

Bosques y energía

Cuestiones clave



Fotos de la cubierta, desde la izquierda:

Arriba: FAO/FO-6079/C. Jekkel; Wikimedia Commons/Gyre; FAO/FO-6077/A. Godbole; FAO/FO-5762/P. Durst

Abajo: Wikimedia Commons/BrokenSphere; FAO/FO-0071; FAO/FO-6849/M. France-Lanord; P. Aronsson

Bosques y energía

Cuestiones clave

ESTUDIO
FAO:
MONTES

154

Las denominaciones empleadas en este producto informativo y la forma en que aparecen presentados los datos que contiene no implican, de parte de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), juicio alguno sobre la condición jurídica o nivel de desarrollo de países, territorios, ciudades o zonas, o de sus autoridades, ni respecto de la delimitación de sus fronteras o límites. La mención de empresas o productos de fabricantes en particular, estén o no patentados, no implica que la FAO los apruebe o recomiende de preferencia a otros de naturaleza similar que no se mencionan.

Las opiniones expresadas en este producto informativo son las de su(s) autor(es), y no reflejan necesariamente los puntos de vista de la FAO.

ISBN 978-92-5-305985-0

Todos los derechos reservados. Se autoriza la reproducción y difusión de material contenido en este producto informativo para fines educativos u otros fines no comerciales sin previa autorización escrita de los titulares de los derechos de autor, siempre que se especifique claramente la fuente. Se prohíbe la reproducción del material contenido en este producto informativo para reventa u otros fines comerciales sin previa autorización escrita de los titulares de los derechos de autor. Las peticiones para obtener tal autorización deberán dirigirse al:

Jefe de la
Subdivisión de Políticas y Apoyo en Materia de Publicación Electrónica de la
División de Comunicación de la FAO
Viale delle Terme di Caracalla, 00153 Roma, Italia
o por correo electrónico a:
copyright@fao.org

© FAO 2008

Índice

Agradecimientos	vii
Prefacio	ix
Resumen de orientación	xi
1. Introducción	1
2. Oferta y demanda de energía: tendencias y perspectivas	5
Energía renovable	6
Dendroenergía	14
Opciones energéticas futuras: cuestiones clave	20
3. Producción de bioenergía	25
Combustibles leñosos sólidos	25
Biocombustibles líquidos	27
4. La contribución de la dendroenergía a la demanda energética futura	33
Fuentes de combustibles leñosos	35
Emisiones y aspectos económicos de los biocombustibles	40
5. Consecuencias de un mayor uso de la bioenergía	45
Pobreza, empleo y precios	47
Tierra y medio ambiente	50
6. Opciones de política y recomendaciones	55
Glosario	59
Bibliografía	65

Cuadros

1 Consumo total de energía comercializada en el mundo, por región y tipo de combustible, 1990-2030	7
2 Consumo mundial de energía hidroeléctrica y otras energías renovables comercializadas por región, 1990-2030	10
3 Aumentos mundiales de las energías renovables	11
4 Usuarios de biomasa tradicional	19
5 Proporción de los combustibles en el total de las mercancías por región	23
6 Residuos madereros procedentes de las operaciones forestales industriales en el Brasil	35

Figuras

1 Consumo total de energía comercializada en los países pertenecientes y no pertenecientes a la OCDE, 1990-2030	6
2 Proporciones de los combustibles respecto de la disponibilidad mundial de energía primaria en 2004	7
3 Consumo total de energía comercializada según el tipo de energía, en 2004, y proyecciones para 2030	8
4 Consumo de energía renovable comercializada en los países pertenecientes y no pertenecientes a la OCDE, 1990-2030	9
5 Porcentaje de energía renovable comercializada, en 2004, respecto del consumo total de energía de los países pertenecientes y no pertenecientes a la OCDE, y proyecciones para 2030	10
6 Consumo mundial de energía renovable por región en 2002, y proyecciones para 2030	12
7 Disponibilidad total de energía primaria procedente de biocombustibles en los países del G8 + 5	13
8 Porcentaje de disponibilidad de energía primaria procedente de la bioenergía	14
9 Existencias en crecimiento totales	15
10 Consumo de combustibles leñosos, en 1990, de los países pertenecientes y no pertenecientes a la OCDE, y proyecciones para 2010 y 2030	17
11 Consumo de combustibles leñosos per cápita, en 1990, de los países pertenecientes y no pertenecientes a la OCDE, y proyecciones para 2010 y 2030	18
12 Cortas de madera en África	19
13 Precio FOB de entrega inmediata del Brent en Europa, 1987-2008	20
14 Emisiones de gases de efecto invernadero en 2000, por sector	21
15 Comparación entre las emisiones de gases de efecto invernadero procedentes de biocombustibles de diferentes orígenes	41
16 Competitividad de los biocombustibles según la materia prima utilizada	42

Recuadros

1 Terminología usada en bioenergía	2
2 Los biocombustibles para el transporte en el Brasil	11
3 Circunstancias que constituyen un obstáculo a una información exacta sobre los combustibles leñosos	16
4 Precios de los productos forestales	39
5 Eficiencia energética y producción de bioenergía	43
6 Beneficios y efectos negativos potenciales del desarrollo de la bioenergía	46
7 Precios de los alimentos y bioenergía	48
8 Hipótesis relativas al desarrollo de los biocombustibles líquidos	51

Agradecimientos

Esta publicación refunde y sintetiza dos estudios más exhaustivos, encargados por la FAO en 2007 y publicados como documentos de trabajo. Estos estudios son *Forests and energy in developing countries*, por Ivan Tomaselli, y *Forests and energy in OECD countries*, por Warren Mabee y Jack Saddler. Ambos estudios se pueden encontrar en www.fao.org/forestry/energy. Un borrador del documento unificado, preparado por Douglas Kneeland y Andrea Perlis, fue distribuido con ocasión del Evento Especial de Alto Nivel: Los bosques y la energía, celebrado en el ámbito de la Conferencia de la FAO en noviembre de 2007. En la presente edición, revisada por Jeremy Broadhead y editada por Maria Casa, se incorporan los comentarios recibidos de los Estados Miembros. También aportaron su contribución a esta publicación Miguel Trossero, Simmone Rose, Sebastian Hetsch y Gustavo Best.

Prefacio

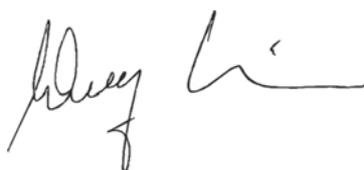
Los bosques y la energía ocupan un lugar cardinal en el debate mundial sobre el cambio climático. Esta publicación persigue arrojar luz sobre tal debate tratando algunas de las principales tendencias que se observan en ambos sectores.

El texto se basa en dos estudios exhaustivos encargados por la FAO en 2007: *Forests and energy in developing countries* (Ivan Tomaselli, Brasil) y *Forests and energy in OECD countries* (Warren Mabee y Jack Saddler, Canadá). Estos documentos de trabajo están disponibles en inglés en el sitio Web de la FAO en www.fao.org/forestry/energy.

Hasta hace cien años atrás, época en que el petróleo comenzó a ser un producto ampliamente disponible, la madera era la fuente de energía más importante para el ser humano. En muchos de los países más pobres del mundo, la madera sigue siendo la fuente de energía esencial para la calefacción y la cocción de los alimentos. En el presente estudio, se da una mirada al futuro y se comprueba que, una vez más, la madera puede volver a ocupar un lugar de relieve como recurso energético en todos los países.

La bioenergía derivada de la madera y de fuentes agrícolas volverá a tener la importancia que había tenido en épocas anteriores. La agricultura y los cultivos forestales juegan un señalado papel en la moderna generación de bioenergía como fuentes de biocombustibles líquidos. Si bien es posible que los combustibles fósiles continúen siendo, por algún tiempo, la fuente predominante de energía, una conversión del uso, gradual y parcial y a largo plazo, de los combustibles fósiles en biocombustibles sólidos y líquidos se perfila como una hipótesis cada vez más probable para muchos países en las décadas venideras. ¿Tendrá esta tendencia consecuencias para los bosques? ¿Se traducirá, en el futuro, en un aumento o en una reducción de los bosques?

Esta publicación analiza estas y otras cuestiones, ofreciendo una aportación a las discusiones informadas sobre política; y bosqueja las posibles oportunidades y las repercusiones en relación con las actividades forestales en el contexto de una demanda energética mundial en aumento. Los cambios esperados en el suministro mundial de energía y el lugar que ocupan las energías renovables procedentes de los bosques se discuten en la Sección 2. Los aspectos de la producción de bioenergía se resumen en la Sección 3, y en la Sección 4 se revisa la contribución potencial de la energía procedente de los bosques al consumo energético mundial durante los próximos años. La Sección 5 examina las repercusiones en los bosques del aumento del consumo de bioenergía, y la Sección 6 esboza algunas opciones de política y recomendaciones a la luz de las oportunidades y amenazas relacionadas con las actividades forestales.



Wulf Killmann

Director

Dirección de Productos e Industrias Forestales

Departamento Forestal de la FAO

Resumen de orientación

La subida vertiginosa del consumo de energía, el aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero y las preocupaciones que despierta la dependencia de las importaciones de productos energéticos son factores que están determinando cambios de alcance mundial respecto a las fuentes de las que se espera derivar energía en los próximos años. Según las proyecciones, el consumo de energía alcanzará su ritmo de aumento más elevado en los países en desarrollo y en particular en Asia. Se prevé que serán los combustibles fósiles los que registrarán el mayor aumento en cuanto al suministro de energía. Pese a que los niveles de consumo per cápita seguirán siendo inferiores a los del mundo industrializado, se pronostica que el consumo de energía en los países en desarrollo superará al de los países desarrollados para 2010.

Las formas de energía alternativas están despertando un interés considerable, ya que constituyen un medio para reducir el consumo de combustibles fósiles y limitar las emisiones de gases de efecto invernadero. La bioenergía, comprendida la dendroenergía, supone una gran proporción del suministro de la energía que en la actualidad proviene de fuentes «renovables». Pese a los aumentos recientes del precio del petróleo, es poco probable que sean tan sólo los mercados los que hayan de sufrir una reorientación hacia las energías renovables, por lo que el consumo futuro dependerá mucho de las medidas de índole política.

La energía derivada de la madera se ha utilizado durante milenios para cocinar los alimentos y para calentarse. En muchos países en desarrollo, sigue siendo la principal fuente de energía, y en la mayor parte de África el consumo total de combustibles procedentes de la madera está aún en aumento, sobre todo a causa del crecimiento de la población. En otras regiones en desarrollo, los consumos nacionales están por lo general disminuyendo, a consecuencia del aumento de los ingresos y la urbanización, factores ambos que determinan un mayor uso de combustibles más convenientes. En los países industrializados, y especialmente en aquellos que disponen de grandes industrias elaboradoras de la madera, la dendroenergía se destina –a menudo en cantidades considerables– a fines tanto domésticos como industriales.

La dendroenergía producida mediante tecnologías eficientes ya es competitiva respecto a la energía fósil en muchos países, pudiendo ofrecer los niveles energéticos y de eficiencia de carbono generalmente más altos del conjunto de las materias primas bioenergéticas. En particular, las instalaciones combinadas para generación de energía térmica y eléctrica (cogeneradores) tienen una eficiencia de conversión que llega al 80 por ciento, y las estufas alimentadas con pellets de madera tienen tasas de conversión análogas. Se espera que a mediano plazo se pueda disponer también de una tecnología para la producción comercial competitiva de biocombustibles líquidos procedentes de materiales celulósicos, incluida la madera, a pesar de que los costos de patentes y derechos puedan frenar su desarrollo. En la actualidad, los biocombustibles líquidos se extraen principalmente de los cultivos alimentarios, y la eficiencia económica y de carbono es por lo general baja. La producción de etanol, a partir de la caña

de azúcar, constituye una excepción notable a esta regla. En el Brasil, los precios del etanol ya están por debajo de los de los combustibles petrolíferos.

Se espera que la producción de biocombustibles líquidos de segunda generación, obtenidos a partir de la madera y otras materias primas celulósicas, haya de ser igualmente competitiva, tanto en cuanto a precios como a emisiones de carbono. La producción de biocombustibles de segunda generación en algunas instalaciones de demostración ya ha comenzado, y se espera que la producción comercial competitiva pueda arrancar dentro de los próximos diez años. La mayor parte de los estudios pronostican que, gracias a los combustibles líquidos de segunda generación procedentes de cultivos perennes y de residuos leñosos y agrícolas, se conseguirá reducir considerablemente el ciclo de vida de las emisiones de gases de efecto invernadero en comparación con las que son generadas por los combustibles petrolíferos. Si ayudada por el avance de la tecnología, la producción de biocombustibles líquidos derivados de materias celulósicas llegara a ser más eficiente y al menos tan económica como la de biocombustibles obtenidos de cultivos alimentarios, la competencia con la producción de alimentos se reduciría, la eficiencia energética aumentaría y el balance general de energía mejoraría.

A más largo plazo, sería posible generalizar la construcción de biorrefinerías capaces de producir una amplia gama de productos –desde pasta de madera hasta combustibles de transporte y productos químicos especializados–, especialmente en países en donde existen grandes industrias elaboradoras de la madera, un ambiente empresarial eficiente y las políticas son objeto de una implementación efectiva. También hay oportunidades para las exportaciones de combustibles de transporte elaborados con materiales celulósicos hacia los grandes mercados altamente remuneradores. Es probable que la demanda adicional de madera pulse los precios al alza hasta que los mercados consigan reequilibrarse. Los precios que se verán más afectados serán los de las trozas de aserradero y las trozas de pulpeo, como ya se constata por la respuesta de los precios en algunos mercados.

La intensificación de las exigencias en cuanto a tierras para la producción de biocombustibles líquidos de primera generación se traducirá probablemente en una mayor presión sobre los bosques a través del mundo. Si los mercados evolucionan siguiendo las tendencias recientes, los costos de oportunidad de los bosques serán en muchos casos probablemente demasiado elevados para impedir que las tierras forestales sean convertidas en tierras para la producción de cultivos bioenergéticos. En las regiones en que las medidas de protección y ordenación sostenible de los bosques resulten inefectivas y no sean defendidas, es posible que los bosques terminen talándose. Se ha propuesto destinar las grandes superficies degradadas, existentes en muchos países en desarrollo, a la eventual expansión de los cultivos bioenergéticos. Sin embargo, será menester, especialmente en los países en los que los bosques tropicales corren el riesgo de ser convertidos en tierras dedicadas a otros usos, acompañar la expansión de la producción de los biocombustibles con una legislación explícita sobre aprovechamiento de la tierra que se cumpla efectivamente.

Unos mercados atractivos que cuentan con el sostén de las políticas bioenergéticas ya están conduciendo a talas de bosques para el establecimiento de la palma aceitera y

otros cultivos con que se producen biocombustibles líquidos. Es poco probable que los objetivos de política relacionados con el cambio climático puedan ser alcanzados, ya que la cantidad de carbono liberada durante las talas supera en mucho a la que pueda volver a ser capturada por un cultivo bioenergético en muchos años. Esta situación es más grave aún en las turberas que ha sido clareadas. Es importante notar en este contexto que la bioenergía solo puede ser considerada renovable si el crecimiento de la biomasa es mayor que los volúmenes cosechados, y si el dióxido de carbono emitido durante la producción, transporte y elaboración no excede del que fue capturado durante el crecimiento. También se han de tomar en cuenta las pérdidas de carbono asociadas con la reconversión de las tierras para la producción de bioenergía.

La contribución de la dendroenergía a la producción de energía en el futuro dependerá probablemente de cuán competitiva llegue a ser la energía basada en la madera para alcanzar los objetivos contenidos en las políticas energéticas recientes; los costos y beneficios sociales, económicos y ambientales de los sistemas de energía maderera; y las cuestiones políticas e institucionales que conforman el marco dentro del cual se inscriben las actividades forestales. En el alcance de toda estrategia bioenergética influirá mucho también el contexto local; por ejemplo, la localización geográfica en relación con la oferta y la demanda; la infraestructura, el clima y el suelo; la disponibilidad de tierra y mano de obra; y la estructura social y de buen gobierno.

En la actualidad, la dendroenergía resulta ser más competitiva cuando es generada como un subproducto industrial de la elaboración de la madera. Los residuos leñosos ofrecen probablemente la mejor oportunidad inmediata de generación de bioenergía en razón de su disponibilidad, valor relativamente bajo y proximidad de los puntos de producción de los lugares en que realizan las operaciones forestales. Los residuos leñosos provenientes de las cortas y elaboración suponen por lo general más de la mitad de la biomasa que se extrae de los bosques.

En los bosques naturales se puede disponer de más del 70 por ciento del volumen total de biomasa para la generación de energía. La mayor parte de este material consiste en copas y otras piezas desechadas que se abandonan en el bosque después de la cosecha. Los desechos de aserradero constituyen otra fuente de residuos más fácilmente accesible.

Las plantaciones forestales establecidas con el propósito exclusivo de producir energía se están volviendo más corrientes en algunos países, y es probable que en las plantaciones de usos finales múltiples se lleguen a producir trozas para combustibles leñosos así como para otros fines, según cual sea la demanda del mercado. Las especies que hoy no cuentan con el favor del mercado, las áreas forestales sobreexplotadas y los árboles fuera del bosque representan fuentes potenciales adicionales de madera para energía, además de los productos que se comercializan comúnmente y que por consiguiente son categorías de productos forestales que reciben un precio más alto.

En particular, cuando los recursos humanos y financieros son limitados, se deberían investigar primero las oportunidades que se presentan para el desarrollo de la bioenergía cuando ya hay biomasa disponible y se dispone de una tecnología probada. Con el objeto de reducir los riesgos, resulta competitivo integrar la generación de energía en las operaciones forestales industriales; aumentar la rentabilidad, y mejorar

la ordenación forestal. Así también se fortalece la seguridad energética y se contribuye a la mitigación del cambio climático, objetivos que por ende deberían ocupar un lugar prioritario y ser investigados.

A fin de garantizar la existencia de tierras labrantías suficientes para la producción de alimentos a precios accesibles y evitar la pérdida de hábitats valiosos, es imprescindible que las estrategias bioenergéticas estén estrechamente vinculadas y se integren con las estrategias agrícolas, forestales, de reducción de la pobreza y de desarrollo rural. La planificación y vigilancia del uso de la tierra, así como una gobernanza efectiva, pueden jugar un papel importante cuando se persigue evitar algunos de los problemas medioambientales y sociales que ya están siendo objeto de notificación. Irá en beneficio de todos los países contar con una mejor información sobre las materias primas que entran en la producción de la dendroenergía, incluida la biomasa recuperada durante las operaciones forestales y el comercio de biomasa forestal.

Las políticas y programas que pretenden apoyar el desarrollo de la bioenergía aún están en su infancia; y en materia forestal es preciso considerar antes que nada los siguientes asuntos:

- la obtención sostenible de recursos madereros en relación con las restricciones jurídicas e institucionales, la propiedad de los bosques, el acceso a los datos y la infraestructura forestal;
- una legislación favorable, el cuerpo reglamentario y las políticas; la disseminación de la información a los propietarios de bosques, empresarios y otros agentes;
- las ganancias de eficiencia mediante un aprovechamiento más intensivo de los recursos forestales existentes, la cosecha y elaboración de los residuos forestales, la biomasa de los árboles fuera del bosque y los productos madereros recuperados después del consumo;
- la expansión a largo plazo del área forestal y el mejoramiento de la productividad de los recursos forestales mediante innovaciones en los campos de la silvicultura y la genética, por ejemplo;
- el uso potencial de las tierras marginales y degradadas para la producción de biomasa destinada a la generación de energía.

La transferencia a los países en desarrollo de tecnologías dendroenergéticas avanzadas revestirá una gran importancia respecto de los objetivos ligados al cambio climático. La situación actual representa una oportunidad y un reto destacados para el sector forestal, el cual deberá encontrar formas nuevas de garantizar el suministro de energía, mitigar el cambio climático y apoyar un desarrollo económico y ambiental sostenible.

1. Introducción

La energía juega un papel cardinal en la economía mundial, y las variaciones en los precios de la energía tienen repercusiones significativas en el crecimiento económico, especialmente en los países en desarrollo importadores de petróleo. Se asiste en la actualidad a cambios fundamentales en relación con los recursos de los que se espera extraer energía en los próximos años. Tales cambios obedecen a tres preocupaciones principales:

- los altos precios de los combustibles fósiles;
- los riesgos percibidos que entraña la dependencia de los combustibles fósiles;
- el aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero producidas por los combustibles fósiles.

La bioenergía ofrece la oportunidad de reducir las emisiones de dióxido de carbono por unidad de energía producida, reducir la dependencia de las importaciones de energía y, junto con otros combustibles alternativos, crear una barrera para los crecientes precios del petróleo. Según la efectividad de los marcos políticos e institucionales, se abre a los países la oportunidad de promover un desarrollo nacional y rural sostenible gracias al fomento de la bioenergía. Además, muchos países poseen extensas superficies forestadas que, mediante una ordenación sostenible, pueden producir grandes cantidades de combustibles renovables. Algunos países ya han adoptado políticas que estimulan el uso de la madera para la producción de energía.

La bioenergía se deriva de toda una gama de materias primas, a través de múltiples procedimientos diferentes. Algunos de los términos que se usan para describir los distintos tipos de bioenergía se explican en el Recuadro 1. Una lista de definiciones más completa se ofrece en el Glosario. Tradicionalmente, los combustibles leñosos, los subproductos agrícolas y el estiércol se han quemado para cocinar y calentarse (en la presente publicación, estas materias se llamarán «biomasa tradicional»). Las grandes plantas modernas, que convierten la madera y los residuos forestales en energía eléctrica, o tanto en energía eléctrica como térmica, se suelen construir en lugares adyacentes a las instalaciones de elaboración de la madera. Esta fuente de energía se considera renovable porque los árboles y plantas que han sido convertidos en energía se pueden reemplazar con nuevos árboles u otras plantas. Es importante observar que la bioenergía solo se considera renovable si el crecimiento de la biomasa excede la cosecha, y el dióxido de carbono emitido durante la producción, transporte y elaboración no supera al que ha sido capturado por la biomasa cosechada para obtener energía.

