

3. Producción de bioenergía

La producción de bioenergía puede realizarse de diversas formas, desde la quema de palos y ramas para cocinar los alimentos hasta la gasificación de astillas de madera para la producción de combustible de transporte. Los sistemas de producción de energía se han de comparar desde el punto de vista de la eficiencia energética, los costos de instalación, las emisiones de carbono, la intensidad de mano de obra, o conforme a varias gamas de costos y beneficios. Sin embargo, la idoneidad de los diferentes sistemas dependerá en gran medida de las estructuras y mercados existentes y no de evaluaciones aisladas de la producción.

Últimamente se ha discutido mucho acerca de los pretendidos beneficios de la bioenergía desde el punto de vista de las emisiones de dióxido de carbono. Es conveniente notar, sin embargo, que la bioenergía solo es una energía renovable y sostenible bajo determinadas condiciones (Perley, 2008). A fin de mantener el balance de dióxido de carbono, la cosecha de biomasa no debe ser mayor que el crecimiento en volumen, siendo preciso tomar en cuenta las emisiones de carbono que tienen lugar durante los procesos de producción, transporte y elaboración. Con el objeto de evitar que las políticas conduzcan a resultados indeseados, la eficiencia de conversión del producto no se debería desligar de su utilización final.

Desde el punto de vista económico, ambiental y social, la idoneidad de los diferentes sistemas de producción de bioenergía dependerá mucho de las circunstancias nacionales y locales. Para asegurar que se alcancen los objetivos de política, es necesario que en la planificación de una estrategia relativa a la bioenergía se lleven a cabo análisis de diferentes alternativas y sus impactos generales.

COMBUSTIBLES LEÑOSOS SÓLIDOS

Si bien el uso de la madera para cocinar los alimentos y calentarse es tan antiguo como la civilización, la eficiencia de esta fuente energética varía según los sistemas de producción. La conversión energética potencial de la madera que es quemada en un fuego abierto es de solo alrededor del 5 por ciento. Las estufas de madera tradicionales aumentan esta eficiencia hasta aproximadamente el 36 por ciento, y las fábricas para caldear de carbón vegetal, hasta entre el 44 y el 80 por ciento, dependiendo del diseño y el método empleado para la producción del carbón. Las modernas estufas de pellets para uso en las viviendas tienen una eficiencia de alrededor del 80 por ciento (Mabee y Roy, 2001; Karlsson y Gustavsson, 2003).

En la actualidad, se usan o están en experimentación diversas tecnologías para la producción de bioenergía a escala industrial. Cabe mencionar entre éstas las calderas de recuperación de calor, los dispositivos de cogeneración para la producción de calor y energía eléctrica, y los gasógenos de recuperación de energía de alto rendimiento.

Las calderas con turbina de vapor, que son alimentadas esencialmente con corteza, se pueden integrar en un aserradero como alternativa a los hornos en colmena u otras máquinas para la eliminación de desechos. El calor procedente de las calderas genera vapor, que se utiliza para generar electricidad mediante turbinas o se emplea en otras operaciones de elaboración. Las calderas de recuperación tienen una función análoga en las fábricas de pulpa y papel, y se usan para reciclar el licor negro y recuperar los productos químicos del pulpeo, así como para producir vapor para las operaciones de pulpeo. La eficiencia de una caldera con turbina de vapor es por lo general del 40 por ciento (Karlsson y Gustavsson, 2003). El tradicional bajo precio de los combustibles fósiles no ha constituido un aliciente suficiente para dotar los aserraderos de generadores de electricidad.

El vapor producido por los cogeneradores se usa para suministrar energía para otras operaciones industriales o a redes de distribución térmica para viviendas, oficinas o industrias. La recuperación tanto de calor como de energía eléctrica puede aumentar considerablemente la eficiencia de las operaciones. Gracias a las tecnologías más recientes y mediante la recuperación y el reciclado de los humos de combustión, la eficiencia puede llegar hasta el 70 a 80 por ciento (Karlsson y Gustavsson, 2003).

