción de biomasa para la bioenergía puede implicar en efecto impactos a la biodiversidad, a los ciclos del agua y transformarse en monopolios territoriales. Sin embargo, las consecuencias ambientales dependen de las técnicas de producción, mientras que los impactos socioeconómicos dependen de la forma en que se integren la producción, la gente y las instituciones.


A diferencia de las especies anuales, como los cereales, las especies perennes leñosas son más adecuadas para la producción de bioenergía porque requieren menor cantidad de suplementos para su crecimiento y porque aprovechan de forma más eficiente los recursos naturales (suelo y agua, principalmente). Con el fin de optimizar los recursos y maximizar los beneficios, en las plantaciones energéticas se prefiere utilizar las especies de mayor productividad primaria neta en rotaciones cortas y que sus co-productos puedan aprovecharse económicamente, mejorando la rentabilidad de los sistemas silvícolas.

Este tipo de plantaciones pueden ser mucho más productivas que la mayoría de los bosques naturales, ofreciendo adicionalmente servicios ambientales para contrarrestar la erosión y contaminación del suelo, mitigar el daño a los acuíferos y otros efectos adversos

de la agricultura y la forestería convencionales. Sin embargo, ante las expectativas de producción que se esperan de la silvicultura intensiva para la bioenergía es necesario que junto con la demanda de mayor productividad se asegure la sustentabilidad de los sistemas productivos.

En la silvicultura intensiva industrial, y también en las plantaciones energéticas de rotación rápida, se prefieren las especies de crecimiento rápido. Las especies más utilizadas en silvicultura intensiva tropical y subtropical son eucaliptos, pinos, acacias y leucaenas, mientras que en las zonas templadas y boreales se utilizan principalmente álamos, sauces y coníferas (entre otras). El uso de especies exóticas ofrece ventajas que han incentivado su introducción en diferentes países; sin embargo, la introducción de especies exóticas se ha criticado porque puede representar diferentes riesgos (especialmente en monocultivos extensos): inducir la pérdida de biodiversidad y fomentar el desarrollo de plagas y enfermedades.

Para el sector de la bioenergía se recomienda apoyar el uso de especies nativas para reducir los riesgos por pérdidas por plagas y/o enfermedades (y evitar así el uso de pesticidas). Considerando que es necesario minimizar riesgos ambientales, preservar la biodiversidad, fortalecer la autonomía por contar con las fuentes originales de



germoplasma y el conocimiento de su manejo, se plantea que desarrollar técnicas para domesticar, mejorar y propagar especies nativas para su uso en plantaciones energéticas debiera ser una prioridad para el desarrollo de la bioenergía en los países tropicales en desarrollo.


La sustentabilidad social en la producción de biomasa a partir de plantaciones y cultivos energéticos (principalmente en los países en desarrollo) se plantea como un reto de mayor complejidad, ya que implica el acuerdo de intereses entre diferentes actores sociales en temas como: la distribución de los beneficios, cambios o mantenimiento de los derechos de propiedad de la tierra, la competencia y las consecuencias de la bioenergía con otros usos del suelo (e.g. alimentos) y los programas de extensión rural (agrícolas y forestales) (e.g. transferencia de tecnología y minimización de riesgos de inversión por factores económicos y ambientales).

La posibilidad de utilizar tierra para producir energía se debe considerar en el contexto de otras necesidades de uso del suelo, siendo la producción de alimentos la más importante, aunque otros aspectos como la preservación de la biodiversidad y los ecosistemas, así como el cuidado del paisaje y la hidrografía merecen también atención pertinente.

Ya que la preocupación por la producción de alimentos es uno de los aspectos de mayor peso en el debate de la competencia por el uso del suelo, la oposición social al uso de especies alimenticias en la bioenergía ha motivado dedicar mayor investigación para mejorar la producción y conversión de biomasa no involucrada en las cadenas alimenticias humanas

De esta manera la investigación más reciente está desarrollando nuevas tecnologías para producir biocombustibles a partir de la biomasa lignocelulósica en lugar de utilizar los almidones. Como los almidones se producen a partir del cultivo de cereales, la sustitución por biomasa lignocelulósica puede reducir considerablemente la competencia con los alimentos por el suelo agrícola; la biomasa de lignina y celulosa puede provenir de residuos municipales, residuos agrícolas, del aprovechamiento de los bosques, de plantaciones energéticas y de otras biomásas (e.g. pastizales, matorrales). Considerando que la madera es la fuente de biomasa más abundante, el aprovechamiento de los bosques y las plantaciones dedicadas son alternativas que ofrecen mayor potencial de productividad para la bioenergía.