La madera como fuente de energía desempeña funciones múltiples en diferentes regiones del mundo. Muchos países en desarrollo dependen estrechamente de la madera que es fuente de energía para calentar los ambientes y cocer los alimentos, pero los recursos madereros se ven a menudo amenazados por la pérdida de la cubierta vegetal debida al aumento de la población, a la expansión agrícola y a unas

RECUADRO 1

Terminología usada en bioenergía

El término «bioenergía» se refiere a todos los tipos de energía derivados de los biocombustibles. Los biocombustibles son combustibles que se derivan de materias de origen biológico, o biomasa.

La FAO clasifica los biocombustibles según la procedencia de la biomasa usada para su producción –bosques, agricultura o biomasa urbana– y la situación del producto. Por consiguiente, los biocombustibles comprenden los combustibles leñosos, los agrocombustibles y los subproductos urbanos, y cada uno de estos grupos se divide en formas de combustibles sólidos, líquidos o gaseosos que pueden usarse para la generación de calor o electricidad. Tomando el ejemplo de los combustibles leñosos, se definen los siguientes grupos principales:

- combustibles leñosos sólidos: leña (madera en bruto, astillas, serrín y pellets) y carbón vegetal;
- combustibles leñosos líquidos: licor negro (un subproducto de la industria del pulpeo) y etanol, metanol y aceite pirolítico (provenientes de la descomposición termoquímica o bioquímica de la madera);
- combustibles leñosos gaseosos: gas pirolítico (producido por la gasificación de los combustibles leñosos sólidos y líquidos).

El término «agrocombustibles» se refiere a los materiales de biomasa que derivan directamente de los cultivos destinados a la producción de combustibles y de los subproductos agrícolas, agroindustriales y animales. Los biocombustibles urbanos incluyen principalmente los productos de desecho tales como los fangos cloacales, los gases de relleno sanitario, así como los desechos sólidos urbanos.

En esta publicación, el término «biocombustible» se refiere a todos los combustibles de origen biológico, mientras que con el término «biocombustible líquido» se designan los combustibles líquidos de origen biológico. Esta definición difiere del uso común del término biocombustible en Europa, que denota los combustibles líquidos de origen biológico que se usan como fuentes de energía para el transporte: el bioetanol y el biogasóleo. Esta terminología no se adopta aquí.

Fuente: FAO, 2004

prácticas de ordenación forestal insostenibles. Los países industrializados y los países en desarrollo en rápido crecimiento consumen la mayor parte de los combustibles fósiles del mundo y recurren, a escala industrial, cada vez más a la dendroenergía. Algunos de estos países –pero no todos– han conseguido estabilizar o incrementar su superficie forestal.

En los últimos tiempos, el potencial de los biocombustibles de sustituir a los combustibles de transporte ha representado un fuerte aliciente para invertir en la producción del bioetanol y biogasóleo que se obtienen de productos vegetales. En

la actualidad, la mayoría los biocombustibles líquidos se manufacturan a partir de cultivos alimentarios, incluida la palma aceitera, la caña de azúcar, el maíz, las semillas de colza, la soja, el trigo y otros cultivos. Por lo general, el bioetanol de primera generación se produce a partir de azúcar vegetal o almidón, y el biogasóleo, de aceite vegetal. Es posible, pues, que exista competencia entre los usos finales de estos cultivos, y se ha esgrimido repetidamente el argumento de que los precios de los alimentos han subido a consecuencia de la demanda registrada por éstos y otros cultivos para la producción de energía.

Se espera que, a mediano plazo, se llegue a disponer de una tecnología que permita producir económica y competitivamente biocombustibles líquidos procedentes del material celulósico. Las materias primas que se utilizarán con más probabilidad serán la madera, los residuos agrícolas y algunas gramíneas como *Panicum virgatum* y *Miscanthus sinensis*. Es menos probable que su uso cause una subida de los precios de los alimentos, ya que tales materias primas no se utilizan para la producción alimentaria y crecen en zonas consideradas marginales para la producción de alimentos.

A corto plazo, la expansión de la producción agrícola para la obtención de bioenergía determinará muy probablemente una mayor presión sobre la tierra y será causa de un mayor número de talas. A pesar de que los diversos cultivos que se usan en la actualidad para producir biocombustibles líquidos y los nuevos cultivos que se están empleando para este propósito se adaptan a las tierras marginales, unos y otros suelen competir por las tierras hoy ocupadas por los bosques. Como los bosques almacenan grandes cantidades de carbono, su reemplazo con cultivos bioenergéticos puede traducirse en una pérdida neta de carbono terrestre. En el presente, el 17 por ciento de las emisiones mundiales de dióxido de carbono se deben a la deforestación (IPCC, 2007).

Conforme aumenta el interés por la bioenergía y se lleva a cabo una cartografía de los posibles impactos que sufrirá el sistema, han salido a la luz algunas formas de compensación de ventajas y desventajas. En artículos de investigación recientes se ha minimizado la función de los biocombustibles líquidos en la mitigación del cambio climático. La cuestión esencial consiste en saber en qué medida los combustibles líquidos reducen realmente las emisiones de dióxido de carbono en comparación con los combustibles fósiles. Dado que para el cultivo, cosecha, elaboración y transporte de los cultivos y biocombustibles se usa energía, los beneficios netos pueden en algunos casos ser pequeños, e incluso negativos en otros. Sin embargo, los biocombustibles líquidos de segunda generación encierran un potencial mayor. Contrariamente a las pautas de uso actual de los biocombustibles líquidos, el uso de madera que proviene de fuentes sostenibles para la generación de energía térmica y energía eléctrica, o para la cogeneración de ambas, resulta sumamente eficiente, tanto desde el punto de vista de la conversión energética como de las emisiones de gases de efecto invernadero.

En los próximos años, el uso mundial de energía aumentará considerablemente, y los combustibles fósiles, a pesar de sus inconvenientes, seguirán siendo probablemente la fuente de energía viable más económica. Los cambios que se observarán en el futuro en las fuentes de energía dependerán probablemente, entre otros factores, de

los precios de la energía y la dependencia de las importaciones de combustibles fósiles, el costo y potencial de mitigación de las fuentes alternativas de energía y del mayor o menor compromiso respecto a la mitigación del cambio climático. También jugarán un papel importante las decisiones políticas relativas a las subvenciones agrícolas y rurales (Wolf, 2007). La evolución de la dinámica del uso de la energía, en su relación con el cambio climático, tendrá consecuencias profundas en los bosques del mundo. A claras luces, la demanda de energía es una de las cuestiones más críticas con que se enfrenta el sector forestal en el siglo XXI. Los desafíos futuros serán considerables. Si se adoptan decisiones políticas acertadas, los beneficios económicos, ambientales y sociales serán numerosos para la sociedad y para las generaciones venideras.

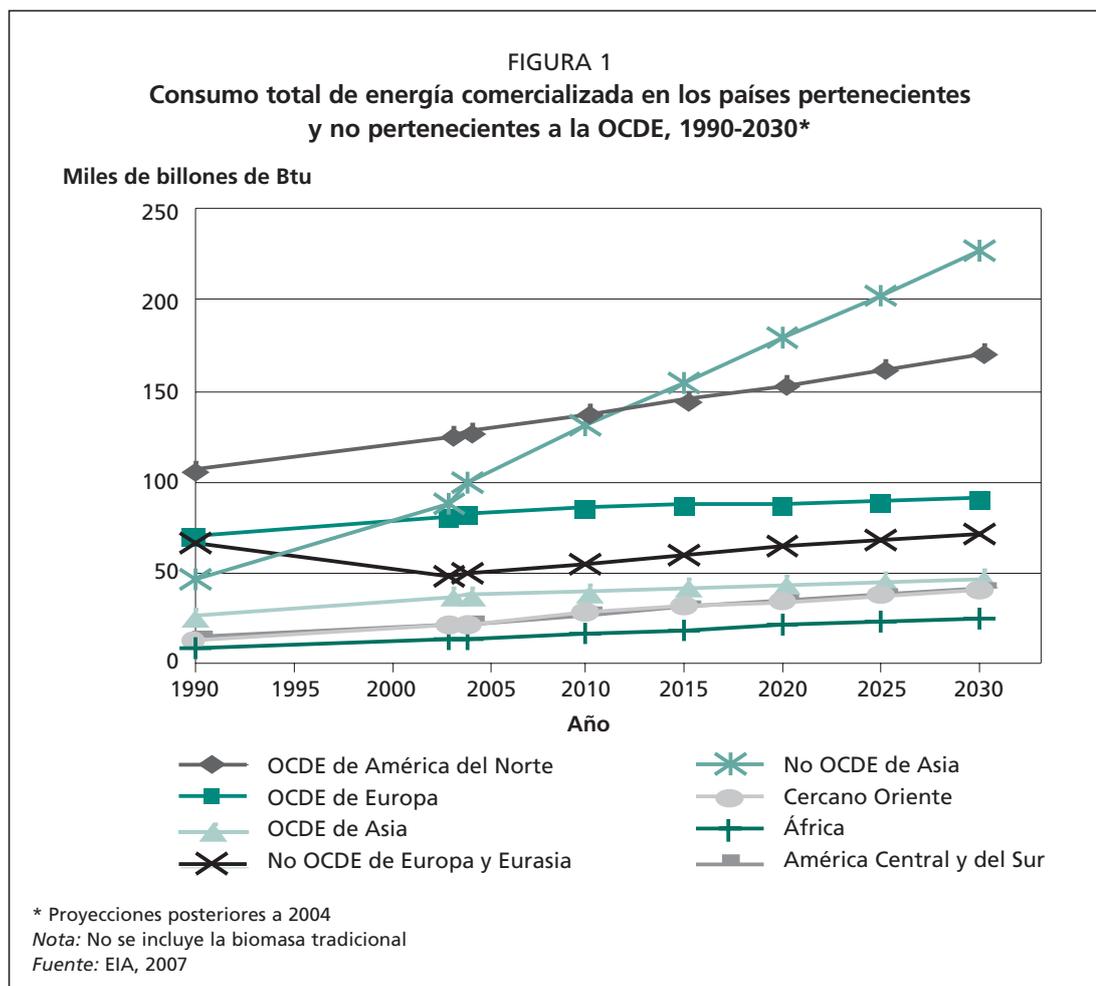
2. Oferta y demanda de energía: tendencias y perspectivas

Se espera que la demanda de energía aumente considerablemente en los próximos años a causa de crecimiento demográfico y el desarrollo económico (EIA, 2007). Muchas personas en el mundo experimentan en la actualidad profundos cambios en sus estilos de vida a medida que se pasa de una economía de subsistencia a una economía basada en la industria o en los servicios. Los incrementos mayores en la demanda de energía se registrarán en los países en desarrollo, donde se pronostica que la proporción mundial del consumo de energía habrá de aumentar del 46 al 58 por ciento entre 2004 y 2030 (EIA, 2007). Las cifras del consumo per cápita se mantendrán sin embargo probablemente muy por debajo de las de los países de la Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE).

Según las proyecciones, el consumo de energía en los países en desarrollo crecerá a un ritmo promedio anual del 3 por ciento entre 2004 y 2020. En los países industrializados con economías maduras y un crecimiento demográfico previsible relativamente escaso, la demanda proyectada de energía crecerá al ritmo más bajo del 0,9 por ciento anual, pero partiendo de un nivel mucho más alto. El consumo de energía en las regiones en desarrollo superará, según las proyecciones, al de las regiones industrializadas para 2010. La generación de energía eléctrica representará alrededor de la mitad del incremento de la demanda mundial de energía, y el transporte supondrá un quinto de esa demanda, que en su mayor parte será de combustibles petrolíferos (EIA, 2007).

Una gran proporción del aumento de la demanda de energía resultará del rápido crecimiento de las economías asiáticas, especialmente China y la India. La demanda proyectada de energía en los países en desarrollo de Asia crecerá a un ritmo del 3,7 por ciento anual, cifra muy superior a la de cualquier otra región (Figura 1). El consumo de energía en Asia más que doblará durante los próximos 20 años, representando alrededor del 65 por ciento del incremento total de la demanda de energía de todos los países en desarrollo. Pese a que se espera que el consumo de energía en los países en desarrollo de otras regiones haya de crecer a un ritmo más lento que en Asia, se prevé que las tasas de crecimiento excederán aun el promedio mundial (Cuadro 1). Si bien todas las regiones jugarán algún papel en la oferta y demanda futuras de energía, los enormes incrementos del consumo proyectados en Asia convertirán a esa región en objeto de interés fundamental en los acontecimientos futuros relacionados con el sector de la energía.

La mayor parte de la energía mundial se genera a partir de fuentes no renovables, especialmente petróleo, carbón y gas (Figura 2). Tan sólo el 13 por ciento de la energía mundial proviene de fuentes renovables, y el 10,6 por ciento de éstas son fuentes



renovables de combustibles y desechos urbanos renovables. El resto de las energías renovables son la hídrica, geotérmica, solar, eólica y maremotriz.

Las proyecciones relativas al consumo mundial de energía total muestran que, entre 2004 y 2030, la mayor parte del incremento corresponderá a los combustibles fósiles, y que la energía nuclear y de otras fuentes registrará aumentos relativamente menores en cifras absolutas (Figura 3 y Cuadro 1). En porcentaje, el gas y el carbón registrarán probablemente los cambios más importantes, aumentando del 65 y 74 por ciento respectivamente. Se espera que el consumo de petróleo aumente en un 42 por ciento, mientras que la energía nuclear y las energías renovables, que partirán de niveles mucho más bajos, aumentarán, según se anticipa, en un 44 y un 61 por ciento respectivamente. Los aportes definitivos de las diferentes fuentes de energía dependerán en gran medida de las orientaciones políticas. Es recomendable, por consiguiente, considerar las proyecciones más que nada como un punto de partida para discusiones futuras.

ENERGÍA RENOVABLE

La energía renovable consiste en energía que es producida o se deriva de fuentes que se renuevan indefinidamente, tales como en el caso de la energía hídrica, solar y eólica, o de fuentes producidas de forma sostenible, tales como la biomasa. A

CUADRO 1

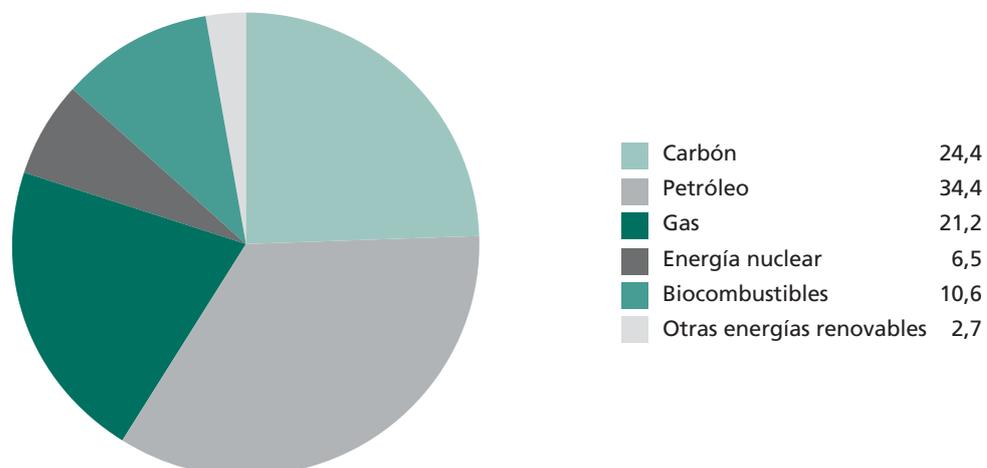
Consumo total de energía comercializada en el mundo, por región y tipo de combustible, 1990-2030 (miles de billones de Btu)

Región	Año					Aumento porcentual anual, 2004-2030
	1990	2004	2010	2020	2030	
Países de América del Norte pertenecientes a la OCDE	100,8	120,9	130,3	145,1	161,6	1,1
Países de Europa pertenecientes a la OCDE	69,9	81,1	84,1	86,1	89,2	0,4
Países de Asia pertenecientes a la OCDE	26,6	37,8	39,9	43,9	47,2	0,9
Países de Europa y Eurasia no pertenecientes a la OCDE	67,2	49,7	54,7	64,4	71,5	1,4
Países de Asia no pertenecientes a la OCDE	47,5	99,9	131,0	178,8	227,6	3,2
Cercano Oriente	11,3	21,1	26,3	32,6	38,2	2,3
África	9,5	13,7	16,9	21,2	24,9	2,3
América Central y del Sur	14,5	22,5	27,7	34,8	41,4	2,4
Total de países pertenecientes a la OCDE	197,4	239,8	254,4	275,1	298,0	0,8
Total de países no pertenecientes a la OCDE	150,0	206,9	256,6	331,9	403,5	2,6
Tipo de combustible						
Petróleo	136,2	168,2	183,9	210,6	238,9	1,4
Gas natural	75,2	103,4	120,6	147,0	170,4	1,9
Carbón	89,4	114,5	136,4	167,2	199,1	2,2
Nuclear	20,4	27,5	29,8	35,7	39,7	1,4
Otros	26,2	33,2	40,4	46,5	53,5	1,9
TOTAL MUNDIAL	347,3	446,7	511,1	607,0	701,6	1,8

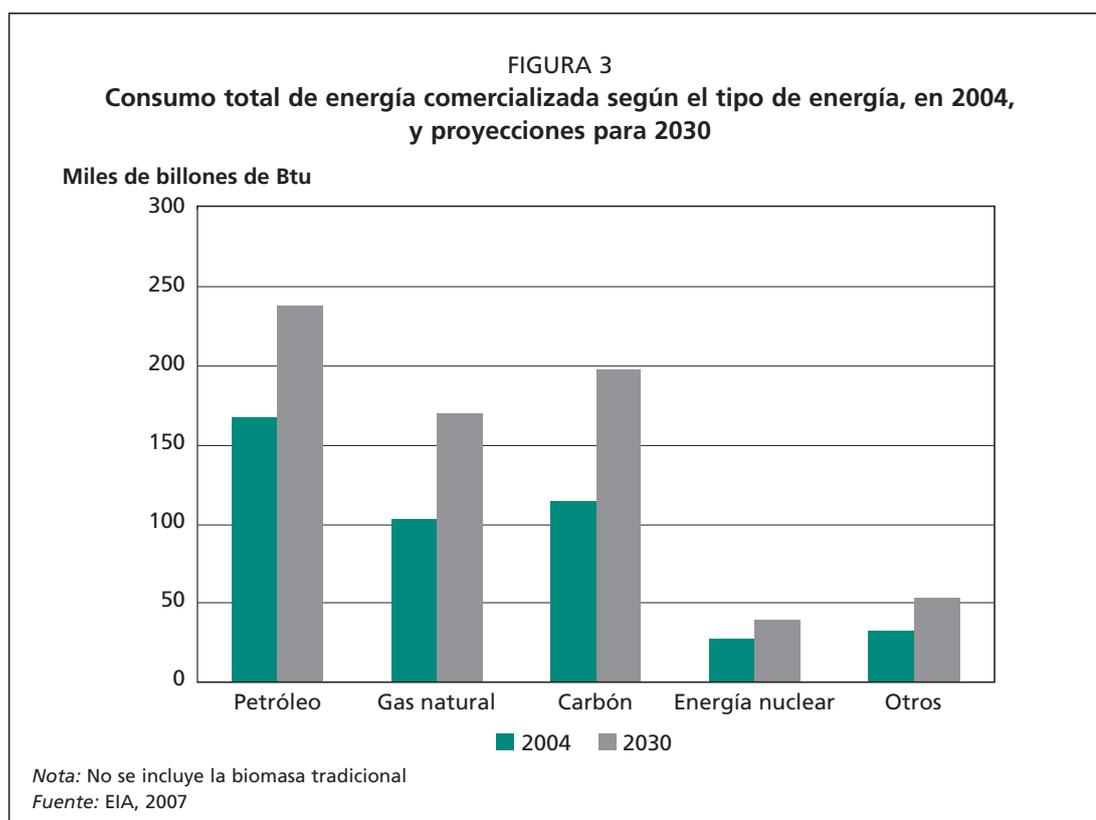
Nota: No se incluye la biomasa tradicional

Fuente: EIA, 2007

FIGURA 2
Proporciones de los combustibles respecto de la disponibilidad mundial de energía primaria en 2004 (%)

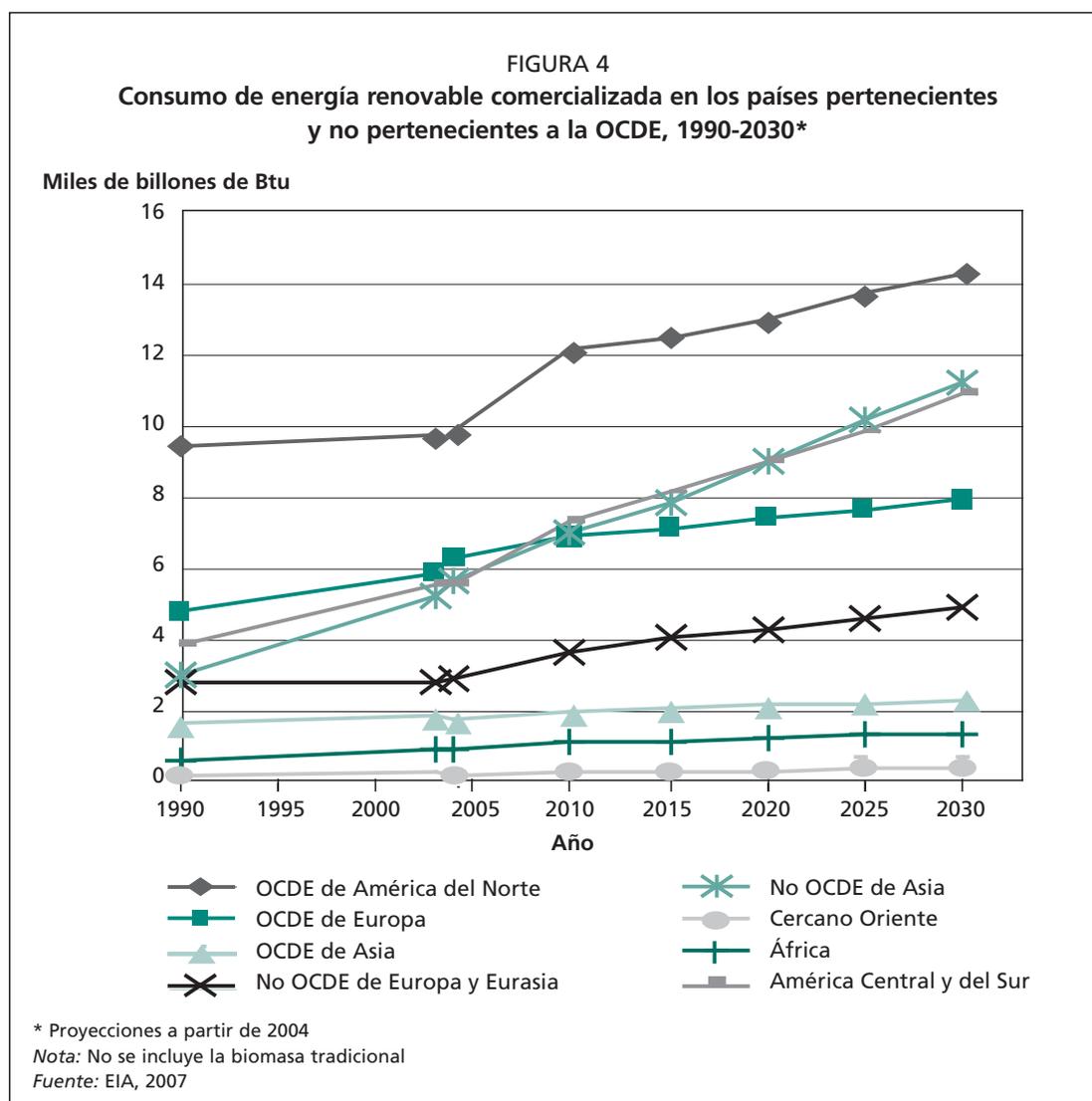


Fuente: IEA, 2007a



pesar de la predominancia pronosticada de los combustibles fósiles, se espera que el uso de las energías renovables registre un aumento. Las proyecciones de la Administración de Información de la Energía de los Estados Unidos (EIA) indican que el crecimiento de las energías renovables será de alrededor del 1,9 por ciento anual durante los próximos decenios. Los aumentos absolutos mayores se esperan en América del Norte, los países en desarrollo de Asia y en América Central y del Sur (Figura 4). Se pronostica que las mayores tasas de aumento del consumo de energías renovables se registrarán en el Cercano Oriente, los países en desarrollo de Asia y en América Central y del Sur (Cuadro 2). En los países asiáticos en desarrollo, esta tendencia se deberá más al aumento de los consumos de energía que a un interés particular por las energías renovables, como es el caso en América Central y del Sur.