La eficiencia de carbono de los sistemas de cogeneración basados en la madera es generalmente alta respecto a las fuentes de energía no renovables y a la mayoría de los demás biocombustibles. Spitzer y Jungmeier (2006) observaron que el calor producido por una instalación eléctrica de ciclo combinado alimentada con astillas liberaba tan sólo 60 g de equivalente de CO₂ por kilovatio de energía producida. Una instalación análoga, alimentada con gas natural, liberaba alrededor de 427 g de CO₂.

Se informa que las nuevas tecnologías de gasificación recuperan energía de forma mucho más eficiente, en términos de generación de electricidad, que la combustión tradicional que tiene lugar en calderas. Un ciclo combinado de gasificación integrada puede aumentar la eficiencia hasta aproximadamente el 47 por ciento y, mediante los dispositivos de cogeneración, teóricamente hasta el 70 u 80 por ciento. Quedan sin embargo obstáculos técnicos considerables por superar.

Se ha propuesto la técnica de la gasificación como el procedimiento más adecuado para el suministro de energía en pequeña escala a las aldeas y las microindustrias. Las instalaciones pequeñas constituyen una tecnología apropiada, ya que son más baratas, los recambios son fácilmente disponibles y las reparaciones pueden efectuarse en el lugar mismo (Knoef, 2000). Aunque mediante la gasificación de biomasa se consigue producir energía eléctrica a menor costo que con generadores de gasóleo, en Camboya, según Abe *et al.* (2007), las limitaciones principales que encontraba este procedimiento eran la falta de suministros regulares y los obstáculos para el cultivo de árboles maderables. También se ha constatado que la rentabilidad de las pequeñas instalaciones que funcionan como empresas comerciales era escasa, y que su existencia dependía mucho tanto de los precios de la energía como de los costos de los insumos de biomasa (Knoef, 2000). Wu *et al.* (2002) llegaron a conclusiones análogas tras investigaciones llevadas a cabo en China, y señalan que las instalaciones medianas son más apropiadas en los lugares en que el financiamiento es el factor fundamental.

Los hornos de pellets que adoptan la tecnología más perfeccionada para la conservación y recuperación de la energía se han convertido en una opción interesante. Los pellets provienen originalmente de los desechos de la madera (tales como el serrín y las raspaduras) y no de trozas enteras, y por lo tanto se pueden considerar como parte integrante de la fabricación de productos forestales. La materia prima con que se confeccionan se seca y fracciona mecánicamente, y los pellets se forman por extrusión a alta presión. Los hornos modernos pequeños de pellets de madera son la máquina más efectiva para la producción en pequeña escala de bioenergía.

BIOCOMBUSTIBLES LÍQUIDOS

Los biocombustibles comprenden diversos combustibles líquidos y gaseosos derivados de la biomasa. Los biocombustibles de «primera generación» se obtienen a partir de los cultivos alimentarios e incluyen el bioetanol a base de caña de azúcar y almidón y el biogasóleo a base de semillas oleaginosas. Los biocombustibles de «segunda generación» se derivan de productos agrícolas y forestales distintos de los cultivos alimentarios y aprovechan la lignina, celulosa y hemicelulosa de la planta. La tecnología de elaboración de la lignina aún está en fase de experimentación.

En los últimos tiempos, los altos precios del petróleo han avivado el interés por los biocombustibles líquidos. Los que más han atraído la atención han sido los biocombustibles líquidos derivados de cultivos alimentarios, que tienen precios más bajos y han alcanzado una fase de desarrollo más avanzada. Se espera que a mediano plazo, y gracias a progresos tecnológicos futuros, la competitividad de los biocombustibles de segunda generación pueda aumentar. En la actualidad, muchos gobiernos ven en los biocombustibles un medio para reducir la dependencia de las importaciones de petróleo y las emisiones de gases de efecto invernadero. Por ejemplo, las metas de la Iniciativa sobre los biocombustibles del Departamento de Energía de los Estados Unidos de América contemplan llegar a un costo del etanol celulósico competitivo respecto del de la gasolina para 2012, y reemplazar, para 2030, el 30 por ciento del consumo de gasolina con biocombustibles (CEPE/FAO, 2007).