Desde el punto de vista tecnológico, todo parece indicar que la demanda de alimentos y bioenergéticos llevarán a la optimización tecnológica del uso del suelo ya



que aún existe amplio margen para incrementar la productividad por hectárea, de manera que puede cubrirse tanto la demanda de alimentos como la de bioenergéticos; sin embargo, reconocen que aunque haya más comida *per cápita*, el problema continúa siendo de inequidad social, ya que la población en inseguridad alimentaria no tiene los ingresos para comprar la comida que necesita. De tal modo que si la producción de biomasa llega a proveer ingresos a los pequeños campesinos, la bioenergía puede contribuir favorablemente en mejorar la seguridad alimentaria.

Otra alternativa importante para reducir la competencia por el uso del suelo consiste en la recuperación de suelos degradados que no son de interés para la producción de alimentos o la conservación natural. Al respecto, la producción de biomasa con especies perennes (lignocelulósicas) puede contribuir significativamente en la reducción de la erosión, ya que después del segundo año de establecimiento aportan cantidades significativas de cobertura vegetal. Desde 1996, la ONU mencionó que esta alternativa ofrecería efectos ambientales positivos, ya que en los países tropicales hay extensas zonas deforestadas y degradadas que pueden ser utilizadas para establecer plantaciones energéticas. El potencial de plantaciones energéticas en suelos degradados, aun con

bajos rendimientos, puede ofrecer satisfacer hasta un 25% de la energía global primaria que se consume actualmente, con oportunidades de restauración ambiental e impulso a la economía de las comunidades rurales con escasos recursos naturales, por ello se deben de establecer políticas gubernamentales que obliguen al uso de tierras degradadas.

## 5. Bioenergéticos de primera generación

En la Figura 1 se presenta un esquema de evolución de bioenergéticos líquidos y se hará referencia a ella a lo largo de las siguientes secciones para clasificar a los bioenergéticos líquidos por generaciones tecnológicas. Los biocarburantes de primera generación, como el llamado bioetanol (etanol carburante o etanol anhidro) y el biodiesel basan su producción en granos y semillas, respectivamente, que son con frecuencia materias primas usadas como alimentos de consumo humano o animal; los de segunda generación a partir de biomasa o lignocelulosa; y los de tercera a partir de una captura y almacenamiento directo de bióxido de carbono y energía solar. Los procesos de conversión de la primera generación han sido probados a escala comercial y por tanto se dice que son tecnologías maduras. En el caso



del etanol se tienen, desde el punto de vista de la materia prima a dos grandes sectores, el proveniente de la sacarosa obtenida de la caña de azúcar, sorgo dulce y de la remolacha principalmente; y el de la glucosa obtenida principalmente de almidones de maíz, trigo, arroz, yuca, entre otros.

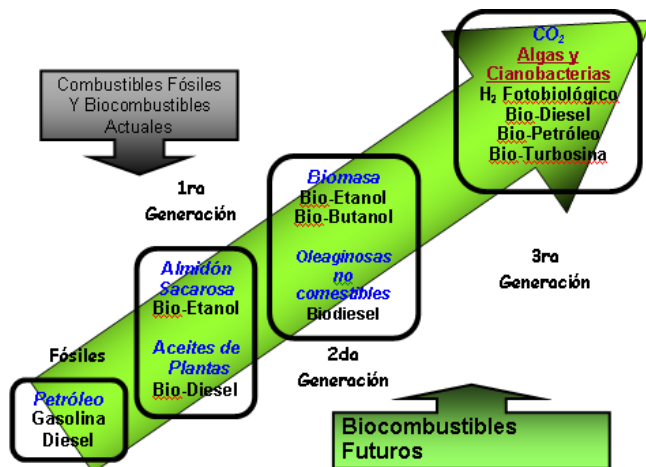



Figura 1. La evolución de las tecnologías de aprovechamiento de la bioenergía.

En el caso de la sacarosa esta es fermentada por levaduras en reactores de cientos de miles de litros por procesos continuos en los cuales la corriente de fermentación agotada en azúcares y rica en etanol es destilada para obtener etanol con un contenido del 96%, del cual posteriormente se elimina una mayor cantidad de agua hasta llegar a un grado alcohólico mayor al 99% para considerarlo como carburante. En este campo, a partir de caña de azúcar, Brasil es el mayor productor mundial llegando al presente a más de 50 millones de litros diarios de bioetanol, con precios de venta

menores en un 40% que los precios de venta de la gasolina y esperan triplicar su producción en diez años. El costo de producción con estas tecnologías es de 23 centavos de dólar por cada litro. En el caso de los almidones, estos son hidrolizados a glucosa con la ayuda de un proceso de dos etapas, con enzimas degradadoras hasta obtener glucosa, la cual a semejanza del proceso antes descrito es fermentada por levaduras y convertida en etanol. Los EUA son los principales productores de etanol a partir de maíz, con un costo de producción de 39 centavos de dólar por litro. Actualmente los EUA producen más de 150 millones de litros diarios de bioetanol.