En la mayor parte de las regiones del mundo se espera que la proporción de la energía proveniente de fuentes renovables comercializadas aumente en los años venideros (Figura 5). La mayor proporción del consumo total de energía renovable se registrará con mucho en América Central y del Sur, donde las fuentes de energía no fósiles competitivas económicamente ya están bien implantadas (Recuadro 2). En las cifras de consumo no se tiene en cuenta la reciente estrategia a largo plazo de la Unión Europea (UE), según la cual el consumo de energías renovables en la UE aumentará hasta el 20 por ciento del uso total de energía para 2020; la proporción de los biocombustibles utilizados en el transporte aumentará hasta el 10 por ciento, y las emisiones de gases de efecto invernadero en la UE se reducirán hasta el 20 por ciento por debajo de sus niveles de 1990 (Unión Europea, 2007).



Los factores que determinarán la competitividad de las fuentes de energía renovables serán los precios más altos de los combustibles fósiles y las políticas y programas gubernamentales en apoyo del desarrollo de las energías alternativas. Sin embargo, a pesar de los esfuerzos internacionales desplegados, los pronósticos no indican que la proporción de la energía renovable haya de aumentar significativamente a nivel mundial: un incremento escaso –del 7,4 al 7,6 por ciento– es todo lo que se espera en 2030 (EIA, 2007).

La Hipótesis alternativa sobre las políticas mundiales, presentada en el *World Energy Outlook 2006* (IEA, 2006), muestra la posible evolución del mercado mundial de la energía si, a través del mundo, los países decidieran adoptar las políticas y disposiciones que están actualmente en estudio para reducir las emisiones de carbono y mejorar la seguridad del suministro de energía (Cuadro 3). Conforme a esta hipótesis, la proporción de las energías renovables en el consumo mundial de energía se mantendrá en buena parte invariable, mientras que la proporción de biomasa tradicional disminuirá. La producción de energía hidroeléctrica aumentará, pero su proporción se mantendrá estable, mientras que las proporciones de otras energías renovables (incluida la geotérmica, la solar y la eólica) serán las que más rápidamente aumenten,

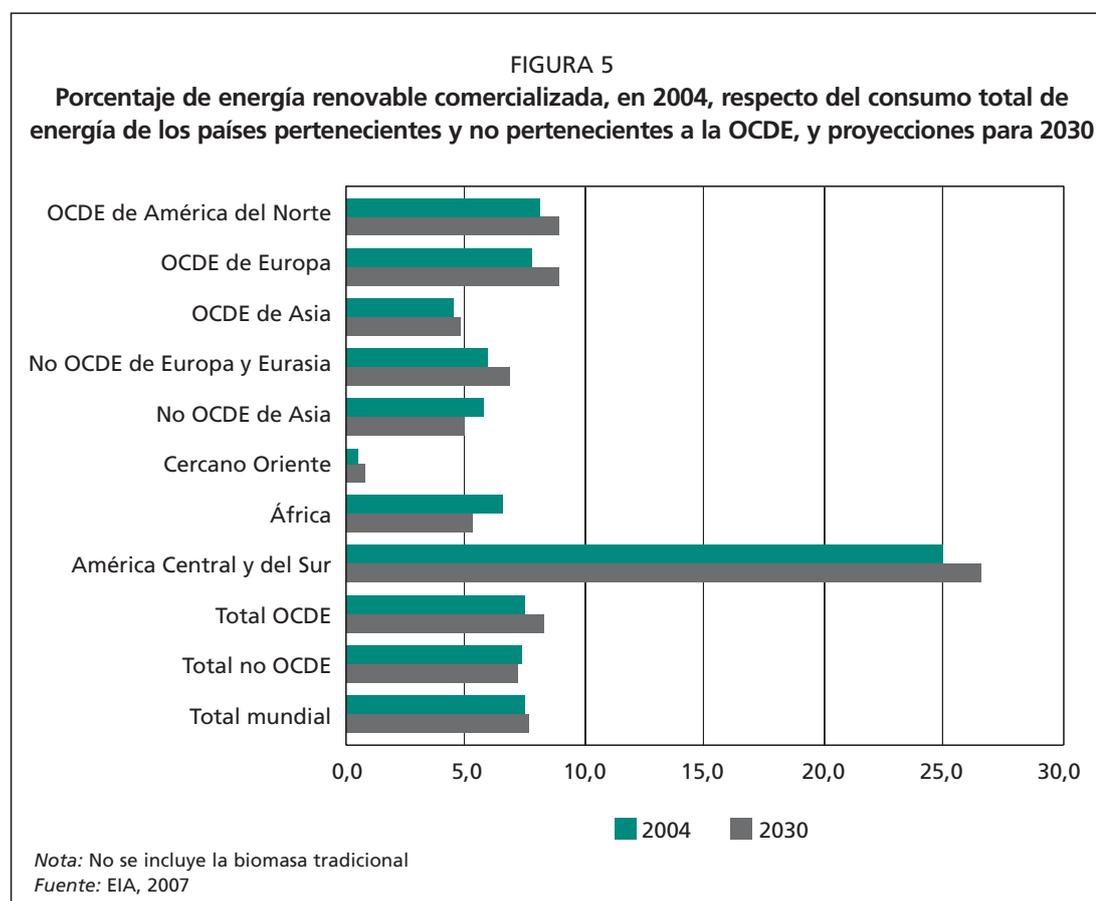
CUADRO 2

Consumo mundial de energía hidroeléctrica y otras energías renovables comercializadas por región, 1990-2030 (miles de billones de Btu)

Región	Año					Aumento porcentual anual, 2004-2030
	1990	2004	2010	2020	2030	
Países de América del Norte pertenecientes a la OCDE	9,5	9,9	12,2	13,1	14,4	1,5
Países de Europa pertenecientes a la OCDE	4,8	6,3	6,9	7,5	8,0	0,9
Países de Asia pertenecientes a la OCDE	1,6	1,7	1,9	2,1	2,3	1,2
Países de Europa y Eurasia no pertenecientes a la OCDE	2,8	2,9	3,6	4,3	4,9	2,0
Países de Asia no pertenecientes a la OCDE	3,0	5,7	7,0	9,1	11,3	2,7
Cercano Oriente	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3	4,3
África	0,6	0,9	1,1	1,2	1,3	1,4
América Central y del Sur	3,9	5,6	7,4	9,1	11,0	2,6
Total de países pertenecientes a la OCDE	15,9	17,9	21,1	22,7	24,7	1,2
Total de países no pertenecientes a la OCDE	10,3	15,3	19,3	23,9	28,8	2,5
TOTAL MUNDIAL	26,2	33,2	40,4	46,5	53,5	2,5

Nota: No se incluye la biomasa tradicional

Fuente: EIA, 2007



RECUADRO 2

Los biocombustibles para el transporte en el Brasil

En todo el mundo, los biocombustibles líquidos representan tan sólo alrededor del 1 por ciento del consumo de combustibles de transporte. Durante la primera crisis mundial del petróleo, en 1975, el Brasil emprendió un programa nacional de biocombustibles que permitió producir etanol en gran escala a partir de las existencias nacionales de caña de azúcar. Más del 90 por ciento de los automóviles que se fabrican y venden en el Brasil son automóviles «flexibles», es decir dotados de un motor que puede funcionar con bioetanol, gasolina o una mezcla de ambos. El Brasil ha lanzado recientemente una campaña global de promoción de los biocombustibles como alternativa viable a los combustibles fósiles usados en el transporte.

En el Brasil, los biocombustibles producidos a partir de la caña de azúcar son más competitivos que la gasolina cuando el precio del petróleo supera los 35 dólares EE.UU. por barril. En comparación, en los Estados Unidos el bioetanol producido a partir del maíz llega a ser competitivo cuando el precio del barril de petróleo es de 55 dólares, y, en la Unión Europea, el bioetanol lo es cuando el precio del petróleo es de 75 a 100 dólares por barril (Instituto de la Vigilancia Mundial, 2007).

El éxito que han conocido los biocombustibles en el Brasil se debe en gran parte a la elevada productividad de la caña de azúcar y a la idoneidad de la materia prima para ser convertida de forma eficiente en etanol. Cada año se establecen aproximadamente 190 000 ha de plantaciones de caña de azúcar, principalmente en el sur del país (FAO, 2007c). Se espera que el Brasil siga siendo el mayor exportador mundial de biocombustibles (Global Insight, 2007).

CUADRO 3
Aumentos mundiales de las energías renovables

Tipo de energía	2004	2030	Aumento aproximado (veces)
Generación de energía eléctrica (TWh)	3 179	7 775	>2
Energía hidroeléctrica	2 810	4 903	<2
Biomasa	227	983	>4
Energía eólica	82	1 440	18
Energía solar	4	238	60
Energía geotérmica	56	185	>3
Energía maremotriz	<1	25	46
Biocombustibles (millones de toneladas de equivalente de petróleo)	15	147	10
Industria y construcción (millones de toneladas de equivalente de petróleo)	272	539	2
Biomasa comercial	261	450	<2
Calor solar	6,6	64	10
Calor geotérmico	4,4	25	6

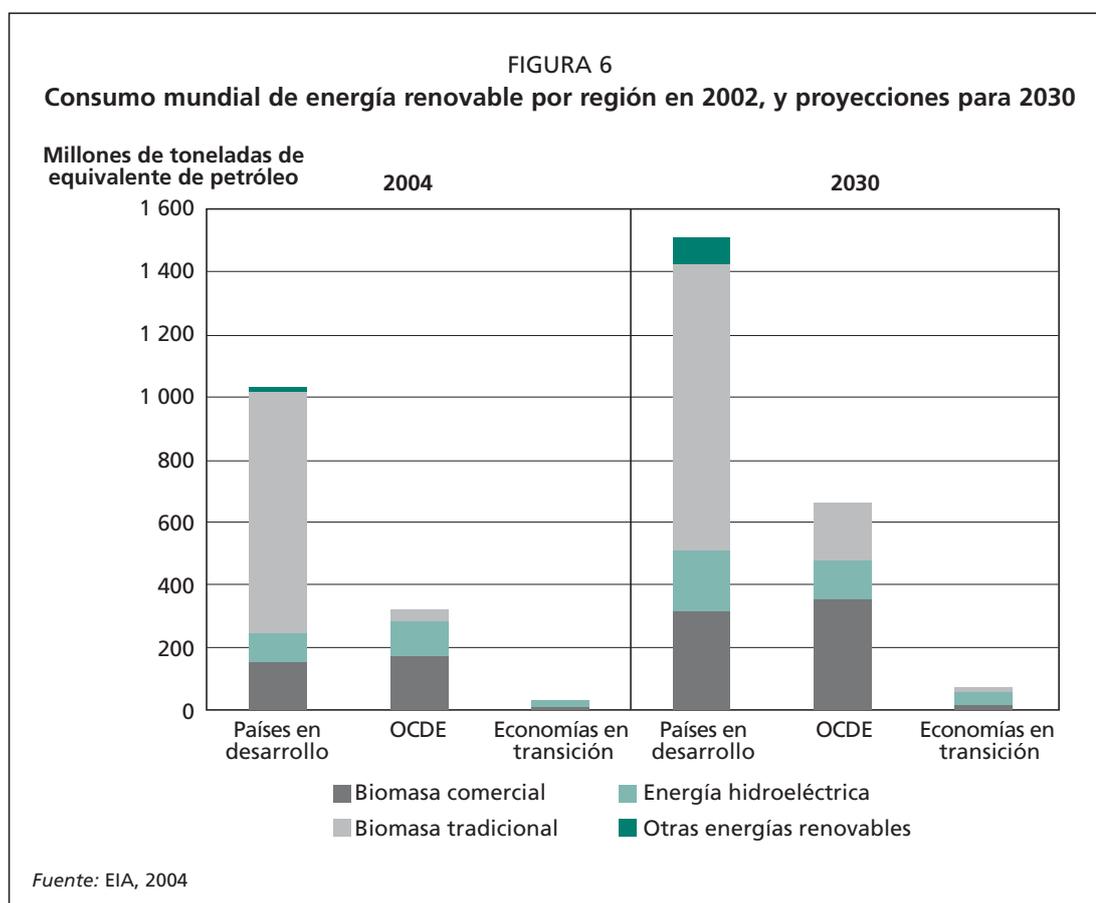
Nota: TWh = teravatios-hora

Fuente: EIA, 2006; OCDE/IEA 2006 citado en IEA, 2007a

pero partiendo de niveles tan bajos que dichas energías seguirán constituyendo el componente más pequeño de las renovables en 2030.

Incluyendo la biomasa tradicional, la calefacción y la cocción de los alimentos seguirán siendo los usos principales de los combustibles renovables durante los próximos 25 años. El sector de la energía eléctrica, sin embargo, será, según las proyecciones, el agente impulsor del incremento mundial del consumo de energía renovable (IEA, 2004). Este sector representó el 25 por ciento del consumo mundial de energía renovable en 2002, y su proporción proyectada aumentará al 38 por ciento para 2030. En la actualidad, menos del 1 por ciento de los combustibles usados en el transporte son renovables. Según las proyecciones, esta proporción alcanzará el 3 por ciento durante los próximos 25 años. Las repercusiones generales de estos cambios en el consumo mundial de energía serán relativamente leves, pero podrán ser considerables en la deforestación y en la seguridad alimentaria.

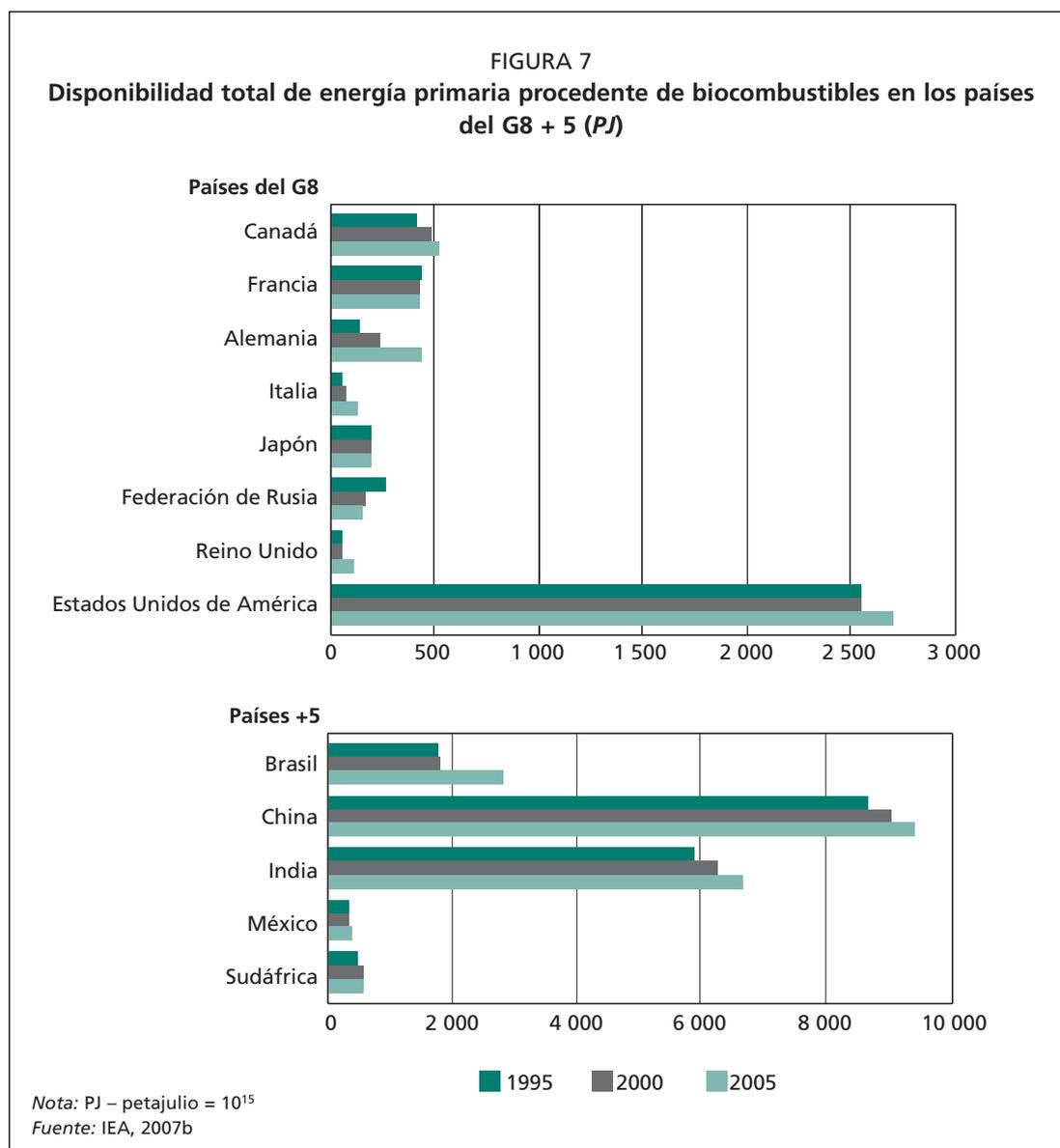
La energía renovable –incluida la biomasa tradicional– representa, en los países en desarrollo, una proporción mayor de los suministros totales de energía que en los países desarrollados. Alrededor del 75 por ciento de la energía renovable se consume en los países en desarrollo, y en ellos la mayor parte de la producción de energía renovable se basa en el uso tradicional de biomasa y en la energía hidroeléctrica. Los países industrializados representan el 23 por ciento del consumo mundial de energía renovable; y las economías en transición, el 3 por ciento (Figura 6).