Biocombustibles líquidos de primera generación

Los biocombustibles líquidos de primera generación se fabrican a partir de una gama de cultivos que son relativamente específicos de determinadas zonas geográficas. En las regiones templadas, la colza, el maíz y otros cereales se usan como materias primas para la producción de biocombustibles, mientras que en las regiones tropicales se usa la caña de azúcar, el aceite de palma y, en menor medida, la soja y la yuca. La caña de azúcar no es un cultivo difundido en los países pertenecientes a la OCDE, entre los cuales solo Australia y los Estados Unidos de América figuran como los productores importantes. En cambio, la remolacha azucarera se cultiva en muchos países de la OCDE, y a pesar de que la finalidad de la producción son los productos alimenticios, en el futuro, el objetivo productivo puede cambiar.

Las tecnologías para la producción de etanol a partir del azúcar y el almidón se han afinado y desarrollado con los años. El Brasil y los Estados Unidos de América han hecho grandes avances en estas tecnologías; el Brasil se ha concentrado en la

fermentación del azúcar, mientras que los Estados Unidos de América, en la hidrólisis y fermentación del almidón. Varios países de Asia y el Pacífico tienen sistemas de explotación suficientemente desarrollados y en vías de expansión, en especial Filipinas, la India, el Pakistán y Tailandia. La caña de azúcar presenta, entre otras ventajas, la de que el bagazo, que es el componente celulósico del tallo de la caña, se puede usar para generar energía con la cual producir bioetanol; y con este procedimiento se consigue aumentar la eficiencia total de carbono y energía.

La producción de cultivos de semilla oleaginosa está más difundida en todo el mundo que la producción de caña de azúcar. Las semillas oleaginosas se usan para producir biogasóleo mediante un proceso llamado de transesterificación. La producción de los cultivos de semilla oleaginosa requiere, eso sí, condiciones edáficas y de crecimiento inmejorables que podrían limitar los aumentos de producción, o acarrear la conversión de uso de las tierras forestales en tierras que se destinarían a los cultivos de semilla oleaginosa.

Hasta la fecha, Europa ha ocupado un lugar predominante en la industria del biogasóleo, al generar alrededor del 90 por ciento de la producción mundial y usar como materia prima principal el aceite de colza. En la actualidad, Malasia e Indonesia son los mayores productores mundiales de aceite de palma. En 2006, la superficie plantada de palma aceitera de Malasia era de 3,6 millones de hectáreas, mientras que en Indonesia era de alrededor de 4,1 millones de hectáreas (FAO, 2007c). Las estimaciones de las superficies de palma aceitera varían considerablemente, y según algunas fuentes serían incluso mayores que las indicadas por la FAO (Butler, 2007a).

El desarrollo de los biocombustibles y de la industria del aceite de palma es especialmente importante en Asia, en razón de los fuertes aumentos proyectados de la demanda de energía en esa región. La conversión de las tierras para el cultivo de la palma aceitera ha sido causa de conflictos, y se aduce que la expansión de las plantaciones de palma en Malasia e Indonesia se ha hecho a menudo a expensas de tierras forestales recientemente sobreexplotadas, pluviselvas de gran valor o pantanos turbosos que almacenan carbono. El 27 por ciento de las plantaciones de palma aceitera en Asia sudoriental se sitúa en terrenos turbosos drenados (Hooijer *et al.*, 2006). Las emisiones producidas por estos terrenos contribuyen mucho a los gases de efecto invernadero en todo el mundo.