Los valores antes mencionados dan una clara idea de que es posible obtener una cantidad suficiente de bioenergéticos, en este caso bioetanol, y aunque el contenido energético del etanol es solo del 70% del de la gasolina, el volumen total producido por los EUA y Brasil alcanzaría para satisfacer toda la energía utilizada en combustibles líquidos en el sector transporte en México. Cabe aclarar que la situación agropecuaria, de tenencia de la tierra, de incentivos para la producción de bioenergéticos, así como de políticas públicas es muy diferente entre los EUA, Brasil y México, lo cual hace muy difícil aplicar los mismos esquemas para la producción de bioetanol en México. Aunado a esto y de forma relevante, México no es




autosuficiente en la producción de maíz, este constituye el principal insumo de alimentación de la población en México y es utilizado también para alimentación de ganado. Es claro entonces que no debe utilizarse el maíz para la producción de biocombustibles, ya que establece una competencia directa con la producción de alimentos para la población en México. Por otro lado, no obstante que México es autosuficiente en la producción de azúcar a partir de caña, los excedentes son muy pequeños para ser considerados en la producción de etanol como carburante. Asimismo, este azúcar es usado en una amplia variedad de bebidas que constituyen un aporte energético para un gran sector de la población con escasos recursos, tanto en zonas urbanas como rurales. Además, el costo de producción de caña de azúcar en México es tres veces más costosa que en Brasil, de tal forma que desde el punto de vista económico hace que este esquema sea inviable. Se considera que este insumo podría ser utilizado para la producción de bioetanol, siempre y cuando se usen otras fracciones de tierra y esquemas diferentes a los usados para producir azúcar, y aunque técnica y económicamente pudiera ser factible, aún en este sistema se establece una competencia con la producción de alimentos a través del uso de tierras aptas para cultivo. Como conclusión de esta parte, es claro que en

México no es atractivo desde muchos puntos de vista producir etanol carburante mediante tecnologías e insumos de primera generación.

## 6. Bioenergéticos de segunda generación

Basados en el contexto presentado en los párrafos anteriores, la biomasa o lignocelulosa, principalmente aquella contenida en los desechos de bosques y en los residuos agroindustriales parecen ser una buena alternativa para la producción de etanol, ya que estos son relativamente baratos, abundantes, en ocasiones presentan un problema de disposición, pero sobre todo no compiten con la cadena de producción de alimentos. La lignocelulosa es un polímero natural que representa cerca del 50% de la biomasa en el planeta y se encuentra en residuos agrícolas (bagazo de caña, rastrojo de maíz, paja de trigo, olotes de maíz, residuos de soya, cascarilla de arroz, entre otros), en desperdicios industriales (papel, viruta, aserrín, etc.), en desechos forestales y municipales, así como en muchos pastos de crecimiento rápido, que en muchas ocasiones representan un problema para el manejo de malezas. Estos desechos son abundantes en muchas partes del mundo, incluyendo México. La estructura y composición de la biomasa es compleja y difícil de



descomponer en los azúcares que la constituyen. Además, contrario a la producción de etanol a partir de sacarosa o almidón, la complejidad y el grado de estructuración de la lignocelulosa hacen más difícil su hidrólisis, ya sea por acción enzimática o química. Aunado a esto, los microorganismos etanologénicos silvestres como las levaduras, no tienen la capacidad de metabolizar todos los azúcares presentes en la biomasa. Estas complejidades han empujado el desarrollo de tecnologías más sofisticadas para obtener azúcares fermentables y a diseñar y construir microorganismos por métodos biotecnológicos que puedan convertir todos estos azúcares en etanol. Aunque existen muchos esfuerzos a nivel internacional, a la fecha no existen tecnologías maduras ni económicamente viables para convertir la biomasa en etanol carburante. Sin embargo, se espera que los avances biotecnológicos logren romper las barreras que limitan la introducción en el mercado al etanol de segunda generación en los próximos cinco años.


Por otro lado el etanol como carburante tiene varias limitantes y dista mucho de ser un biocarburante ideal. Su contenido energético es solo el 70% en comparación con el de la gasolina, tiene una presión de vapor que favorece una mayor evaporación que la gasolina, pero sobre todo es higroscópico, lo cual lo hace incompatible

con la mayor parte de la infraestructura que tiene PEMEX, ya que a mediano plazo ocasionaría un deterioro importante en tanques de almacenamiento, ductos, pipas y sistemas de confinamiento. Por tal razón el etanol se plantea principalmente como oxigenante de la gasolina, lo cual además de reducir el uso de otros tipos de oxigenantes sintéticos, permite reducir la emisión de una amplia gama de contaminantes.