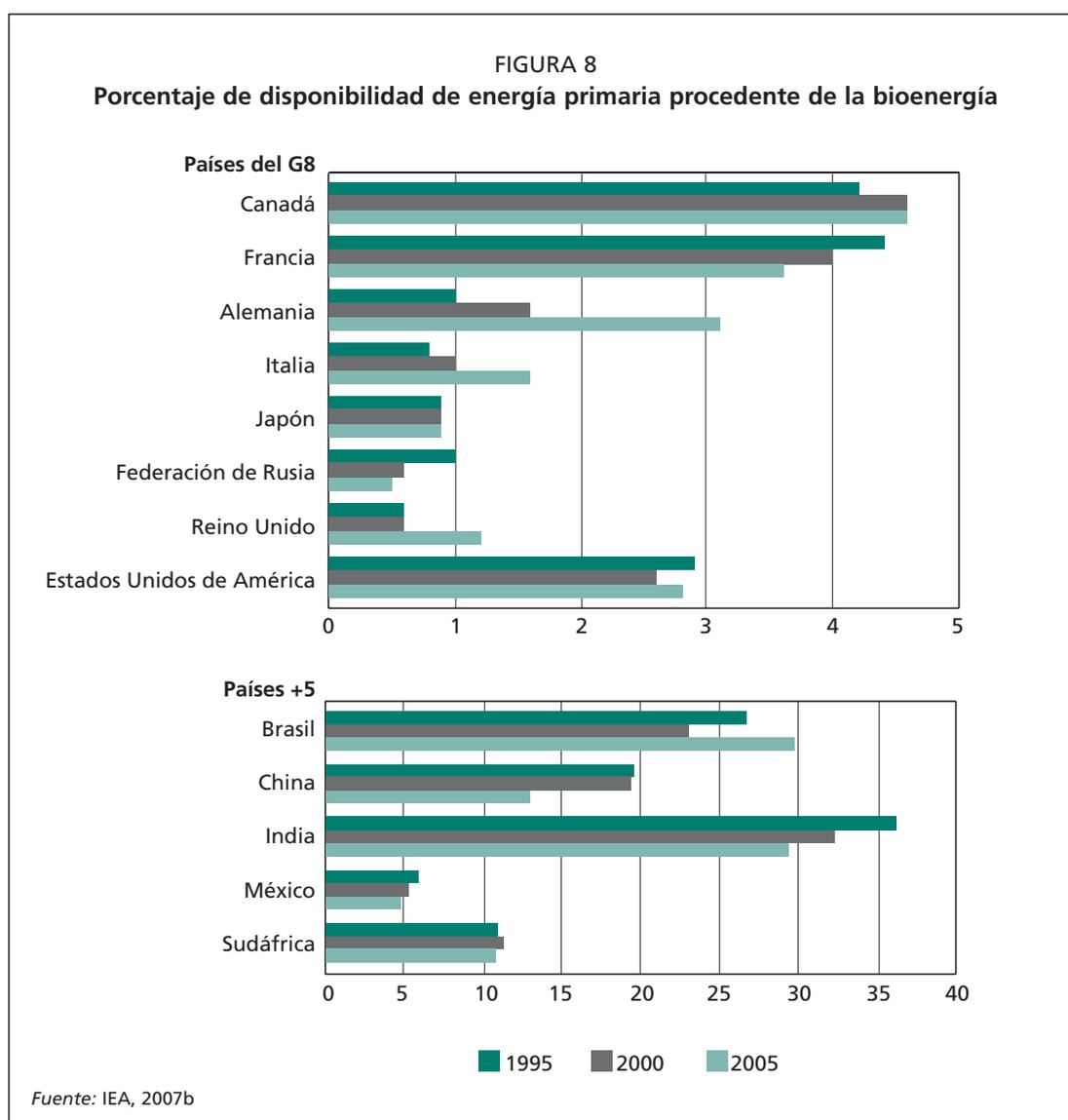


Las dos regiones en las que la energía renovable ocupa un lugar de la mayor importancia son África y América Latina: África, debido al mayor consumo de leña para calentarse y cocinar; y América Latina, debido al elevado uso de sustancias energéticas renovables en el Brasil, país donde el 45 por ciento de toda la energía consumida proviene de fuentes renovables: hidroelectricidad, madera y etanol confeccionado con caña de azúcar.

El uso de los biocombustibles está aumentando mayormente en los países del G8 + 5, que son los mayores consumidores de energía del mundo, con la excepción notable de la Federación de Rusia, donde la disponibilidad de combustibles fósiles está en aumento. En términos absolutos, los Estados Unidos de América, China y la India consumen con mucho las mayores cantidades de biocombustibles (Figura 7).

La Figura 8, en la que se compara el uso relativo de la bioenergía como porcentaje del consumo total de energía en los países del G8 + 5 entre 1995 y 2005, ilustra claramente el efecto que tienen las políticas gubernamentales. El uso de la bioenergía

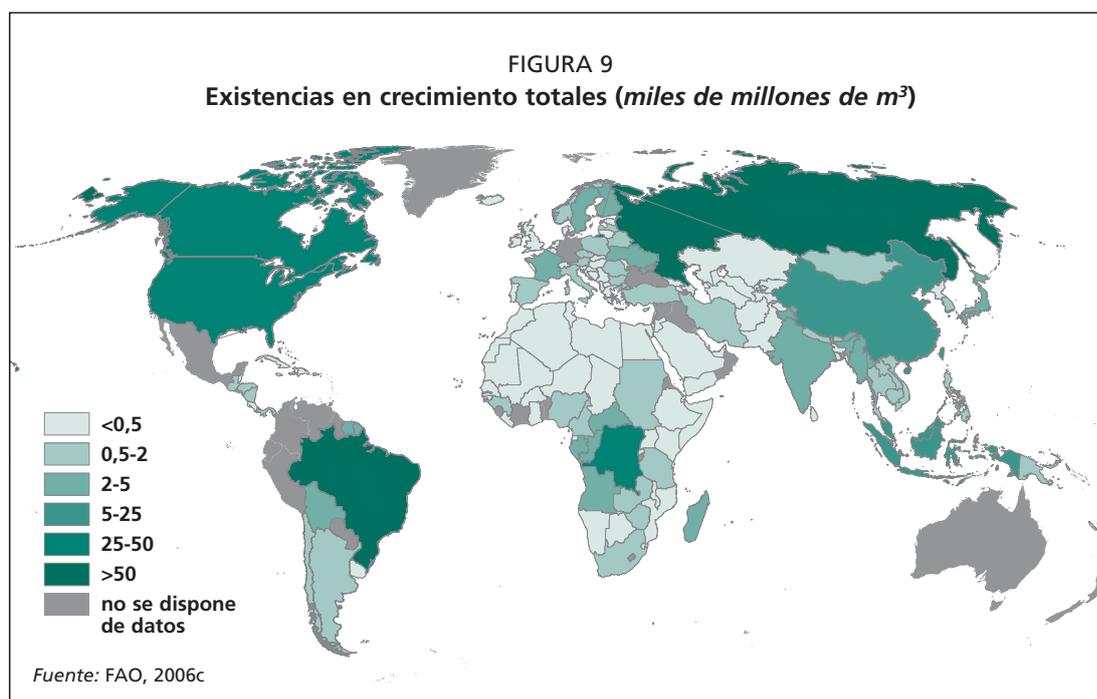




aumentó como porcentaje del uso total de energía entre 2000 y 2005 en Alemania, Italia, el Reino Unido, los Estados Unidos de América y el Brasil, países que ofrecieron incentivos económicos para estimular el consumo de bioenergía. Sin embargo, el uso relativo de biocombustibles disminuyó en China y la India, donde las elevadas tasas de crecimiento dejaron atrás los efectos del aumento de los precios de los combustibles fósiles.

DENDROENERGÍA

La disponibilidad de la madera –y su potencial como biocombustible de sustitución del petróleo en el futuro– es desigual a través del mundo (Figura 9). La producción mundial de trozas industriales fue de alrededor de 1 700 millones de metros cúbicos en 2005, en comparación con una producción de leña de aproximadamente 1 800 millones de metros cúbicos (FAO, 2007c). Alrededor del 65 por ciento de las trozas industriales se produjeron en los países industrializados, en comparación con alrededor de solo el 13 por ciento de la leña. Los mayo-



res productores de leña son la India (306 millones de metros cúbicos), China (191 millones de metros cúbicos) y el Brasil (138 millones de metros cúbicos). La producción de leña alcanza cifras significativas solo en unos pocos países industrializados; entre ellos, los Estados Unidos de América, México, Finlandia, Suecia y Austria. La obtención de datos es problemática, y las encuestas de los hogares acerca del uso de leña han mostrado consumos importantes en varios otros países industrializados (Steierer *et al.*, 2007).

En su gran mayoría, la leña se produce y consume aún localmente. La dificultad de recoger datos fiables en el país radica en que la leña se usa principalmente en el hogar y que su comercio es a menudo informal. Otras advertencias cabría hacer respecto de la exactitud y disponibilidad de las estadísticas sobre la leña (Recuadro 3).

Desde el punto de vista histórico, la madera ha sido la fuente de bioenergía más importante y se ha usado para cocinar y calentarse desde el descubrimiento del fuego. En los países en desarrollo, la madera se utiliza también en actividades comerciales tales como el secado del pescado, el curado del tabaco y el cocido de ladrillos. En los países en desarrollo, se usa esencialmente para la generación de energía en la industria forestal.

En los últimos años, la madera ha despertado interés ya que constituye una alternativa respetuosa del ambiente a la energía fósil; y se han realizado inversiones destinadas a aumentar su eficiencia, especialmente en el campo de las aplicaciones industriales para la generación de calor y electricidad. Los cambios en la política energética que han tenido lugar en distintas partes del mundo han favorecido el desarrollo de sistemas de generación de energía basada en la madera. Gracias a nuevas tecnologías, ha mejorado la factibilidad económica de la generación de energía derivada de la madera, particularmente en los países densamente boscosos en que existen industrias elaboradoras de la maderera bien implantadas.

RECUADRO 3

Circunstancias que constituyen un obstáculo a una información exacta sobre los combustibles leñosos

La información estadística sobre el consumo de combustibles leñosos siempre ha sido difícil de obtener. Las principales causas de la dificultad de obtención son las siguientes:

- Es necesario llevar a cabo encuestas de gran intensidad para recoger una información exacta, ya que la producción y el consumo de combustibles leñosos varían mucho de un lugar a otro y a lo largo del año.
- La mayor parte de los combustibles leñosos son utilizados por la misma persona que los recoge y no son vendidos en lugares determinados tales como mercados, tiendas o fábricas; este hecho no facilita la recolección de información.
- Como en la mayoría de los países los combustibles leñosos son baratos, la importancia económica del sector de dichos combustibles es exigua; se considera por consiguiente que las inversiones destinadas a la recolección de datos estadísticos tienen escaso interés.
- Muchos países carecen de recursos financieros y humanos para recoger información sobre los combustibles leñosos, y lo que es más, los países para los cuales tales combustibles revisten mayor importancia suelen también ser los más pobres.
- A menudo hay una escasa coordinación entre las instituciones interesadas en el sector de los combustibles leñosos (por ejemplo, las dependencias de gobierno responsables del sector agrícola, forestal, de la energía y del desarrollo rural), y los beneficios que reporta la recolección de la información pueden ser insuficientes para una dependencia de gobierno en particular.
- Muchas dependencias de gobierno concentran sus esfuerzos en la producción comercial de madera y desatienden la producción forestal no comercial.
- La información sobre los combustibles leñosos se ve menoscabada por la carencia de unas definiciones claras, de convenciones de medida y de factores de conversión; estas insuficiencias crean dificultades a la hora de comparar las estadísticas de diferentes regiones y en el tiempo.
- La difundida explotación forestal ilegal determina que se declare solo una parte de la producción de madera; por lo tanto, las cantidades de residuos madereros disponibles para la generación de energía suelen ser subestimadas.

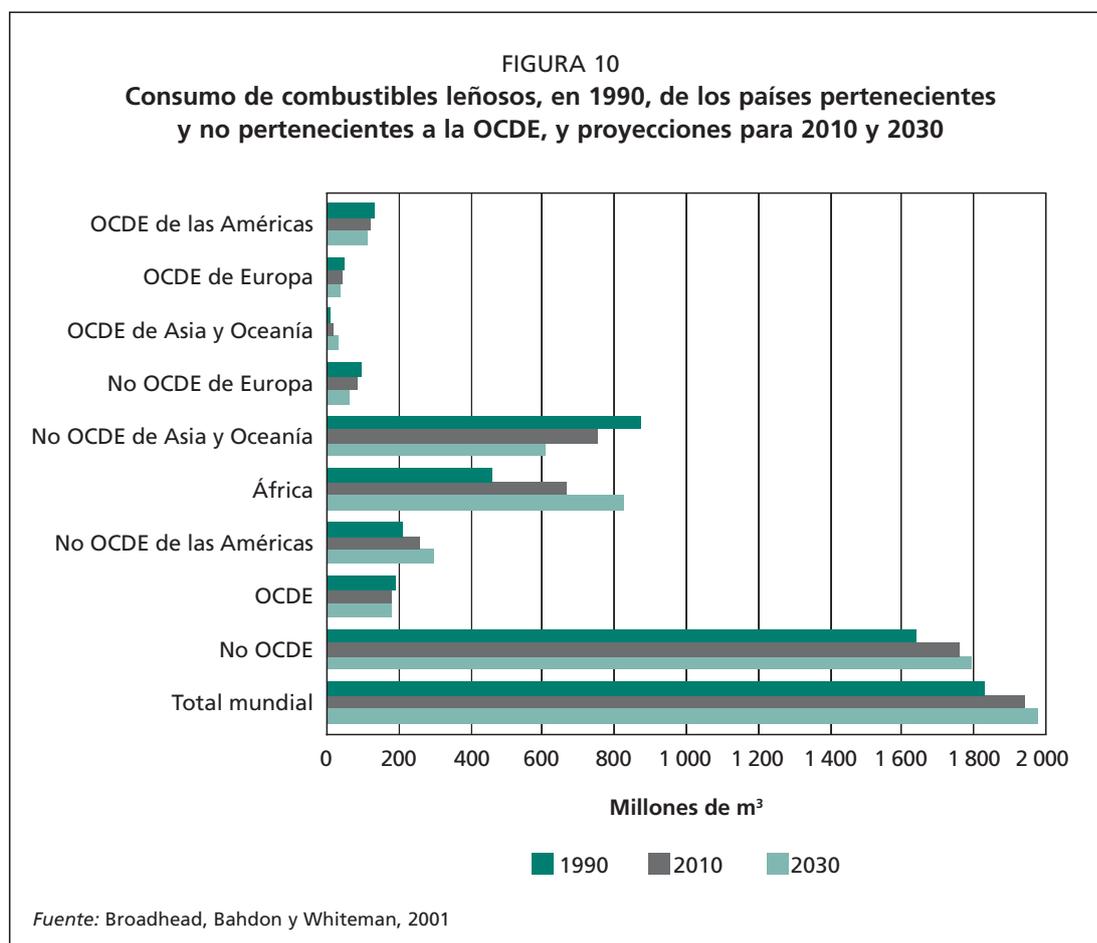
Fuente: Broadhead, Bahdon y Whiteman, 2001

Entre los países de la OCDE, los mayores utilizadores por volumen de la madera en la producción industrial de bioenergía son, en términos absolutos, los Estados Unidos de América, el Canadá, Suecia y Finlandia. La mayor parte de la biomasa que se usa para la producción de energía en esos países se recupera de fuentes indirectas, comprendido el licor negro de la elaboración de la pasta y otros

residuos madereros (Steierer *et al.*, 2007). Las aplicaciones industriales representaron apenas más del 50 por ciento del uso total de la bioenergía en cada uno de esos países.

La leña es la materia energética leñosa predominante en las zonas rurales de la mayor parte de los países en desarrollo, mientras que el carbón vegetal sigue siendo una fuente de energía importante para muchos hogares urbanos en África, Asia y América Latina. Los países en desarrollo representan casi el 90 por ciento del consumo mundial de combustibles leñosos (leña y carbón vegetal), siendo la madera aún la fuente principal de energía para la cocción de los alimentos y la calefacción en los países en desarrollo (Broadhead, Bahdon y Whiteman, 2001). A lo largo de los últimos 15 años, el consumo mundial de combustibles leñosos se ha mantenido relativamente estable, con valores que oscilan entre los 1 800 y 1 900 millones de metros cúbicos.

En la Figura 10 se muestra el consumo, entre 1990 y 2030, de combustibles leñosos en grupos de países pertenecientes y no pertenecientes a la OCDE. La tendencia mundial indica un consumo de combustibles leñosos en aumento, que refleja esencialmente los crecientes consumos en África. Los países de Asia y Oceanía no pertenecientes a la OCDE muestran por el contrario una tendencia menguante, que es conforme al rápido aumento de los ingresos y la urbanización. Se espera que los consumos futuros en los países europeos pertenecientes a la OCDE sean mayores

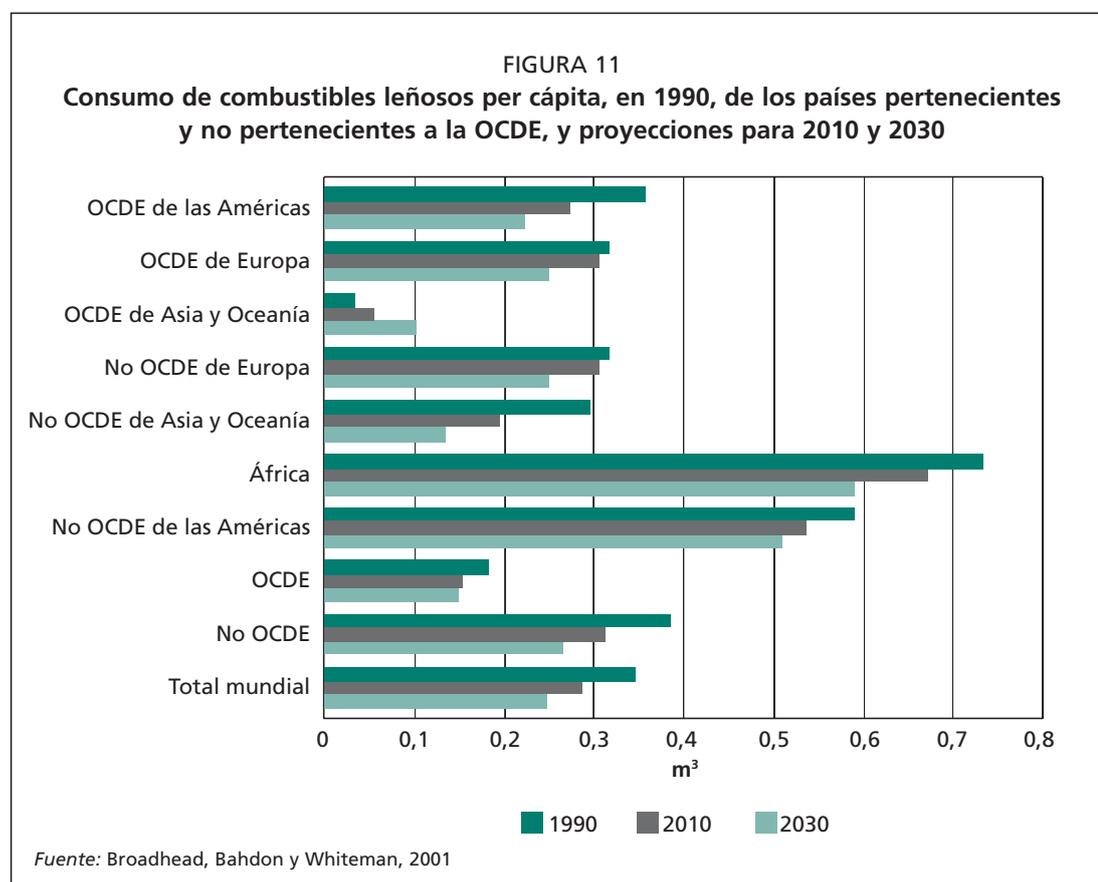


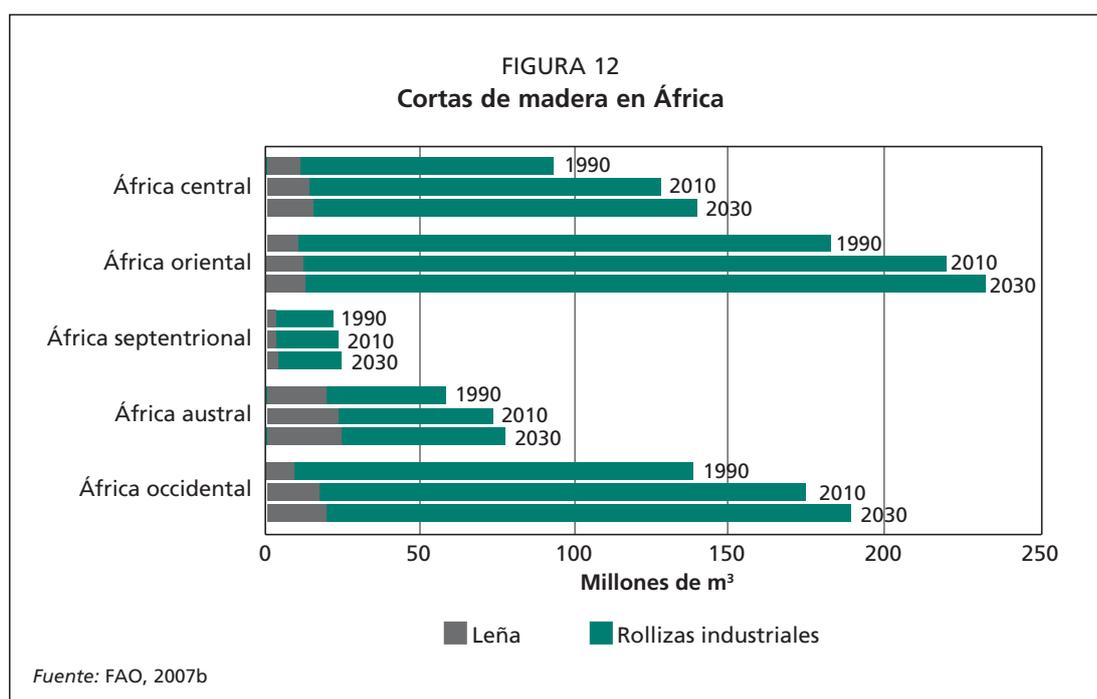
que los que muestra la Figura 11, y se deberán a los planes recientes de la UE de aumentar en un 20 por ciento para 2020 la proporción de las fuentes de energía renovables respecto al uso total de energía (Unión Europea, 2007).

Las encuestas recientes también han puesto de manifiesto que, en diversos países industrializados, el consumo de combustibles leñosos se sitúa muy por encima de las estimaciones anteriores (Steierer *et al.*, 2007). Las cifras relativas a los países de la OCDE reflejan por lo tanto probablemente el extremo más bajo de la gama de valores posibles.