Últimamente se ha investigado el uso de otras plantas oleaginosas, tales como *Jatropha* spp., como materia prima para la producción de biogasóleo. El género *Jatropha* comprende más de un centenar de especies, incluidos arbustos y árboles, es oriundo del Caribe y se encuentra hoy en distintos lugares a través del trópico. Las semillas de *Jatropha curcas* producen un aceite que se usa cada vez más en la producción de biogasóleo, especialmente en Filipinas y la India. La planta es resistente, se da bien en tierras marginales y también puede ser usada para restaurar tierras degradadas. Estas características apuntan a que, con una ordenación adecuada, la producción de *Jatropha curcas* podría ampliarse sin competir directamente con los bosques naturales o las valiosas tierras agrícolas que se destinan a la producción de alimentos.

Biocombustibles líquidos de segunda generación

Se espera que, gracias a las tecnologías de segunda generación que están en fase de experimentación, se consiga producir, a partir de materias primas celulósicas –que comprenden tanto los residuos agrícolas como la madera–, biocombustibles líquidos competitivos desde un punto de vista económico para uso en el transporte. Se prevé que dentro de 10 a 15 años se pueda disponer de una tecnología comercialmente competitiva para la conversión de la celulosa en biocombustibles líquidos (Instituto de la Vigilancia Mundial, 2007). La producción demostrativa de estas materias ya ha comenzado (véase www.iogen.ca), y el bioetanol es el combustible celulósico líquido más próximo a ser comercializado. El Gobierno de los Estados Unidos de América está realizando inversiones en la actualidad en biorrefinerías de celulosa en pequeña escala (Departamento de Energía de los Estados Unidos de América, 2008).

Es probable que los residuos agrícolas figuren entre las materias primas para obtención de biocombustibles líquidos más baratas. El bagazo y los residuos de producción de cereales, como el maíz, el trigo, la cebada, el arroz y el centeno, se cuentan entre las materias primas que pueden utilizarse para fabricar bioetanol. Sin embargo, tan sólo se podrá utilizar aproximadamente el 15 por ciento de la producción de residuos total para la generación de energía tras satisfacer las exigencias relacionadas con la conservación del suelo, la producción de piensos para el ganado y otros factores como las variaciones estacionales (Bowyer y Stockmann, 2001). A medida que aumente la producción de bioenergía, los residuos agrícolas que sirven de materia prima para la producción de biocombustibles cobrarán mayor importancia, y su disponibilidad aumentará gracias a las mejores prácticas de ordenación.

Los residuos de las industrias forestales y de madera de plantaciones forestales son otros recursos potenciales de materia prima para la producción comercial de biocombustibles celulósicos. Hoy en día, solo una pequeña porción de los biocombustibles líquidos procede de los bosques, pero el desarrollo de procedimientos viables de producción de biocombustibles celulósicos líquidos podría conducir a un aprovechamiento más amplio de la biomasa forestal por el sector de los transportes.

Para la conversión de la madera en biocombustibles líquidos y en productos químicos, se usan dos tecnologías básicas: la conversión bioquímica y la conversión termoquímica (gasificación y pirólisis). En el proceso de conversión bioquímica, la madera tratada con enzimas libera azúcares hemicelulósicos y celulósicos que se elaboran ulteriormente para la producción de etanol y otros productos. Los residuos de la lignina también se transforman en diversos productos o se usan para suministrar calor y electricidad a la misma instalación de conversión o para la venta.

En el proceso de gasificación, la madera y la corteza, calentadas en un ambiente pobre en oxígeno, producen una mezcla de monóxido de carbono e hidrógeno, que, una vez purificada, da origen a un gas sintético. El gas sintético, licuado ulteriormente, se utiliza como combustible de transporte. La pirólisis es un procedimiento que consiste en elaborar la madera a una temperatura más baja en un ambiente carente o pobre en oxígeno. Se obtiene con este proceso madera carbonizada, gas no condensable y aceite pirolítico. Este último se puede usar directamente como combustible o transformarse en combustibles refinados y productos químicos.

En la actualidad, la conversión bioquímica requiere virutas de madera libres de suciedad y corteza, y por tanto los mismos recursos madereros que se destinan a los aserraderos podrían ser necesarios para dicha conversión. En cambio, para la conversión termoquímica es posible utilizar una mezcla de madera y corteza.