Afortunadamente, existen otros alcoholes de cadena más larga que tienen mejores propiedades como carburantes. Tal es el caso del bio-butanol, este no es afín por el agua, además presenta un contenido energético, presión de vapor y otras propiedades similares a la gasolina, por lo cual lo hacen totalmente compatible con la infraestructura de PEMEX y la de los motores de combustión interna con los que se disponen actualmente, ya sean a gasolina o híbridos. La investigación relacionada con la producción de bio-butanol a partir de biomasa es incipiente, pero se espera que en unos diez años se constituya en un biocombustible con un amplio mercado.

## **7. Bioenergéticos de tercera generación**


El petróleo fue formado hace cientos de millones de años por medio de la



transformación de una inmensa cantidad de materia orgánica proveniente de animales y principalmente de plantas y algas, ya sea macro o microalgas. Entonces en un sentido estricto el petróleo, aunque un combustible fósil, es un bioenergético formado en escalas geológicas. Es muy probable que las microalgas hayan jugado un papel muy importante en el aporte de materia orgánica que dio origen al petróleo. Aún hoy, las microalgas tienen una amplia variedad, pueden crecer en aguas salobres, dulces y de desecho con alta cantidad de materia orgánica. Además las microalgas presentan propiedades muy variadas y existen algunas que acumulan una alta cantidad de carbohidratos, otras acumulan proteínas, algunas aceites y otras hasta compuestos, lineales como los alcanos y alquenos o aromáticos, que pueden ser usadas para obtener materias primas para la manufactura de etanol o butanol, alimento para ganado, biodiesel y hasta los denominados bioturbosina y biopetróleo, respectivamente, pero ahora, con tecnologías desarrolladas por el ser humano, en escalas de meses. Un aspecto relevante es que las algas se convierten en los bioreactores que fijan bióxido de carbono de la atmosfera y energía del sol para generar las materias primas para los biocombustibles. También algunas variedades de microalgas están siendo estudiadas para producir hidrógeno

fotobiológico. Esto muestra el amplio potencial que tienen las microalgas para obtener biocombustibles. A manera de ejemplo a continuación se describen algunos de sus potenciales para producir biodiesel.

La obtención de biodiesel a partir de plantas oleaginosas es una tecnología que tiene sus límites para desplazar al diesel de petróleo por varios inconvenientes, tales como la superficie de cultivo requerida, el tiempo de producción (meses) y el bajo rendimiento de lípidos (aceites) obtenido con las plantas oleaginosas (menor al 20%). Una alternativa que promete satisfacer la demanda global de diesel para el transporte, es la producción de biodiesel a partir de lípidos procedentes de microalgas. A diferencia de las plantas las microalgas presentan diferente capacidad fotosintética y por su crecimiento en medio acuoso, son más eficaces en la asimilación de bióxido de carbono y otros nutrientes. De tal forma que ofrecen varios beneficios tales como el elevado contenido lipídico de algunas especies (mayor al 40%), periodos cortos de producción (días) y menor superficie equivalente de cultivo requerida. La tecnología con microalgas posee la ventaja adicional de que puede acoplarse al reciclaje del bióxido de carbono liberado por las industrias. El potencial de obtención de biodiesel con microalgas es ilimitado, aunque los trabajos relacionados con microalgas son relativamente pocos y la mayor parte de los



estudios fueron realizados hace más de dos décadas. Con los resultados obtenidos en esa época se concluye que las tecnologías desarrolladas hace veinte años hacen económicamente factible el cultivo y utilización de microalgas para obtener biodiesel cuando el precio del petróleo rebasa los sesenta dólares americanos por barril. El reto ahora es reducir al menos a la mitad el costo de producción de biodiesel con microalgas.

Finalmente, algunas microalgas acumulan en grandes cantidades de compuestos similares a los que constituyen el petróleo, razón por la cual no es descabellado plantear el cultivo de estas variedades para ser sometidas después a un proceso de craqueo y obtener productos similares a los que actualmente se procesan en las refinerías.

## Conclusiones

La bioenergía y las tecnologías que hacen posible su aprovechamiento tienen un gran potencial para satisfacer las necesidades energéticas de los seres humanos y para contribuir a la sustitución de las fuentes energéticas fósiles y nucleares. Sin embargo, requiere que su explotación se haga en términos sustentables en el cual se aproveche mejor su carácter regenerativo, lo cual la convertiría en una fuente renovable de

energía neutra de emisiones de cambio climático. Es necesario que su desarrollo se realice conciliando los conflictos de uso del suelo y de la producción de alimentos, propiciando el desarrollo y la equidad social, rehabilitando suelos.

El desarrollo tecnológico de la segunda y tercera generación de bioenergéticos, aunado al uso eficiente de leña en zonas rurales y al desarrollo de plantaciones energéticas sustentables, es una condición indispensable para que la bioenergía logre plenamente su potencial, contribuya al desarrollo sustentable y facilite la transición hacia una matriz basada en energías renovables.