El consumo de combustibles leñosos per cápita (Figura 11) indica unas tendencias diferenciadas del consumo total. En todas las regiones del mundo, con la excepción de los países de Asia pertenecientes a la OCDE y Oceanía, el consumo per cápita está disminuyendo de resultados del aumento de los ingresos, la urbanización, la menor disponibilidad de madera y la mayor disponibilidad de fuentes alternativas de energía que se prefieren a los combustible leñosos. A pesar de esta tendencia, el consumo total de combustibles leñosos está aumentando en África y en los países de las Américas no pertenecientes a la OCDE a causa del crecimiento demográfico.

Las estimaciones del uso de la madera en África muestran que las cortas responden en su gran mayoría a la producción de leña, y que las cantidades consumidas por la industria son relativamente insignificantes en todos los lugares excepto en África austral (Figura 12). El uso de la leña está aumentando en todas las regiones africanas, si bien a un ritmo decreciente.





CUADRO 4
Usuarios de biomasa tradicional (millones)

Región/país	Año		
	2004	2015	2030
África subsahariana	575	627	720
África del Norte	4	5	5
India	740	777	782
China	480	453	394
Indonesia	156	171	180
Resto de Asia	489	521	561
Brasil	23	26	27
Resto de América Latina	60	60	58
Total	2 528	2 640	2 727

Fuente: IEA, 2006

Según los datos recopilados por la Agencia Internacional de Energía (2006), el número de personas que utiliza la biomasa como principal combustible para cocinar irá en aumento (Cuadro 4). Se esperan incrementos considerables en África y en Asia con exclusión de China. En conjunto, y en ausencia de nuevas políticas, el número de personas que depende de la biomasa pasará de 2 500 a 2 700 millones para 2030.

Las dificultades que existen para recoger una información exacta sobre el consumo de combustibles leñosos hacen necesario interpretar con atención los datos. Por ejemplo, los aumentos recientes en los precios internacionales de la energía se han traducido en un ritmo de adopción más lento, por parte de los usuarios de combustibles leñosos, de los combustibles limpios y más eficientes que se usan para cocinar y calentarse (IEA, 2006).

OPCIONES ENERGÉTICAS FUTURAS: CUESTIONES CLAVE

Las opciones energéticas futuras dependerán de diversos factores. La importancia de las diferentes fuentes de energía varía según los objetivos principales de las políticas energéticas. Las diferencias en las emisiones de carbono son importantes en relación con el cambio climático, mientras que la localización de los suministros es importante en relación con la dependencia energética. También revisten importancia los precios futuros de los combustibles fósiles y el alcance de las iniciativas destinadas a proporcionar fuentes alternativas de combustibles. El peso que se dé a cada uno de estos factores y el grado de competencia entre los diferentes objetivos de política determinarán en gran medida el futuro del consumo de energía.

Precio del petróleo

A comienzos de mayo de 2008, el petróleo se vendía a 126 dólares EE.UU. el barril, tras la fuerte subida de un precio que en 1999 había sido inferior a los 20 dólares (Figura 13). Si bien las proyecciones de la Agencia Internacional de Energía indican que los precios del petróleo serán considerablemente más bajos durante la mayor parte de los próximos 20 años, las incertidumbres que despierta la capacidad de producción adicional de compensar el declive de la producción de los campos petrolíferos existentes podrán traducirse en un acentuado aumento de los precios del petróleo antes de 2015 (IEA, 2007a).

FIGURA 13
Precio FOB de entrega inmediata del Brent en Europa, 1987-2008



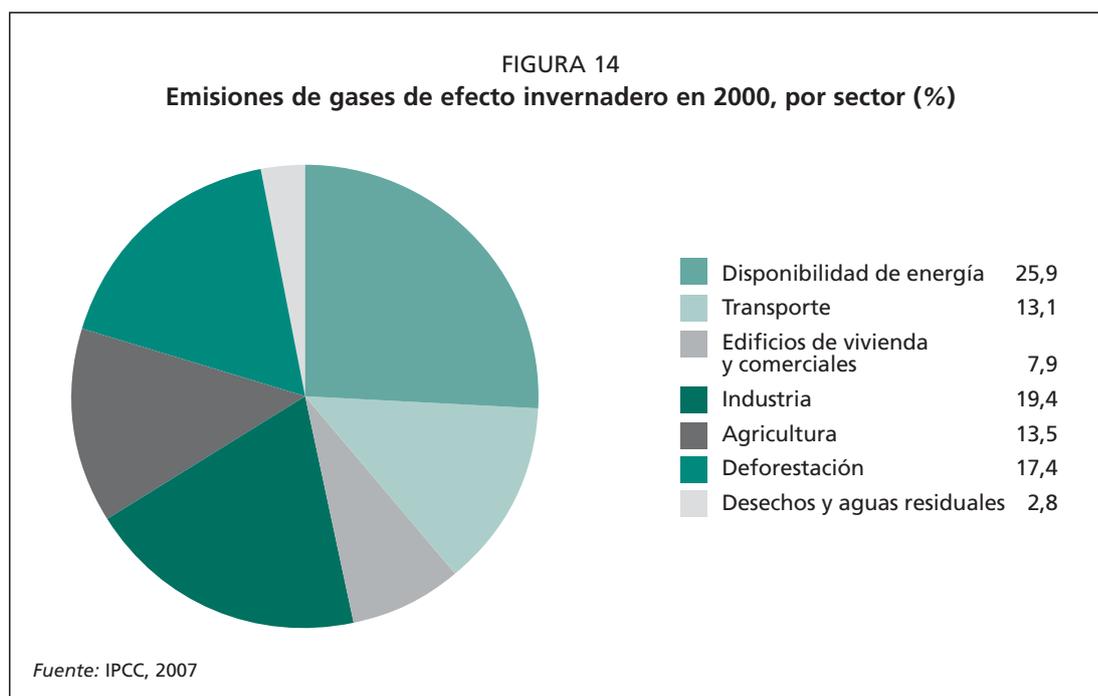
Fuente: EIA, 2008

Es probable que el precio del petróleo y de otros combustibles fósiles condicione considerablemente la adopción de las energías renovables. La baja de los precios no estimulará a los encargados del diseño de políticas a promover las energías renovables, aunque en los países en desarrollo, en particular, el aumento de los precios del petróleo y el consiguiente freno del crecimiento económico puedan también impedir las inversiones en energías renovables.

Con respecto a las energías renovables, los países en desarrollo son particularmente sensibles a las fluctuaciones de la oferta y demanda mundiales de energía. La Agencia Internacional de Energía estima que una subida de 10 dólares del precio del petróleo puede acarrear una reducción promedio del 0,8 por ciento del producto interno bruto (PIB) en Asia, y de hasta un 1,6 por ciento en los países más pobres y muy endeudados de la región. En el África subsahariana, la merma del crecimiento del PIB puede incluso ser más pronunciada, llegando en algunos países al 3 por ciento (IEA, 2004). Los efectos del precio del petróleo en el desarrollo de las energías renovables y en la distribución mundial de su consumo serán complejos, y los problemas del comercio y la transferencia de tecnología cobrarán gran importancia.

Emisiones de gases de efecto invernadero

La cuestión predominante en la producción de energía son las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero (Figura 14). Otras fuentes, como el cambio del uso de la tierra y las actividades forestales y agrícolas, suponen cerca de un tercio de las emisiones producidas. Sin embargo, entre los factores antrópicos de las emisiones, el uso de los combustibles fósiles es el que ejerce la mayor influencia en el clima, estimándose que representa el 56,6 por ciento de las emisiones de gases de efecto invernadero (IPPC, 2007).



El transporte, que si bien supone tan sólo la octava parte de las emisiones producidas, ha llegado a ocupar un lugar central en el debate sobre la bioenergía, debido a la gran densidad de carbono que liberan los medios de transporte, la resonancia que en la opinión pública tienen los precios del petróleo y la dependencia respecto de las naciones productoras.

A pesar de la importancia que ha revestido el petróleo y el transporte en los últimos años, no es posible pasar por alto la trascendencia del carbón en el uso futuro de la energía y el papel que juega el carbón en el cambio climático, especialmente si se llega a difundir el uso de la gasificación del carbono para la producción de los combustibles de transporte (Perley, 2008). El carbón, que es con mucho el combustible fósil más contaminante, ha cobrado también una importancia creciente especialmente en Asia, y en ese continente se predicen los mayores aumentos en la demanda de energía. De todos los combustibles fósiles, el carbón es el que más ha contribuido a los gases causantes del cambio climático, habiendo superado en este aspecto al petróleo en 2003. El carbón proporciona una proporción análoga al petróleo de la energía mundial total en forma de gas, pero emite el doble de dióxido de carbono (IEA, 2006).

A pesar de la legislación en materia medioambiental, y dado que el suministro de carbón no se topa con las limitaciones que afectan al petróleo, parece inevitable que la proporción de la energía procedente del carbón deba registrar un aumento. Las reservas carboníferas se encuentran más dispersas que las de petróleo y de gas. Existen grandes reservas de carbón adecuadas para la generación de energía en Australia, China, Colombia, la India, Indonesia, la Federación de Rusia, Sudáfrica y los Estados Unidos de América. Las proyecciones del uso del carbón apuntan a aumentos considerables en Asia y el Pacífico. China y la India juntas protagonizarán alrededor de tres cuartos del aumento de la demanda de carbón en los países en desarrollo, y dos tercios del aumento de la demanda mundial de carbón (IEA, 2003).

También es preciso tomar en cuenta la gran proporción –17,4 por ciento anual– de emisiones de gases de efecto invernadero causada por la deforestación. Si se pretende conseguir los objetivos relativos al cambio climático, las iniciativas destinadas a asegurar que la producción de bioenergía no se traduzca en pérdidas de carbono terrestre debidas a la tala de los bosques serán de una importancia crítica. Las investigaciones recientes han indicado que el carbono que se ha perdido a causa de la corta rasa de los pastizales o la tala de los bosques para la producción de biocombustibles recién podría volver a capturarse siglos más tarde (Searchinger *et al.*, 2008; Fargione *et al.*, 2008).

Dependencia energética

La dependencia de las importaciones de energía es otro de los factores clave determinantes de la medida en que será posible promover las energías renovables y la bioenergía. En el Cuadro 5 se presenta el grado de dependencia de las importaciones de combustible de diferentes regiones del mundo, y la proporción de las exportaciones en el comercio total de mercancías. El nivel de las importaciones

CUADRO 5

Proporción de los combustibles en el total de las mercancías por región

Región	Porcentaje de las exportaciones	Porcentaje de las importaciones
América del Norte	7,1	11,7
América Central y del Sur	20,2	15,6
Europa	5	8,5
Comunidad de Estados Independientes	43,9	9,8
África	51,9	10,2
Cercano Oriente	73	4,3
Asia	5,1	14,7
Mundo	11,1	11,1

Fuente: OMC, 2004

de todas las regiones, a excepción del Cercano Oriente, es alto, y muchas regiones exportan más de lo que importan, lo que indica que una cierta sustitución de los combustibles puede llegar a tener lugar. En Asia, las importaciones superan en mucho a las exportaciones. En Europa y América del Norte, la diferencia entre las importaciones y las exportaciones es menor, y se explica en parte por la tendencia reciente a promover los biocombustibles.

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.

4. La contribución de la dendroenergía a la demanda energética futura

El desarrollo futuro de la bioenergía y la dendroenergía dependerá en gran medida de la efectividad de las políticas y de la coherencia con que se apliquen. Existen aún abundantes reservas de carbón en las regiones del mundo donde se predicen las mayores tasas de crecimiento económico y demográfico. Si los altos precios de los combustibles fósiles dejaran de constituir un incentivo para el desarrollo de los biocombustibles, la demanda solo aumentaría en aquellas regiones en donde las políticas se aplicasen de manera efectiva. El apoyo a las políticas será por consiguiente en muchos casos necesario para alentar las inversiones en el desarrollo de la bioenergía, por lo menos hasta que se observe que los precios de ésta han alcanzado la paridad con los de los combustibles fósiles. En cuanto tales, los mercados de exportación revestirán mayor importancia allí donde las políticas nacionales no consigan promover un menor uso de los combustibles fósiles.

Los sistemas de producción y uso de la dendroenergía son muy variados en las distintas regiones del mundo, y es probable que, ante los recientes cambios en la política energética, pueda haber toda una gama de respuestas en los países. En los países desarrollados y en desarrollo, diferentes factores afectarán a la oferta y demanda de biomasa tradicional, biocombustibles celulósicos líquidos, residuos forestales industriales y otras formas de dendroenergía.

En la producción de dendroenergía, jugarán un papel esencial diversos factores vinculados con el cambio climático, la eficiencia energética y la localización de los suministros; intervendrán además una serie de cuestiones ecológicas, económicas y sociales. En algunas zonas y tipos de tierras, los árboles podrán ser más productivos que los cultivos agrícolas, y sus efectos medioambientales negativos serán menores. La escasez de mano de obra podrá también favorecer los bosques respecto a los cultivos agrícolas. Entre otros factores susceptibles de reducir las demandas sobre los bosques para la producción de energía cabe mencionar los problemas tecnológicos relacionados con la producción de los biocombustibles celulósicos líquidos y las dificultades de transporte. En términos generales, la contribución de los bosques a la producción futura de energía estará condicionada por:

- la competitividad de la energía basada en la madera respecto a la consecución de los objetivos de las políticas recientes en materia de energía;
- los costos y beneficios de los sistemas basados en la dendroenergía desde el punto de vista social, económico y ambiental;
- las políticas e instituciones responsables de crear un marco dentro del cual se inscriben las actividades forestales.

En toda estrategia relativa a la bioenergía influirá también el contexto social, que comprende la localización en relación con la oferta y demanda; la infraestructura, el clima y el suelo; la disponibilidad de tierras y mano de obra; y las estructuras sociales y de gobernanza. Estos factores dificultan las comparaciones generales entre la bioenergía que proviene de la agricultura y la que proviene de los bosques (Perley, 2008).

El desarrollo de una tecnología económicamente competitiva para la producción de biocombustibles lignocelulósicos líquidos acarreará un cambio importante en el sector de la dendroenergía, ya que los productos forestales llegarían a ser competidores directos con las actividades agrícolas por una proporción del mercado de los biocombustibles. Los productos forestales también se convertirán en una de las fuentes de los combustibles de transporte, y en las regiones en las que las medidas de política ejerzan una influencia significativa en el consumo de energía (por ejemplo, la Unión Europea y los Estados Unidos de América), se abrirán grandes mercados para la comercialización de la energía derivada de los bosques proveniente de los países en desarrollo a través del mundo.

En muchas partes del mundo, la expansión en gran escala de las plantaciones destinadas a la obtención de bioenergía puede verse impedida por barreras que entorpecen las inversiones; por ejemplo, las diferentes reivindicaciones relacionadas con la tierra, una tenencia insegura de la tierra, el riesgo de expropiación y una gobernanza ineficaz. Los conflictos sociales, que suelen manifestarse cuando una vegetación natural se reemplaza con cultivos manejados de acuerdo con criterios de gestión comerciales, también pueden estallar a consecuencia de los cambios en la propiedad y los derechos de uso de la tierra.

En las regiones en que los cultivos agrícolas se prefieren a los árboles, la contribución de los bosques puede limitarse a ganancias de eficiencia en el ámbito de los usos existentes y a un mayor uso de los residuos leñosos producidos durante las operaciones forestales. Es probable que en tales circunstancias los mercados de energía ejerzan un menor control sobre la disponibilidad de la madera para la producción de bioenergía que la producción de trozas, el volumen de los recursos forestales y la competencia ejercida por la demanda de residuos leñosos.

A pesar de los altos precios del petróleo, es preciso que los países en desarrollo evalúen atentamente los riesgos que entrañan las inversiones en bioenergía. Muchas de las inversiones realizadas en biocombustibles en el decenio de 1980 se vinieron abajo cuando los precios volvieron a sus niveles originales (IBDF, 1979; Tomaselli, 1982). Sin embargo, la situación está cambiando nuevamente, y en la actualidad elementos inéditos, como el calentamiento mundial, han cobrado relevancia.

A menudo, las inversiones en bioenergía dependen de las subvenciones y los avances de la tecnología. Como los recursos financieros de los países en desarrollo son limitados y las prioridades que dichos países tienen que atender son muchas, será indispensable llevar a cabo una evaluación exhaustiva de los riesgos y seleccionar los procedimientos para maximizar los beneficios que se obtengan con las inversiones en biotecnologías. El mecanismo para un desarrollo limpio (MDL) del Protocolo de Kyoto ofrece incentivos para el establecimiento de plantaciones energéticas y finan-

ciamiento para el uso sostenible de los biocombustibles. El Protocolo también facilita la transferencia de tecnología a los países en desarrollo.

FUENTES DE COMBUSTIBLES LEÑOSOS

En relación con la energía fósil, la dendroenergía que se produce gracias a una tecnología eficiente ya es competitiva en muchos países. La dendroenergía proporciona los más altos niveles energéticos y tiene la mayor eficiencia de carbono del conjunto de las materias primas bioenergéticas, en particular cuando se usa para generar calor y electricidad. Además de ser interesante desde un punto de vista económico, la dendroenergía representa una opción estratégica para una mayor seguridad energética, en especial para los países que tienen grandes superficies forestales y que dependen de las importaciones de energía.

La dendroenergía puede producirse a partir de diversos sistemas de producción en uso. Los residuos madereros, dada su disponibilidad y valor relativamente bajo y la cercanía de los lugares de producción de los en que se realizan las operaciones forestales, ofrecen las mejores oportunidades inmediatas para la generación de energía. Las plantaciones establecidas con el propósito exclusivo de producir energía se están difundiendo en algunos países, y es probable que, según la demanda del mercado, de las plantaciones de usos finales múltiples se extraigan trozas para la obtención de energía así como para otros propósitos. Otras fuentes potenciales de dendroenergía son las áreas forestales sobreexplotadas y algunas especies para las que en la actualidad no hay mercados.

Residuos leñosos

Muchos países no tienen un concepto claro del volumen de biomasa que se puede recoger en las operaciones forestales, y nunca han llevado a cabo una evaluación cabal del potencial energético de los residuos madereros. En el Cuadro 6 se compara la disponibilidad de residuos madereros en los bosques amazónicos naturales con las plantaciones de pino de crecimiento rápido destinadas a dos operaciones industriales típicas en el Brasil. La información muestra que solo una pequeña proporción de los árboles se transforma en productos comercializables. Entre el 80 y el 90 por ciento del volumen total de residuos de los bosques naturales podría ser utilizado para la generación de energía. La mayor parte de este material son copas y otras piezas desechadas que se abandonan en el bosque tras la cosecha.

CUADRO 6

Residuos madereros procedentes de las operaciones forestales industriales en el Brasil (porcentaje del total de la madera cosechada)

Operación	Bosque natural		Plantaciones	
	Producto	Residuo	Producto	Residuo
Cosecha	30-40	60-70	80-90	10-20
Elaboración primaria y secundaria	10-20	10-20	30-40	40-50
Total		80-90		60-70

Fuentes: OIMT, 2005; Banco de datos del STCP (adaptado)

En los países en desarrollo, los residuos madereros sobrantes que quedan en los aserraderos y por lo general no son utilizados pueden crear problemas ambientales, perjudiciales para la calidad del agua y el aire. Si con estos residuos se produjera energía, se resolverían tanto los problemas energéticos como los de eliminación de residuos. Para la combustión de los residuos, se emplean máquinas de vapor sencillas que producen electricidad en pequeña escala y turbinas de vapor que alimentan las instalaciones de generación de energía eléctrica más grandes (OIMT, 2005).

Los análisis teóricos del suministro de energía a partir de residuos madereros en los países en desarrollo han mostrado que en esos países el potencial de generación de energía es considerable (Tomaselli, 2007). Por ejemplo, en el Camerún se ha estimado que los residuos madereros generados tan sólo en los aserraderos serían suficientes para satisfacer la totalidad de la demanda nacional de electricidad. Si se utilizaran todos los residuos producidos durante las operaciones forestales, el país podría generar una cantidad de energía eléctrica equivalente a cinco veces su demanda actual.

Con los residuos madereros producidos por los aserraderos también se podría producir una porción significativa de la electricidad que es consumida en el Gabón, Nigeria, Malasia y el Brasil. En comparación, la contribución potencial de los residuos madereros al consumo de electricidad total en la India, Tailandia, Colombia y el Perú es relativamente pequeña.

Los residuos madereros producidos por los aserraderos representan solo una pequeña proporción del total de los residuos disponibles. El volumen de residuos madereros que quedan tras las operaciones de cosecha en los bosques tropicales equivale a tres a seis veces el que se produce en los aserraderos. Mediante tecnologías eficientes de aprovechamiento y transporte, este material se podría recolectar y enviar a las centrales eléctricas, y ello permitiría reducir los costos, mitigar el impacto ambiental y generar electricidad. Se estima que, como este proceso ya se lleva a cabo en medida importante en la mayor parte de los países industrializados avanzados, hay pocas posibilidades de aumentar el uso de energía proveniente de residuos en los mencionados países (Steierer *et al.*, 2007).

El uso de residuos forestales y agrícolas podría reducir significativamente los requerimientos de tierras para la producción de biocombustibles en muchos países y por lo tanto limitar los impactos sociales y ambientales de las plantaciones de cultivos energéticos. En la práctica, no obstante, la madera de que, según se informa, pueda disponer la industria productora de energía a menudo no consigue ser cosechada de forma económica. Además, la superficie forestal se ha reducido a través del mundo de resultados de las actividades forestales, la expansión agrícola y otros factores. Por consiguiente, a pesar de las altas tasas de establecimiento de plantaciones, se espera una disminución de los residuos madereros en los próximos años.

Como los residuos de madera son indispensables para mantener la salud del suelo y del ecosistema, conviene dejar ciertas cantidades de residuos sobre el terreno. Los residuos que produce la explotación forestal son una fuente importante de nutrientes para los bosques y contribuyen a reducir el riesgo de erosión (ONU-Energía, 2007). Entre las repercusiones potenciales del aumento de la recuperación de biomasa cabe mencionar la escasez de nutrientes, la pérdida de biodiversidad y los cambios en las funciones del ecosistema.