Las biorrefinerías representan perspectivas interesantes, ya que producirán no solo calor y electricidad, sino también combustibles de transporte y productos industriales. Las modernas fábricas de pulpa, que en algunos casos son productores netos de calor y electricidad, se pueden definir como prototipos de biorrefinerías. Se persigue que las fábricas de pulpa dejen de ser exclusivamente grandes consumidoras de energía y productoras de pulpa y papel para convertirse en productoras de pulpa y papel y también de calor, electricidad, combustibles de transporte y productos químicos especiales. Existe el potencial de ajustar el abanico de productos a las situaciones de mercado y de aumentar las ganancias que es posible obtener con una cantidad de madera determinada (CEPE/FAO, 2007).

Los procesos de segunda generación serán probablemente más rentables si se integran en las instalaciones manufactureras existentes, tales como las fábricas de papel, que producen o tienen acceso a una biomasa barata o a subproductos de biomasa (Global Insight, 2007). Es probable que, a causa de la exigüidad de los mercados potenciales y de la escasa disponibilidad de las importaciones, la producción de etanol celulósico no sea abundante fuera de los Estados Unidos de América, Europa y el Brasil.

En la actualidad, uno de los países más avanzados en el campo de la conversión de la celulosa son los Estados Unidos de América. Se apoya en ese país la construcción de biorrefinerías forestales integradas que, agregadas a las fábricas de pulpa, producen bioenergía renovable y bioproductos a partir de materiales agrícolas y forestales (CEPE/FAO, 2007). Las iniciativas recientes en este sector se llevan a cabo en tres áreas principales:

- investigar procedimientos rentables para aislar y extraer componentes seleccionados de la madera antes del pulpeo y destinarlos a la producción de combustibles líquidos y productos químicos;
- utilizar la tecnología de la gasificación para convertir la biomasa –comprendidos los residuos forestales y agrícolas y el licor negro– en gas sintético, que se convierte seguidamente en combustibles líquidos, electricidad, productos químicos y otros materiales valiosos;
- potenciar la productividad de los bosques, especialmente las plantaciones de biomasa de crecimiento rápido con que se producen materias primas baratas y de calidad elevada que se destinan a la generación de bioenergía y a la producción de bioproductos.

El perfeccionamiento de las tecnologías para la producción de biocombustibles celulósicos encierra promesas para el uso de la madera en la producción de energía. Sin embargo, la disponibilidad a través del mundo de las tecnologías avanzadas necesarias planteará problemas, ya que se debe disponer de instalaciones capaces de convertir la madera y otras materias primas celulósicas en combustibles líquidos. El Instituto de Política Agrícola y Comercial ha advertido que la política relativa a las patentes y los derechos de patentes y licencias influirá en la posible adopción de los

biocombustibles (IATP, 2007). Además de las cuestiones tecnológicas y económicas, es crucial comprender las repercusiones de la política de patentes en la producción de biomasa y biocombustibles, y el modo en que las tecnologías vinculadas con los biocombustibles pueden contribuir al desarrollo sostenible.

Los países y empresas privadas que contemplan producir biocombustibles celulósicos líquidos de segunda generación a partir de la biomasa enfrentan un futuro incierto aunque potencialmente lucrativo. El desarrollo de tecnologías que faciliten una producción competitiva de combustibles líquidos a partir de la madera tomará su tiempo y exigirá inversiones cuantiosas en investigación. También se necesitan inversiones importantes para la construcción de instalaciones grandes, especialmente para la gasificación. Cabe notar que, particularmente en algunos países de Europa, a comienzos del decenio de 1980, en respuesta a los altos precios del petróleo se construyeron instalaciones de gasificación para producir metanol a partir de la madera que terminaron no siendo rentables cuando los precios bajaron (Faaij, 2003). Los riesgos que entrañan las inversiones en biocombustibles líquidos de segunda generación son relativamente altos, y por consiguiente la mayor parte de los países en desarrollo evaluará probablemente con atención otras opciones antes de acometer la empresa de dichos biocombustibles.