Plantaciones energéticas

Los cultivos energéticos no constituyen una novedad. Las plantaciones forestales dedicadas a la producción de madera para obtención de energía ya existen desde hace algún tiempo en muchos países (NAS, 1980), pero en su mayor parte son pequeñas, hacen uso de una tecnología deficiente y su propósito es generalmente el suministro de leña para consumo local.

Entre las diversas especies arbóreas de crecimiento rápido idóneas para las plantaciones energéticas en zonas templadas cabe citar *Acacia mangium*, *Gmelina arborea* y varias especies de *Eucalyptus*, *Salix* y *Populus* (Perley, 2008). Las tasas de crecimiento de estos árboles son muy variables y dependen de la ordenación, la especie y la ubicación. En los países tropicales, las tasas de crecimiento dependen mucho de la disponibilidad de agua (Lugo, Brown, y Chapman, 1988). Otro factor determinante es la fertilidad del suelo. Los cultivos forestales de rotación corta requieren un mejor estado de nutrición respecto a un nutriente determinado que otros bosques que ocupan tierras menos necesarias para la agricultura.

El Brasil es uno de los pocos países en que se ha investigado durante décadas la producción en gran escala de energía derivada de la madera. En ese país se han realizado inversiones cuantiosas en plantaciones forestales, mayormente de *Eucalyptus* spp. de crecimiento rápido, dedicadas a la producción de madera para obtención de carbón industrial destinado a la industria del acero. También se han establecido plantaciones forestales que producen biomasa de combustión y para generación de calor y electricidad, que se utilizan en la industria alimentaria, de las bebidas y otras.

Unas políticas coherentes y claramente formuladas, un cuerpo reglamentario y unas orientaciones sobre mejores prácticas pueden ayudar a equilibrar las opciones culturales, económicas y ambientales que dimanen de las crecientes inversiones en el sector de las plantaciones forestales (FAO, 2007a). Para producir biomasa a costos que permitan generar energía a precios competitivos, es fundamental que la productividad de las plantaciones sea elevada, que las cosechas sean eficientes y que la logística sea de calidad.

Como fuentes de bioenergía, los árboles presentan ventajas respecto de muchos cultivos agrícolas que por lo general deben ser cosechados todos los años; y con la cosecha de tales cultivos se acentúan los riesgos de sobresuministro y volatilidad de los mercados (Perley, 2008). La cosecha de árboles y otros cultivos perennes se puede adelantar o atrasar conforme a las fluctuaciones de los precios. Los productos tienen diversos usos finales tales como la producción de energía, la fabricación de pulpa o paneles e incluso trozas para aserrío.

Los países que contemplan establecer plantaciones energéticas deberían primeramente crear las condiciones que favorecen una producción eficiente de bioenergía derivada de plantaciones, por ejemplo el desarrollo de material genético apropiado para las condiciones locales imperantes y el uso una tecnología moderna para la silvicultura, la ordenación de plantaciones, la cosecha, el transporte y la conversión de energía.

Para que las plantaciones de dendroenergía se conviertan en un negocio atractivo, algunos países en desarrollo necesitarían invertir durante algunos años en investigacio-

nes tecnológicas y desarrollo. Si bien es posible mitigar los riesgos al utilizar especies idóneas y material genético de elevada calidad, los países y los inversionistas deben ser conscientes de que sus inversiones son a largo plazo e inciertas, y que uno de sus principales riesgos, que está más allá del control de los países e inversionistas, son las fluctuaciones de los precios de la energía y la madera en el tiempo.

Las variaciones en los precios de la energía pueden determinar que las plantaciones dendroenergéticas no sean operaciones viables y que, por consiguiente, carezcan de valor de mercado. Este riesgo es menor para los países en los que la industria forestal está desarrollada y que pueden adaptar la biomasa a otros usos. Por ejemplo, las industrias de la pasta y de tableros de madera reconstituida utilizan las mismas materias primas, y gracias a ello se consigue reducir los riesgos de las inversiones en cultivos energéticos. Conviene que los inversionistas sepan si la plantación de bosques y la ordenación destinada a la obtención de biomasa son compatibles con las industrias forestales que ya operan en los países en desarrollo, y en especial en los países menos desarrollados.

Especies menos utilizadas y bosques secundarios

Las especies madereras no utilizadas en la industria de la madera ofrecen otras oportunidades. Un estudio reciente analizó las posibilidades de combinar la cosecha de las especies tradicionales que se utilizan en la industria de la madera con especies menos conocidas o menos utilizadas para la producción de energía (OIMT, 2005). Este enfoque de la energía podría conducir a mayores ingresos y a una ordenación sostenible de los bosques.

La ordenación de los bosques secundarios brinda otra oportunidad de producir biomasa para la generación de energía. En las regiones tropicales existen extensas superficies de bosques secundarios. Estos bosques, que contienen grandes volúmenes de biomasa que no puede ser utilizada por las industrias tradicionales de elaboración de la madera, encierran una fuente potencial de generación de energía. Gracias a la aplicación de las orientaciones para la ordenación de bosques secundarios de la Organización Internacional de las Maderas Tropicales (OIMT), se podría promover, mediante un desarrollo sostenible, la producción de dendroenergía en estos bosques (OIMT, 2002).

Suministro futuro de madera

Como en comparación con otros usos finales, el valor de la madera que se utiliza como combustible se ha mantenido bajo, es probable que las operaciones forestales que se realizan en la actualidad sean la fuente de la que provengan los futuros suministros de madera para la producción de bioenergía. Esta situación podría cambiar si se llegara a disponer de una tecnología que permitiese producir energía de manera económica y competitiva a partir de materiales lignocelulósicos, tal como se ha indicado en la Sección 3.

Mabee y Saddler (2007) examinaron varios estudios de perspectiva mundiales sobre la disponibilidad de fibra forestal con el objeto de determinar los suministros renovables mundiales de biomasa forestal para la producción de dendroenergía. Los autores llegaron a la conclusión de que el aumento de la demanda de dendroenergía

en los países industrializados tendrá repercusiones significativas en las cantidades de biomasa excedentes disponibles, y que esta demanda absorberá entre el 10 y el 25 por ciento del excedente mundial estimado. Sin embargo, la disponibilidad mundial de fibra no será suficiente para satisfacer la demanda en algunas regiones, y la mayor demanda de ciertas industrias madereras puede también representar un factor de competencia.

Las tecnologías y sistemas usados para producir dendroenergía revisten gran importancia para el análisis de la disponibilidad futura de biomasa forestal para la producción de bioenergía. Las mejoras en la eficiencia del uso de los combustibles leñosos podrían traducirse en un suministro de cantidades significativas de dendroenergía en todo el mundo. Si se adoptasen mejores prácticas para la recuperación de energía (por ejemplo, el uso de cogeneradores dotados de dispositivo de recuperación de humos de combustión, o de estufas de pellets de madera de alta eficiencia), la energía leñosa disponible podría aumentar considerablemente y el recurso podría durar mucho más.

El aumento del uso de la bioenergía forestal puede repercutir en las industrias de elaboración tradicionales. En algunos países industrializados, las cortas para aplicaciones bioenergéticas ya representan al menos la mitad de producción industrial de rollizas (Steierer *et al.*, 2007; FAO, 2007b). En otros países, la cantidad de madera que se usa con fines bioenergéticos es aún pequeña en comparación con el aprovechamiento industrial de las rollizas. Cuando se añaden la recuperación de los residuos y los desechos postconsumo, el uso de la madera para la producción de energía supera, en varios países industrializados, la producción industrial de rollizas. En el Recuadro 4 se describen en detalle las posibles repercusiones de la demanda de madera para generación de bioenergía en los precios de los productos forestales.

RECUADRO 4

Precios de los productos forestales

En los países europeos, los precios de la madera han tendido a disminuir en términos reales, tanto en el caso de las rollizas como en el de la madera para pasta (CEPE, 2007; Hillring, 1997). La tendencia mundial a largo plazo es más difícil de determinar, debido a la conversión monetaria, el impacto de las tasas nacionales de inflación, el sistema tributario nacional y los datos disponibles. Según las estimaciones mundiales sobre el mercado futuro de productos forestales, los precios reales de las rollizas industriales, madera aserrada y tableros a base de madera cambiarán poco antes de 2010, y los del papel de periódico, papel imprenta y papel escritura disminuirán ligeramente (FAO, 1997; Trømborg, Buongiorno y Solberg, 2000). No obstante, en los últimos años, los precios reales de los productos forestales han registrado aumentos en todo el mundo.

Según estudios recientes, los precios de las trozas de aserradero de coníferas aumentaron en 2005/2006 en la mayor parte de las regiones de América del Norte y Europa (CEPE/FAO, 2006; 2007). Se ha señalado que las principales causas de esos

aumentos han sido los más altos costos de transporte y los incentivos dados a la producción de bioenergía. En esas regiones también han subido los precios de la madera para pasta, a causa seguramente también de los mayores costos del transporte, pero igualmente de resultados de un mercado de la pasta más evolucionado. Se prevé que los precios de la madera aserrada y de la madera para pasta aumentarán durante los años venideros (CEPE/FAO, 2006).

A la luz de las actuales tendencias observadas en los precios de la madera, conviene hacer las siguientes observaciones:

- Incluso a pesar del aumento del valor de la madera, los ingresos de la industria forestal son menores hoy en día que en años anteriores, y es probable que este factor represente una barrera para las reinversiones o para nuevas empresas que quisieran integrarse al sector.
- El precio actual de la madera, que en comparación con los precios históricos es bajo, puede incentivar el uso de la madera para aplicaciones de valor relativamente reducido, como la generación de bioenergía.
- A medida que se llevan a cabo investigaciones sobre las oportunidades ofrecidas por la bioenergía, el aumento de la competencia por la fibra maderera debería dar sostén a la reciente tendencia al alza de los precios de la madera. Conforme aumentan los precios de la madera, las oportunidades de desarrollo de la bioenergía podrían menguar a mediano o a largo plazo.
- Las políticas oficiales pueden tener efectos significativos en los precios de la madera. Las subvenciones para las inversiones en energías renovables, los incentivos tributarios y los aranceles son todas medidas que están repercutiendo en los precios de la madera, especialmente en los países industrializados.

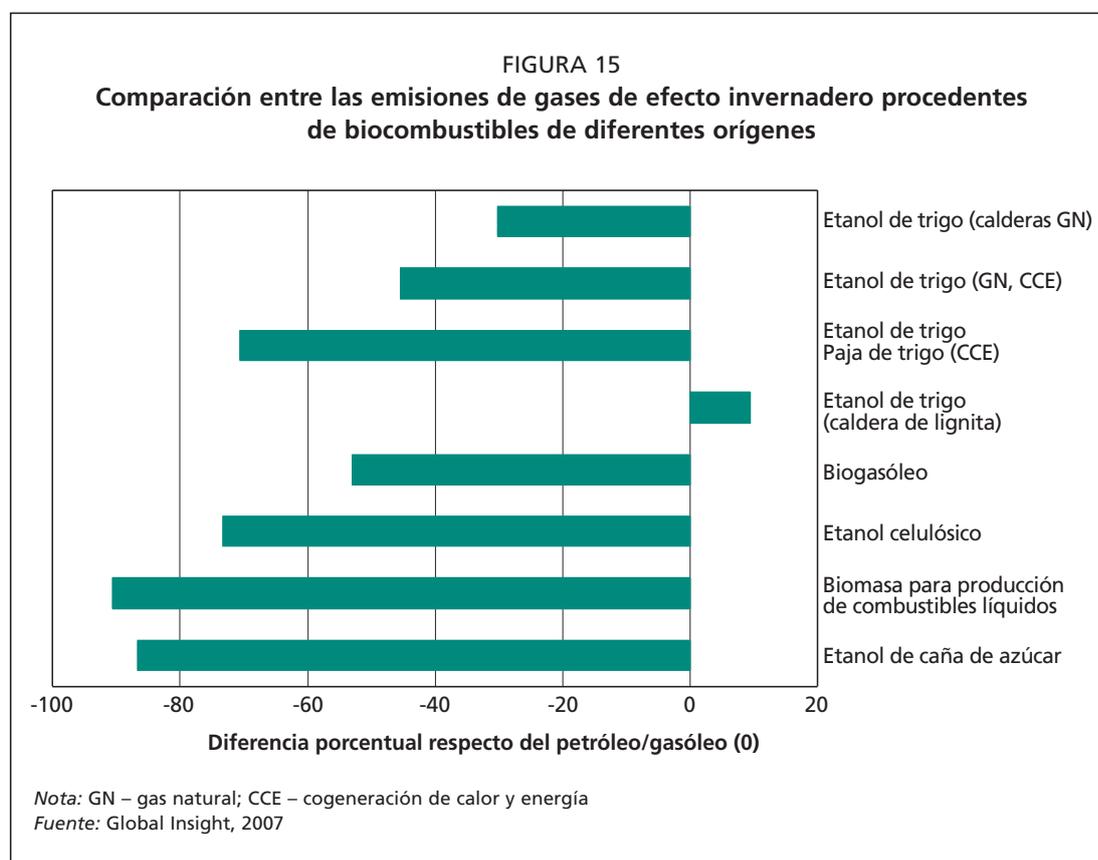
En la actualidad, la fuerte demanda de materias primas para la producción de biocombustibles derivados de la madera se traducirá previsiblemente en unos precios más altos de los productos forestales. Los aserraderos y las fábricas de tableros compiten directamente con las aplicaciones de las bioenergías por la obtención de suministros madereros, y es probable que, a corto plazo, los consumidores deban de hacer frente a precios más altos para algunos productos (CEPE/FAO, 2007).

EMISIONES Y ASPECTOS ECONÓMICOS DE LOS BIOCMBUSTIBLES

La mayor parte de los estudios predice que, en comparación con los combustibles petrolíferos, los biocombustibles líquidos de segunda generación provenientes de cultivos perennes y residuos leñosos y agrícolas podrían reducir enormemente el ciclo de vida de las emisiones de gases de efecto invernadero. Si se redujera al mínimo el insumo de fertilizantes y la energía se elaborase mediante el uso de la biomasa u otras fuentes renovables, algunos procedimientos tendrían un potencial de reducción neta de las emisiones superior al 100 por ciento, lo cual significa que, durante el proceso de producción, se absorbería más carbono del que sería emitido en forma de dióxido de carbono durante el ciclo de vida de este último (véase Instituto de la Vigilancia Mundial, 2007).

Los estudios indican que, mediante el bioetanol de maíz, la eficiencia de uso de los combustibles fósiles aumentaría solo ligeramente respecto al uso directo del petróleo; en cambio, con el bioetanol producido a partir de la madera, la eficiencia energética podría llegar a aumentar hasta nueve veces (NRDC, 2006). En las estimaciones, las emisiones de gases de efecto invernadero de los combustibles de segunda generación ocupan un lugar un 75 a 85 por ciento por debajo del de las emisiones de los combustibles usados en los motores de petróleo, a causa de la menor intensidad de las operaciones agrícolas y porque se asume que la parte no fermentable de la planta se usa como combustible para las operaciones de elaboración (Global Insight, 2007). Por consiguiente, si gracias al avance tecnológico resultara más eficiente y al menos tan económico producir biocombustibles líquidos a partir de material celulósico, y no de cultivos alimentarios, la competencia con la producción de alimentos sería menor, la eficiencia energética aumentaría y el balance energético total sería superior. Esas ventajas podrían traducirse en incentivos para ampliar las plantaciones forestales.

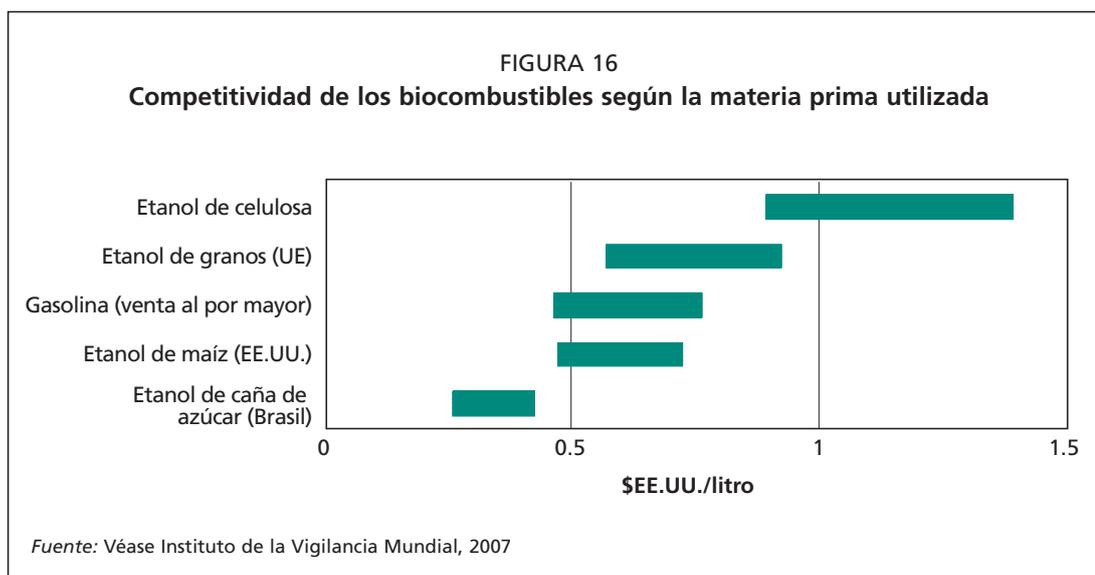
En relación con la gasolina o el gasóleo, las emisiones de gases de efecto invernadero procedentes de la biomasa son menores de las que provienen de otros procesos de elaboración de materias líquidas (por ejemplo, la gasificación o la pirólisis, en las que se usa la totalidad de la planta). La caña de azúcar se sitúa en un lugar análogo, y el etanol celulósico permite reducir las emisiones en más de un 75 por ciento. El etanol de trigo conduce a escasas reducciones de emisiones, a menos que también se utilice la paja en los procesos de cogeneración de energía (Figura 15).



La materia prima agrícola más promisoría desde el punto de vista económico para la producción de los biocombustibles líquidos es la caña de azúcar, mientras que la competitividad del maíz y de otros cereales y cultivos oleaginosos producidos en el hemisferio norte es menor en condiciones de mercado (Figura 16). Aunque los costos actuales de producción del etanol celulósico son más altos que los del etanol producido a partir de materias primas cerealícolas, pareciera que en el futuro los costos de producción del etanol celulósico serían los que mayormente se podrían reducir. Para 2030, los precios del etanol celulósico y los del etanol de caña de azúcar podrían equivalerse (IEA, 2006).

Si los biocombustibles celulósicos líquidos se produjeran de forma económica, el uso de la biomasa se generalizaría en el sector de los transportes. Las perspectivas de comercialización son el principal factor que afecta, en la mayoría de los países en desarrollo, a los planes de expansión relativos a los combustibles líquidos, ya que el crecimiento esperado de la demanda habría de provenir principalmente de los países desarrollados.

Los mercados se verán poco dispuestos a brindar apoyo a las materias primas y procesos productivos que no produzcan incrementos netos de energía, pero no se descarta la posibilidad de que la perduración de dichas materias primas y procesos pudiere deberse a otros objetivos (Wolf, 2007). Es poco probable que los cultivos destinados exclusivamente a la producción de biocombustibles celulósicos se planten en grandes cantidades, ya que el avance de la tecnología y los precios del bioetanol no favorecerán, por cierto, la producción de estos cultivos respecto a los cultivos alternativos; y no se espera, tampoco, que las instalaciones autónomas de producción de bioetanol de segunda generación y de biogasóleo lleguen a ser rentables en las próximas décadas (Global Insight, 2007). La competitividad de las diferentes materias primas está relacionada con la eficiencia energética neta que se consiga con la producción y elaboración de los diferentes cultivos (Recuadro 5).



RECUADRO 5

Eficiencia energética y producción de bioenergía

Dos razones explican la importancia del consumo de energía en la producción de bioenergía. En primer lugar, para que un cultivo energético sea sostenible, es preciso que la cantidad de energía captada durante su cultivo y utilización exceda la que se consume en su producción. En segundo lugar, cuando son las metas relativas al cambio climático las que se pretende alcanzar mediante el aprovechamiento de la bioenergía, es menester tomar en cuenta el tipo de combustible usado para la producción los insumos energéticos y sus emisiones de gases de efecto invernadero.

El uso de energía depende de diversos factores. Las actividades agrícolas consumen energía en muchas de sus diferentes etapas, por ejemplo, para mover las máquinas, para el riego, para la gestión del agua y para el transporte de los productos. También se consumen grandes cantidades de energía –especialmente en los modernos sistemas agrícolas que requieren insumos elevados– en las actividades agrícolas afines, como la fabricación y elaboración de fertilizantes y plaguicidas y la distribución de los productos agrícolas.

En la agricultura de los países industrializados, se hace por lo general un uso mucho más intensivo de la energía que en los países en desarrollo, pero cuando estos últimos adoptan prácticas de cultivo más perfeccionadas, los insumos de energía tienden a aumentar. En muchos casos, los insumos de energía se originan en combustibles fósiles. Es por este motivo que, en comparación con estos últimos, las emisiones de carbono se reducen tan sólo marginalmente con la producción y el uso de los recursos bioenergéticos.

La mayor ventaja que presentan los bosques y árboles considerados como fuentes de biomasa es que requieren menos insumos energéticos y son capaces de crecer en tierras menos fértiles que las que se requieren para los cultivos agrícolas. Sin embargo, el partido que pueda sacarse de tales ventajas estará limitado por factores como la aparición oportuna de tecnologías de segunda generación, el suministro de madera futuro y la infraestructura necesaria para una explotación económicamente viable (Perley, 2008).

5. Consecuencias de un mayor uso de la bioenergía

Se considera cada vez más que el uso de la bioenergía ofrece una mayor gama de ventajas que las demás fuentes de energía: mayores ingresos rurales y menores niveles de pobreza en los países en desarrollo; restauración de las tierras improductivas y degradadas, y fomento del desarrollo económico. Al contribuir a la seguridad energética, la bioenergía tiene, especialmente para los países importadores de petróleo, también consecuencias estratégicas. Por último, la bioenergía tiene el potencial de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, que preocupan al mundo entero.

Hay sin embargo dificultades que es necesario superar antes de que el potencial que encierra la bioenergía se pueda materializar plenamente. Se han puesto de relieve diversos problemas relacionados con la producción de los biocombustibles, vinculados en especial a las operaciones desarrolladas en gran escala. Si se pretende minimizar los riesgos que conlleva la estrategia del desarrollo de la bioenergía, es importante analizar a fondo los diferentes aspectos de la producción de la bioenergía y dendroenergía:

- el desarrollo rural, la equidad y la reducción de la pobreza;
- la ordenación de tierras y bosques y la biodiversidad;
- los precios de los productos alimenticios y forestales;
- las emisiones de gases de efecto invernadero y la calidad del aire;
- la disponibilidad de agua;
- los precios de la energía y la dependencia energética.

El desarrollo de la energía supone tanto beneficios como efectos negativos (Recuadro 6). Dada la gama de las interacciones, conviene evaluar los beneficios y costos potenciales de las inversiones en bioenergía, caso por caso y país por país.

El aumento de la producción de energía derivada de la biomasa depende de muchos factores, en los cuales el tipo de cultivo y la productividad son los más importantes. En un estudio realizado en 2004, basado en datos de la Agencia Internacional de Energía, se compararon diferentes agrocombustibles desde el punto de vista de los requisitos de superficie agrícola para una cantidad dada de energía producida. Los resultados mostraron que la soja necesita casi 12 veces la superficie agrícola que requiere la caña de azúcar. Otras fuentes potenciales de combustibles líquidos se sitúan en diversos puntos entre estos dos valores extremos. El maíz, por ejemplo, precisa de dos veces la superficie de la caña de azúcar, mientras que la palma aceitera necesita una superficie alrededor de un 30 por ciento mayor.

RECUADRO 6

Beneficios y efectos negativos potenciales del desarrollo de la bioenergía**Beneficios potenciales**

- Diversificación de la producción agrícola.
- Estímulo del desarrollo económico rural y contribución a la reducción de la pobreza.
- Aumento de los precios de los alimentos y mayores ingresos para los agricultores.
- Desarrollo de las infraestructuras y del empleo en las zonas rurales.
- Reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero.
- Mayores inversiones en la rehabilitación de tierras.
- Nuevos ingresos generados por el uso de la madera y de residuos agrícolas y mediante los créditos de carbono.
- Reducción de la dependencia energética, y diversificación de los suministros de energía para uso doméstico, especialmente en las zonas rurales.
- Disponibilidad de energía limpia a precios accesibles para las empresas rurales medianas y pequeñas.

Impactos negativos potenciales

- Menor disponibilidad local de alimentos cuando las tierras agrícolas de subsistencia son reemplazadas con plantaciones energéticas.
- Aumento de los precios de los alimentos para los consumidores.
- Posible aumento de la deforestación, reducción de la biodiversidad y aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero a causa de la demanda de tierras para cultivos energéticos.
- Aumento del número de sustancias contaminantes.
- Modificaciones de los requisitos con que deben cumplir los vehículos y las infraestructuras utilizadas para las operaciones relacionadas con los combustibles.
- Aumento de los costos de los combustibles.
- Mayores cortas de madera, que conducen a la degradación de los ecosistemas forestales.
- Desplazamiento de los pequeños agricultores y concentración de la tenencia de la tierra y de los ingresos.
- Menor calidad y fertilidad de los suelos ocasionada por las prácticas de cultivo intensivo exigidas por los cultivos bioenergéticos.
- Entrega distorsionada de las subvenciones a otros sectores y creación de desigualdades a través de los países.

Fuentes: FAO, 2000; ONU-Energía, 2007; Perley, 2008

La respuesta a la pregunta siguiente es aún más sorprendente: ¿Qué superficie agrícola se necesitaría para reemplazar el 25 por ciento de la energía de transporte obtenida de los combustibles fósiles con energía proveniente de combustibles líquidos? La respuesta es: 430 millones de hectáreas en el caso de la caña de azúcar –es decir, el 17 por ciento de la superficie agrícola mundial–, y 5 000 millones de hectáreas en el caso de la soja –el 200 por ciento de la superficie agrícola mundial– (Fresco, 2006). No es realista suponer, por consiguiente, que los biocombustibles puedan sustituir totalmente a los combustibles fósiles. Es necesario concebir los biocombustibles como una fuente potencial de energía que ha de usarse en combinación con otras.

POBREZA, EMPLEO Y PRECIOS

En diversos estudios se ha puesto de manifiesto que la producción de biomasa destinada a la generación de bioenergía brindará a los países en desarrollo nuevas fuentes de ingreso, y que con ello la pobreza se reducirá y aumentará la seguridad alimentaria. Sin embargo, dependerá de muchas variables determinar si el desarrollo de la bioenergía pueda tener repercusiones netas positivas o negativas en los medios de vida. Podrán observarse beneficios netos si los pequeños agricultores tienen la oportunidad de producir biomasa autónomamente o recurriendo a sistemas de subcontratación. Existe no obstante un historial de conflictos. En Indonesia, el establecimiento de las grandes plantaciones de palma aceitera ha estado asociado con supuestas apropiaciones de terrenos y abusos de derechos humanos (Aglionby, 2008).

Las oportunidades de creación de empleo dimanantes del desarrollo del sector de la bioenergía dependerán de los cultivos y de los sistemas de producción. La cosecha de un cultivo como *Jatropha curcas* requiere gran densidad de mano de obra y puede generar empleos e ingreso para la población rural. En cambio, para cosechar cultivos bioenergéticos como la caña de azúcar no se requiere mucha mano de obra y las oportunidades de creación de empleo para la población rural pobre son escasas. Se sostiene en consecuencia que la importancia de los biocombustibles líquidos en la generación de empleo es dudosa (Biofuelwatch, 2007). Parece probable que la producción de bioenergía pueda generar mayores oportunidades de empleo que la importación de combustibles fósiles, especialmente si los volúmenes importados son elevados. Sin embargo, la escala y el tipo de sistema de producción revisten una importancia crucial en la creación de empleos.

Los acontecimientos que modifican el panorama de la bioenergía pueden facilitar la disponibilidad de energía para las poblaciones rurales que tienen un acceso limitado a otras fuentes de energía, y esto puede promover el desarrollo económico. Las condiciones de vida de los hogares pobres mejorarán si el desarrollo de la bioenergía se tradujera en un uso más eficiente y sostenible de la biomasa tradicional (ONU-Energía, 2007).

La introducción de grandes plantaciones energéticas para alimentar las instalaciones centralizadas de conversión puede dar lugar a conflictos sociales. A fin de reducir los costos de transporte y aumentar la viabilidad económica, estas instala-

ciones deberían estar ubicadas a proximidad de los lugares de producción de biocombustibles. Es posible que los acuerdos para la localización de las instalaciones tengan como consecuencia una mayor concentración de la propiedad de las tierras y el desplazamiento de los agricultores tradicionales. Sin embargo, mediante una planificación local efectiva, sería posible crear estructuras de subcontratación que podrían traducirse en oportunidades de inversión para los pequeños agricultores.

La competencia por la tierra y los productos agrícolas podría dar lugar a aumentos del precio de los alimentos, pero tener también por efecto un incremento de los ingresos de los agricultores. Los agricultores que produzcan los mayores excedentes serán los más beneficiados, mientras que los compradores netos serán quienes más se vean perjudicados. La distribución de los costos y beneficios dependerá de las circunstancias locales, aunque el efecto neto del aumento de los precios de los alimentos en la seguridad alimentaria pueda en muchos casos ser negativo. Los impactos mayores serán sufridos por la población urbana pobre que carece de acceso a la tierra y que no conseguirá recoger los beneficios de un aumento de los precios de los alimentos.

Si los precios de los cultivos para la producción de combustibles líquidos subieran de forma significativa, los agricultores tenderán a convertir las tierras agrícolas en tierras destinadas a cultivos energéticos, y a corto plazo ello podría recortar los suministros de alimentos y pulsar los precios de los alimentos. No obstante, como los agricultores pasan de un cultivo a otro con cierta frecuencia, la decisión de qué cultivar se basará fundamentalmente en los precios de mercado y en la rentabilidad. Unos precios de los alimentos más altos se traducirían en mayores incentivos para destinar las tierras a cultivos alimentarios, de modo que será el mercado el que restablezca el equilibrio entre la oferta y la demanda. Hay que subrayar no obstante que un aumento de los precios de los alimentos, por muy transitorio que sea, perjudicará a la población pobre, y especialmente a la de los países en desarrollo (Recuadro 7).

RECUADRO 7

Precios de los alimentos y bioenergía

Rosegrant *et al.* (2005, 2006) estudiaron las repercusiones potenciales del aumento de la demanda energética en los precios reales de los alimentos. Los autores examinaron tres casos, conforme a una hipótesis de crecimiento agresivo de la producción y un uso de los biocombustibles líquidos en que se suponía que el consumo mundial de biocombustibles aumentaría entre dos y diez veces en determinados países y regiones a través del mundo, incluyendo China, la India, el Brasil, los Estados Unidos de América y la Unión Europea, y que los precios del petróleo se mantendrían altos en términos reales. Los tres casos eran los siguientes:

- los biocombustibles líquidos obtenidos a partir de cereales seguían siendo preferidos;

- un cambio en las preferencias conducía a la adopción de biocombustibles líquidos obtenidos a partir de la madera;
- el uso de los biocombustibles celulósicos aumentaba juntamente con mejores prácticas agrícolas.

Los autores estimaron que, en el primer caso, los precios reales de los alimentos aumentarían significativamente para 2020 (véase el cuadro). En el segundo, el perfeccionamiento de los combustibles obtenidos a partir de la madera compensaba al menos en parte esos aumentos de precios. La combinación de la producción y uso de los combustibles celulósicos y la mejora de las prácticas agrícolas se traducía en los menores aumentos posibles de los precios. Cada uno de estos casos ha llevado a pensar que los precios reales de los cultivos aumentarán en el futuro.

Cada uno de los tres casos acarrearía precios promedio más altos en los mercados mundiales de los alimentos, aunque los cambios a nivel de los países serían variables. Estos resultados han sido confirmados por otros modelos, especialmente por el análisis de Schmidhuber (FAO, 2006a), según el cual la demanda suplementaria de materias primas para la producción de biocombustibles ha hecho aumentar los precios de los productos básicos agrícolas alrededor del mundo.

El aumento de los precios de los alimentos repercutiría en la seguridad alimentaria, especialmente de países donde los alimentos escasean a causa de las deficientes condiciones de cultivo o de otros factores medioambientales. El aumento del precio de los productos básicos alimentarios también se traduciría en un incremento de los ingresos en las zonas rurales y en una reducción potencial de la pobreza. El aumento de la proporción de los biocombustibles derivados de la madera podría ayudar a contener el encarecimiento previsible de los alimentos, aunque se pueden aún esperar algunas alzas de precios. Se ha de notar además que, históricamente, los precios reales de los alimentos y los precios reales agrícolas han tendido a bajar, y una alteración de esta tendencia, dictada por la necesidad de satisfacer la demanda de biocombustibles, podría no ser permanente (FAO, 2006a).

Tres casos de aumentos previsibles de los precios de los productos básicos alimentarios, según la hipótesis de un crecimiento agresivo de la producción y uso de los biocombustibles (aumentos porcentuales, 2005-2020)

Producto básico	Siguen siendo preferidos los biocombustibles obtenidos a partir de los cereales	Tras un cambio en las preferencias, se adoptan los biocombustibles líquidos obtenidos a partir de la madera	Biocombustibles obtenidos a partir de la madera + mejoras agrícolas
Yuca	135	89	54
Remolacha azucarera	25	14	10
Caña de azúcar	66	49	43
Semillas oleaginosas	76	45	43
Maíz	41	29	23
Trigo	30	21	16

Fuente: Rosegrant et al., 2006

TIERRA Y MEDIO AMBIENTE

La tierra es el factor clave en la producción de los recursos bioenergéticos, y su disponibilidad varía de un país y una región a otra. El establecimiento en gran escala de plantaciones energéticas puede limitar la disponibilidad de tierras para la producción de alimentos, y la seguridad alimentaria puede por consiguiente convertirse en un asunto de preocupación para algunos países, especialmente aquellos cuyos recursos de tierras son limitados y cuya población es numerosa.

Estudios recientes han mostrado que, pese a que existen en el mundo importantes reservas de tierras labrantías potenciales, los pronósticos de crecimiento de la población y de competencia por el uso de la tierra indican que la distribución de esas reservas es dispar respecto de la demanda futura. Algunos países asiáticos muy poblados, por ejemplo, disponen de pocas tierras para la producción de bioenergía, o carecen de ellas por completo (Risø, 2003).

Sin embargo, en los países asiáticos densamente poblados, la agrosilvicultura, el aprovechamiento de los desechos agrícolas y forestales y las tecnologías para conversión eficiente de la energía podrían proporcionar bioenergía en cantidades significativas. En América Latina, gran parte de África y algunos países de Asia con abundantes bosques, existen amplias superficies que podrían dedicarse a la producción de biomasa. Sin embargo, la biodiversidad se vería amenazada por la explotación en gran escala de los monocultivos destinados a la producción de energía, incluso en tierras no forestales. La pérdida de los estilos de vida pastorales, que sería consecuencia de la reducción de los pastizales, y la menor producción de piensos con que alimentar a animales herbívoros domésticos y silvestres podría también tener un impacto nocivo económico y social significativo (ONU-Energía, 2007).

En muchos países en desarrollo, se ha propuesto ampliar las plantaciones bioenergéticas destinándoles grandes superficies de tierras degradadas. En la India, por ejemplo, se están reservando para esta finalidad 63 millones de hectáreas clasificadas como eriales. Se estima que en ese país 40 millones de hectáreas son idóneas para el cultivo de plantas oleaginosas (Prasad, 2007). Se ha aconsejado plantar estas tierras con árboles u otros cultivos energéticos con el objeto de reducir la erosión, restaurar los ecosistemas, regular los flujos hídricos y proporcionar refugio y protección a las comunidades y proteger las superficies agrícolas (Risø, 2003). Para que estos beneficios puedan materializarse, será menester que una reglamentación relativa al uso de la tierra, explícita y aplicada efectivamente, acompañe las iniciativas de expansión de la producción de biocombustibles, sobre todo en aquellos países en los que las tierras forestales tropicales corren el riesgo de ser convertidas en tierras destinadas a otros usos (Instituto de la Vigilancia Mundial, 2007).

Los proyectos relativos a los agrocombustibles han encontrado resistencia debido a que pueden dar origen a eventuales conflictos. En Uganda, por ejemplo, la gente se opuso a que el gobierno concediese a una empresa el permiso de explotar bosques en Mabira para establecer plantaciones de caña de azúcar y producir agrocombustibles. Se ha informado de manifestaciones hostiles análogas en Ghana y en Sudáfrica (GRAIN, 2007).

En diferentes países, los bosques han sido reemplazados por cultivos para la producción de biocombustibles; y esta tendencia podría acelerarse si la demanda de bio-

combustibles y energía en general aumentase marcadamente. Pero esta dinámica podría conocer una modificación espectacular si la biomasa leñosa llegara a ser la materia prima preferida para la producción de biocombustibles, y en tal caso serían los bosques los representarían en el futuro una amenaza para las tierras agrícolas, y no lo contrario.

Es indispensable que la planificación y la vigilancia del uso de la tierra se tomen en cuenta en las estrategias bioenergéticas a fin de que se disponga de tierras cultivables en cantidad suficiente para producir alimentos a precios abordables y evitar la pérdida de hábitats valiosos. En el Recuadro 8 se bosquejan algunas hipótesis posibles del desarrollo de los biocombustibles líquidos y sus impactos probables.

RECUADRO 8

Hipótesis relativas al desarrollo de los biocombustibles líquidos

Para la producción en gran escala de combustibles líquidos se necesitan amplias superficies de tierras, y despierta preocupaciones el que la generación de biocombustibles líquidos de primera generación pueda comprometer la seguridad alimentaria y la cubierta forestal. A fin de afrontar de manera satisfactoria los problemas de uso de la tierra y sus consecuencias para los bosques, el aumento de la producción de los biocombustibles líquidos podría llevarse a cabo conforme a una o a una combinación de las siguientes hipótesis:

- **Trasladar las tierras degradadas y/o actualmente dedicadas a cultivos alimentarios a la producción de bioenergía (incluida la dendroenergía).** Este enfoque no tendría presumiblemente efectos adversos en los bosques, pero sí podría tenerlos en la seguridad alimentaria, especialmente en el caso de las operaciones en gran escala, a menos que la productividad aumente y/o se encuentre una sinergia entre la producción de alimentos y la producción de energía.
- **Introducir los cultivos para producción de biocombustibles líquidos en las áreas forestadas.** Esta práctica sería causante de deforestación y produciría efectos adversos en la biodiversidad y en otros bienes y servicios forestales, y haría que las emisiones de gases de efecto invernadero aumentasen. Las industrias madereras podrían deber de hacer frente a una escasez de materias primas, y la demanda de materiales de construcción y otros productos madereros podría reducirse. La disponibilidad de madera para la producción de energía podría aumentar a corto plazo.
- **Destinar la madera producida en los bosques existentes a la producción de energía.** Esta práctica tendría un impacto en los ingresos y en la ordenación de los bosques naturales y plantaciones, y aumentaría la competencia por los recursos entre los usuarios de la madera. La madera disponible para la industria maderera podría disminuir a corto plazo y los costos de los productos podrían aumentar.
- **Aumentar la eficiencia de uso de la madera buscando la mejor manera de elaborar y aprovechar los residuos madereros y la madera recuperada para producir bioenergía.** Esta práctica permitiría generar cantidades significativas de energía y minimizar los impactos negativos en las actividades forestales y agrícolas.

Entre los impactos ambientales negativos potenciales vinculados con un aumento en gran escala de las plantaciones forestales y de las plantaciones de cultivos bioenergéticos, cabe mencionar la reducción de la fertilidad de los suelos, la erosión de los suelos y un mayor uso del agua. Los cultivos intensivos acrecientan y concentran el consumo de agua, y en muchos países el agua es un recurso cada vez más escaso. Algunos cultivos para producción de biocombustible son grandes consumidores de agua. El Instituto Internacional para el Manejo del Agua publicó en marzo de 2006 un informe que alertaba acerca de que en algunos países la crisis hídrica podría agravarse a causa de la rebatía por los biocombustibles líquidos. Por ejemplo, en China y la India, países que tienen escasos recursos hídricos, una gran parte de la producción de agrocombustibles depende del riego (GRAIN, 2007), con la consecuencia de que los cultivos alimentarios podrían recibir menos agua y que habría efectos negativos en la seguridad alimentaria. Estos impactos se podrán mitigar mediante un uso apropiado de la tierra y una ordenación responsable (FAO, 2006b).

También es motivo de preocupación que, en virtud del aumento de la combustión de biomasa, pueda agravarse la contaminación atmosférica (OMS, 2006). La madera que se quema en instalaciones en que el filtrado de humos es insuficiente o la combustión es parcial libera partículas finas que representan un riesgo para la salud. En algunos países existen normas que regulan la combustión, pero estas pueden verse comprometidas cuando la calidad de los combustibles es mala (por ejemplo, madera húmeda) y las técnicas de quema son ineficaces. Como el aumento de la combustión de biomasa tiene consecuencias importantes, muchas de las cuales están relacionadas entre sí, es preciso adoptar un enfoque global al fijar objetivos y diseñar políticas orientadas a combatir el cambio climático (CEPE/FAO, 2007). Mucho tiempo y esfuerzos se dedican a la recolección de combustible y no a ocupaciones más provechosas; es por este motivo que el Proyecto del Milenio de las Naciones Unidas comprende la meta de reducir a la mitad, para 2015, el número de hogares que utiliza la biomasa tradicional para cocinar.

Desmante de bosques

La presión sobre los bosques aumentará probablemente a través del mundo, y estará impulsada por los requerimientos crecientes de que son objeto las tierras debido al desarrollo de los biocombustibles líquidos de primera generación. En muchos casos, los costos de oportunidad serán demasiado altos para evitar la conversión de uso de las tierras forestales, con otros propósitos económicos más interesantes, dictados por la continuidad de las pautas recientes relativas al desarrollo de las bioenergías. En las regiones en donde no se apoyen o no resulten efectivas las medidas de protección y de ordenación forestal sostenible, se realizará el desmante de los bosques.

Las pérdidas de superficie forestal acarrearán la liberación de carbono y pérdidas de biodiversidad. En las zonas en que las tierras están sujetas al régimen de propiedad tradicional, o los derechos no se reconocen plenamente, los derechos de propiedad y de uso también podrán verse afectados. La soja, la caña de azúcar y la palma aceitera han sido asociadas con la deforestación, y en los países donde la producción de dichos

cultivos se ha difundido, la deforestación ha contribuido en medida considerable a las emisiones de gases de efecto invernadero (GRAIN, 2007).

Estudios recientes han indicado que los incentivos económicos con que se estimula la producción de biocombustibles han sido la causa de que cada vez más tierras forestales o pastizales se conviertan en tierras que son dedicadas a otros usos, y que, por el efecto de la descomposición o del fuego, esto ha determinado la liberación del carbono que se encuentra almacenado en las plantas y el suelo (Searchinger *et al.*, 2008). A la hora de diseñar planes para el desarrollo de la bioenergía, no se puede dejar de tomar en cuenta el cambio del uso de la tierra en los cálculos relativos al carbono. Se ha estimado, por ejemplo, que si se reemplazaran los bosques secundarios con cultivos de palma aceitera producidos de forma sostenible, el proceso de reabsorción del carbono tardaría de 50 a 100 años (Butler, 2007b).

Grandes superficies de bosque pluvial han sido desbrozadas, y se siguen desbrozando, para establecer plantaciones de palma aceitera. Las mayores plantaciones de palma aceitera del mundo están en Indonesia y Malasia. Se ha estimado que aproximadamente del 17 al 27 por ciento de la deforestación que ha tenido lugar en Indonesia se ha debido al establecimiento de plantaciones de palma aceitera, y en Malasia la cifra podría alcanzar el 80 por ciento. En Indonesia, 3,6 millones de hectáreas de tierras han sido plantadas con palma aceitera, y esta superficie está aumentando en alrededor de un 13 por ciento anual (FAO 2007c). Simultáneamente, un promedio de 1,8 millones de hectáreas de bosques desaparecen todos los años, una superficie que equivale al 2 por ciento de la cubierta forestal de Indonesia. Las talas no solo han ocasionado abundantes emisiones de dióxido de carbono que va a parar a la atmósfera, sino que han agravado las amenazas que se ciernen sobre algunas especies en peligro (CEPE/FAO, 2007).

La mayor intensidad de emisiones de carbono se registra cuando la palma aceitera se planta en turberas drenadas. Según el estudio realizado por Hooijer *et al.* (2006), el 27 por ciento de las plantaciones de palma aceitera se encuentra en turberas drenadas. En Indonesia, las emisiones de carbono que provienen de los terrenos turbosos drenados comprenden 1 400 megatoneladas de emisiones producidas por fuegos, y 600 megatoneladas ocasionadas por la descomposición del suelo. Se estima que estas cifras equivalen a casi el 8 por ciento de las emisiones mundiales por combustión de combustibles fósiles, y que sitúan a Indonesia en el tercer lugar en cuanto a emisiones mundiales de dióxido de carbono, detrás de los Estados Unidos de América y China (Hooijer *et al.*, 2006). Hay indicios de que los productos bioenergéticos, comprendidos algunos que se exportan, contribuyen a esta situación. Importantes cantidades de aceite de palma se usan por ejemplo en la producción de biogasóleo, que se consume sobre todo en Europa (Carrere, 2001; Colchester *et al.*, 2006).

Las repercusiones de un mayor uso de la bioenergía en los países industrializados podrían difundirse mucho a través del mundo. En la actualidad, tales repercusiones parecen más probables en el caso de los biocombustibles líquidos que son transportables con mayor facilidad. La introducción comercial de los biocombustibles celulósicos líquidos impulsará a los países con abundantes recursos forestales a aumentar

los suministros de materias primas bioenergéticas, y ello podrá determinar pérdidas forestales en las regiones en que no se observen los principios que rigen la ordenación forestal sostenible.

Las amplias superficies de bosques degradados constituyen también un objetivo para la expansión de las plantaciones de cultivos bioenergéticos. Aunque no se encuentren en óptimas condiciones, los bosques degradados albergan aún una gran biodiversidad y encierran elevadas cantidades de carbono, y pueden asimismo constituir, para la población local, redes de seguridad alimentaria y fuentes de producción seguras de materiales. Queda por determinar si estas áreas se pueden ordenar sosteniblemente y si son capaces de producir bienes y servicios variados, incluida la bioenergía; sin embargo, las tendencias recientes no invitan a emitir un juicio positivo.

En 2007, la Administración Forestal Estatal China anunció una iniciativa orientada a la explotación de dos plantaciones de *Jatropha curcas* destinadas a producir biocombustibles en las provincias de Yunnan y Sichuan. Posteriormente, la Administración declaró su intención de dedicar más de 13 millones de hectáreas de tierras forestales a la expansión de los cultivos para producción de biocombustibles. Por su parte, el Departamento Forestal Provincial de Yunnan proyecta explotar, hasta 2015, 1,3 millones de hectáreas de plantaciones con el objeto de producir 4 millones de toneladas de bioetanol y 600 000 toneladas de biogasóleo al año (Liu, 2007). Según han manifestado las autoridades, las plantaciones ocuparán terrenos forestales y agrícolas degradados, que tan sólo en la provincia de Yunnan cubren una superficie estimada de 4 millones de hectáreas. En China sudoccidental existe un gran número de áreas forestales de gran biodiversidad que contienen valiosos bienes forestales que es menester proteger (Perley, 2008).

Antes de poner en ejecución cualquier plan de explotación, los países deberían realizar una evaluación, desde el punto de vista de la totalidad del ciclo de vida de las emisiones, de los gases de efecto invernadero y de otros efectos ambientales relacionados con los diferentes tipos alternativos de bioenergía, es decir toda la gama de impactos ambientales asociados con la producción energética, incluido el cambio de uso de la tierra. El potencial de reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero de la bioenergía ha sido reconocido ampliamente, y en la lista mundial de acciones que esperan ser financiadas con arreglo al mecanismo para un desarrollo limpio (MDL) del Protocolo de Kyoto se han inscrito numerosos proyectos pertinentes. El MDL y otros mecanismos deberán ayudar a superar las barreras financieras que entorpecen el desarrollo de los biocombustibles eficientes en carbono; pero la complejidad de la reglamentación y los procesos afines limita en la actualidad el acceso al MDL a los países menos desarrollados (Peskett *et al.*, 2007).

6. Opciones de política y recomendaciones

El consumo mundial de energía no dejará de aumentar; y a pesar de las preocupaciones acerca del cambio climático y la seguridad energética, los combustibles fósiles seguirán siendo la principal fuente de energía. Al mismo tiempo, el aumento del precio de los combustibles inducirá a los países a convertirse en consumidores de energía más eficientes. Ya ha comenzado el proceso de progresiva conversión de las fuentes energéticas fósiles en fuentes energéticas alternativas para la producción de electricidad y combustible de transporte. Las inversiones en investigación y desarrollo de bioenergías están multiplicándose. Dentro de poco, se dispondrá de tecnologías que harán posible la transformación en gran escala de la celulosa en biocombustibles líquidos a precios económicos: se considera que las repercusiones de esta innovación en la ordenación futura de los bosques serán considerables.

En la mayoría de los países, las políticas y programas destinados a promover el desarrollo de la bioenergía aún están en sus fases iniciales. La mayor parte de los programas se concentra en los combustibles líquidos, sobre todo los que se utilizan en el sector de los transportes. Las mencionadas políticas y programas suelen tener un alcance limitado, y atienden más a las disposiciones reglamentarias que a las inversiones en campos como la investigación y desarrollo, la liberalización de mercados, la información y la capacitación. Hasta la fecha, la transferencia de tecnología de países desarrollados a países en desarrollo, o la entrega de información sobre bioenergía por los primeros a los segundos, ha sido escasa.

Diversos países en desarrollo tienen una gran capacidad potencial de producir energía a partir de los bosques y árboles fuera del bosque con unos niveles de riesgo relativamente bajos, pero esta capacidad no ha quedado adecuadamente reflejada en las políticas nacionales de desarrollo energético. Una ordenación forestal insuficiente y la carencia de procedimientos para la recolección de datos –consecuencia frecuente de operaciones forestales ilegales generalizadas– impiden a menudo evaluar todo el potencial económico y social del sector forestal y de la producción de energía derivada de la madera. Si las actividades forestales se llevaran a cabo de forma sostenible y transparente, el sector de la producción de energía y otros sectores saldrían muy beneficiados¹.

¹ Las recomendaciones formuladas en esta sección se han tomado esencialmente del Evento especial de alto nivel sobre los bosques y la energía de la FAO, Roma, 17-24 de noviembre de 2007; la Conferencia Internacional sobre Bioenergía basada en la Madera, de la Organización Internacional de las Maderas Tropicales (OIMT), Hanover (Alemania), 17-19 de mayo de 2007; el Taller sobre movilización de los recursos madereros de la Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa (CEPE), Ginebra (Suiza), 11 y 12 de enero de 2007; y el Foro de políticas CEPE/FAO sobre oportunidades e impactos de las políticas y metas bioenergéticas en el sector forestal y en otros sectores, Ginebra, 10 de octubre de 2007.

Como para llevar a cabo grandes proyectos relativos a la bioenergía se precisa de amplias superficies de tierras, es posible que los efectos de tales proyectos incidan en la seguridad alimentaria, las estructuras sociales, la biodiversidad, la industria de la elaboración de la madera y la disponibilidad de productos madereros. Para mitigar las repercusiones de esos proyectos, es necesario planificar el uso de la tierra, tomar en cuenta las políticas de otros sectores y poner en práctica una gobernanza efectiva. También reviste gran importancia la participación de todas las partes interesadas al diseñar las estrategias vinculadas a la bioenergía, ya que ello permite equilibrar las ventajas y desventajas económicas, sociales y medioambientales que resultan de los impactos y de los beneficios.

Al diseñar una estrategia nacional, es necesario tomar en consideración la eficiencia energética y de carbono de la energía que se obtiene a partir de los bosques y de la agricultura, así como la rentabilidad y el rendimiento energético ambiental. Gracias a la plantación de árboles es posible contribuir a la mitigación del cambio climático, combatir la erosión y restaurar los ecosistemas, sobre todo en las zonas degradadas; sin embargo, los monocultivos en gran escala pueden tener impactos negativos en los recursos de suelos y aguas.

Dado que los recursos financieros y la capacidad humana en los países en desarrollo suelen ser limitados, es preciso que, para el desarrollo de la bioenergía, se investiguen en primer lugar las oportunidades ofrecidas por la biomasa existente y por una tecnología probada. Una medida competitiva de reducir los riesgos consiste en integrar la generación de energía con las operaciones forestales industriales, ya que con ello se consigue aumentar la rentabilidad y mejorar la ordenación forestal. En virtud de este procedimiento, que debería constituir un aspecto prioritario y ser estudiado más a fondo, también se reforzaría la seguridad energética y se contribuiría a la mitigación del cambio climático.

Todos los países podrán sacar provecho de una mejor información sobre las materias primas energéticas, incluida la biomasa recuperada en las operaciones forestales y el comercio de biomasa forestal. Se necesitan recursos para evaluar el potencial de desarrollo de la bioenergía y la dendroenergía, sobre todo con objeto de:

- cuantificar el potencial de la biomasa forestal de generar diferentes tipos de energías finales (por ejemplo, calor, electricidad, biocombustible celulósico líquido);
- evaluar la contribución potencial de los bosques naturales, la biomasa leñosa fuera del bosque, las plantaciones energéticas, los residuos y materiales postconsumo a la producción de dendroenergía;
- determinar las compensaciones de ventajas y desventajas de diferentes decisiones relativas al aprovechamiento de la tierra.

El análisis tradicional de la oferta y demanda de madera, centrado en las cortas practicadas en el bosque y en el suministro de la madera para la industria, ya no resulta totalmente adecuado. Por lo tanto, en los países más avanzados se ha adoptado un enfoque más moderno y provechoso que se basa en el balance de recursos madereros. En lo posible, el acopio de la información deberá llevarse a cabo en

conformidad con los protocolos actuales de notificación, en especial, la Evaluación de los recursos forestales mundiales (FRA) de la FAO.

Todos los países deben formular metas de política nacional explícitas para los bosques y la energía, que reflejen los principios del desarrollo y de la ordenación forestal sostenibles. Estas metas deberán tomar en consideración los impactos que puedan observarse a nivel nacional e internacional, así como los impactos económicos intersectoriales. También se deberá tomar en cuenta la compensación entre ventajas y desventajas ofrecidas por la dendroenergía, los agrocombustibles y otras fuentes de energía y formas de aprovechamiento de la tierra. A la hora de diseñar la política nacional relativa a la dendroenergía, será preciso tomar en consideración que:

- en los procesos políticos, la bioenergía debe enfocarse como un asunto transectorial, y que es preciso integrar la energía con las políticas relativas a los bosques, la agricultura y otras formas de aprovechamiento de la tierra;
- los procesos políticos deben comprender consultas y análisis apropiados sobre los impactos ambientales, económicos y sociales en el contexto de las condiciones regionales, nacionales y locales específicas;
- es preciso mejorar la circulación de la información entre propietarios de bosques, detentarios de derechos de tenencia, el público en general y los consumidores, a fin de que éstos puedan tomar decisiones informadas acerca de la ordenación de los recursos forestales;
- en los procesos de política es preciso tomar en consideración el empleo rural, la protección ambiental, la gestión del uso de la tierra, el sector de los productos forestales y otros dominios pertinentes, con el objeto de sacar provecho de eventuales acciones sinérgicas y evitar efectos perjudiciales;
- las políticas deben proporcionar un amplio sostén, a través de acuerdos en los sectores de los transportes y las infraestructuras, a las iniciativas de desarrollo de la bioenergía, comprendida la educación y capacitación y la investigación y desarrollo; y que el sostén no ha de consistir solo en incentivos para productores, distribuidores y consumidores;
- en los procesos de política es preciso esforzarse por conseguir un equilibrio apropiado entre el sector agrícola y el forestal, así como entre las fuentes de biomasa importadas y las nacionales. También es necesario tomar en consideración los imprevistos, a fin de evitar la competencia con la producción de alimentos;
- es preciso tomar en consideración las repercusiones de la política bioenergética en otros sectores económicos a fin de evitar las distorsiones de mercado;
- los gobiernos deben comprobar que las estrategias y la legislación en sectores distintos del forestal no ocasionen efectos negativos en la obtención de madera para la producción de bioenergía;
- es necesario llevar a cabo un seguimiento regular y sistemático de las políticas, con el objeto de evitar todo impacto negativo en el medio ambiente y en las comunidades rurales;
- es necesario adoptar medidas encaminadas a evitar la destrucción de los recursos naturales valiosos y la biodiversidad.

En lo que respecta al suministro de la madera y la industria maderera, será necesario encarar los siguientes problemas:

- la obtención de los recursos madereros de forma sostenible en el contexto de las restricciones de índole jurídica e institucional (por ejemplo, las estructuras de propiedad forestal), de acceso a los datos, de infraestructura forestal y de los niveles adecuados de los precios de la madera;
- las leyes, reglamentación y políticas favorables, así como la información y la motivación de los propietarios de bosques, empresarios y otros agentes;
- las ganancias de eficiencia obtenidas gracias a un uso más intensivo de los recursos existentes, incluida la clasificación de la madera y los residuos forestales e industriales no utilizados actualmente, la biomasa leñosa no forestal y los productos madereros recuperados después del consumo;
- la expansión a largo plazo de la superficie forestal y el aumento de la productividad de los recursos forestales, mediante las innovaciones en el campo de la silvicultura y de la genética.

La transferencia a los países en desarrollo de las tecnologías eficientes en cuanto a energía y recursos para la producción de bioenergía basada en la madera tendrá una importancia considerable para la consecución de los objetivos relativos al cambio climático asociados al desarrollo de la bioenergía. La situación actual representa una oportunidad de máximo interés que permitirá al sector forestal desempeñar una función renovada y contribuir a la seguridad de los suministros energéticos y a la mitigación del cambio climático, al reemplazar los combustibles fósiles y secuestrar el carbono contenido en los bosques y los productos forestales.

Glosario

No existe hasta ahora una terminología internacional unificada en materia de bioenergía. Los términos usados en la presente publicación tienen los siguientes significados:

Agroenergía

Energía derivada de determinados cultivos plantados *ex profeso*, y de subproductos de origen agrícola y ganadero, residuos y desechos.

Biocombustible

Todo combustible –sólido, líquido o gaseoso– producido a partir de la biomasa.

Biocombustible de primera generación

Combustible producido a partir de cultivos plantados *ex profeso*.

Biocombustible de segunda generación

Combustible producido a partir de materiales celulósicos, residuos de cosecha y desechos agrícolas y urbanos.

Biocombustible líquido

Combustible de origen biológico que se usa en su forma líquida, como el biogasóleo y el bioetanol, y que en la actualidad se fabrica esencialmente a partir de cultivos alimentarios: la palma aceitera, la caña de azúcar, el maíz, la colza, la soja y el trigo.

Bioenergía

Todos los tipos de energía derivados de los biocombustibles, comprendida la dentroenergía y la agroenergía.

Bioetanol

Biocombustible producido a partir plantas ricas en azúcares (tales como la caña de azúcar, el maíz, la remolacha, la yuca, el trigo y el sorgo) o el almidón.

Biogasóleo

Biocombustible producido a partir de diferentes materias primas, comprendidos los aceites vegetales (tales como el aceite de palma, las semillas oleaginosas, la colza, el piñoncillo y la soja), las grasas animales o las algas.

Biomasa

Materia orgánica que se encuentra tanto encima como debajo del suelo, y tanto viva como muerta; por ejemplo, árboles, cultivos, hierbas, hojarasca y raíces.

Biomasa forestal

Toda biomasa existente en los bosques, comprendidos los árboles, hojas, ramas y raíces. Entre los tipos específicos de biomasa seleccionados para su uso en sistemas energéticos están las copas y ramas de árboles remanentes tras la cosecha de la madera, los árboles de mala calidad que se encuentran en bosques sujetos a ordenación, los árboles que se cortan durante las operaciones de aclareo del terreno, los desechos madereros procedentes de zonas urbanas y los residuos madereros producidos en los aserraderos.

Biomasa sólida

Madera, desechos de madera y otros desechos sólidos.

Biomasa tradicional

Combustibles leñosos, subproductos agrícolas y estiércol que son quemados para cocinar los alimentos y calentarse. En los países en desarrollo, están aún muy difundidos la producción de biomasa y su uso insostenible y nocivo. El negocio de biomasa es en su mayor parte informal y no obedece a principios comerciales.

Biorrefinerías

Una nueva generación de refinerías que, según se prevé, producirán no solo energía térmica y eléctrica, sino también combustibles de transporte y productos industriales.

Celulosa

Constituyente orgánico principal de las plantas terrestres; se encuentra en la madera, asociada con la hemicelulosa y la lignina.

Combustible fósil

Fuente de energía no renovable producida por los restos de organismos vivientes que se constituyen bajo el suelo o en el curso de períodos geológicos, pudiendo adoptar una forma líquida (aceite), sólida (carbón, turba) o gaseosa (gas natural).

Combustible leñoso

Combustible de origen maderero, incluidas las materias sólidas (leña y carbón), líquidas (licor negro, metanol y aceite pirolítico) y gaseosas procedentes de la gasificación de estos combustibles.

Combustible no renovable

Combustible extraído de un recurso finito que terminará esquilado y siendo demasiado costoso o demasiado perjudicial para el medio ambiente para que pueda ser recuperado; comprende los combustibles fósiles provenientes del carbón, petróleo y gas natural y la energía nuclear.

Cubierta forestal

Porcentaje de tierras comprendidas dentro de un área determinada, cubiertas por bosque.

Cultivo energético

Planta que se cultiva con el propósito de producir biocombustibles, o que se explota directamente para aprovechar su contenido energético. Los cultivos energéticos comerciales son especies de plantación densa y de alto rendimiento, tales como *Miscanthus*, *Salix* o *Populus*.

Cultivo para la producción de combustible

Véase Cultivo energético.

Dendrocombustible líquido

Licor negro y etanol, metanol y aceite pirolítico.

Dendroenergía

Energía que se deriva de la leña, carbón vegetal, residuos forestales, licor negro y cualquier otro tipo de energía proveniente de los árboles.

Dendroenergía gaseosa

Gas producido por la gasificación de dendrocombustibles sólidos o líquidos.

Energía renovable

Energía producida a partir de fuentes indefinidamente renovables, por ejemplo, las fuentes de energía hídrica, solar, geotérmica y eólica, así como la biomasa que es producida de forma sostenible.

Gas sintético

Una mezcla de monóxido de carbono e hidrógeno que resulta de la gasificación de la materia orgánica a elevada temperatura, por ejemplo, la biomasa. Una vez purificada, la mezcla puede ser utilizada para la síntesis de moléculas orgánicas tales como el gas natural sintético o los biocombustibles líquidos.

Gases de efecto invernadero

Compuestos químicos presentes en la atmósfera que bloquean la radiación solar y el calor.

Leña

Madera en forma bruta (por ejemplo, astillas, serrín y pellets) usada para la generación de energía.

Licor negro

Un dendrocombustible líquido, subproducto industrial del pulpeo.

Lignocelulósicos

La madera se compone de lignina, celulosa y hemicelulosa. Con este adjetivo se describen los procesos en los cuales se combinan la lignina y la celulosa, por ejemplo, los que consisten en la descomposición de ambas sustancias.

Madera aserrada

Madera en forma de trozos aserrados.

Madera en rollo

Madera con o sin corteza en su estado natural, tal como se presenta cuando es apeada.

Madera para pasta

Surtido de maderas usado para la fabricación del papel.

Materia prima

Toda biomasa que se destina a ser convertida en energía o en biocombustible. Por ejemplo, el maíz es una materia prima para la producción de etanol; y el aceite de soja, una materia prima para la producción de biogasóleo. La biomasa celulósica podría llegar a ser una materia prima de gran importancia para la producción de biocombustibles.

Materias primas dendroenergéticas

Madera y biomasa recuperadas en los bosques y de árboles y usadas para producir combustible.

Pellets de madera

Partículas pequeñas usadas para la generación de energía, confeccionadas con madera secada, prensada y restos de corta.

Piñoncillo

Principalmente *Jatropha curcas*, arbusto perennifolio que se encuentra en Asia, África y la Indias Occidentales. Sus semillas no comestibles contienen una elevada proporción de aceite que se puede utilizar para producir biogasóleo.

Pirólisis

Proceso de descomposición de materias orgánicas mediante calor en un ambiente carente de oxígeno; es un método para convertir la biomasa en biogasóleo.

Residuos madereros

Madera que queda en el bosque tras la cosecha, y subproductos madereros de

las operaciones de elaboración de la madera, en forma de astillas, placas, cantos, serrín, virutas y combustible desmenuzado.

Subproductos urbanos

Productos de desecho, tales como los fangos de aguas residuales y los gases de relleno sanitarios, así como los desechos sólidos urbanos.

Bibliografía

- Abe, H., Katayama, A., Sah, B.P., Toriu, T., Samy, S., Pheach, P., Adams, M.A. y Grierson, P.F. 2007. Potential for rural electrification based on biomass gasification in Cambodia. *Biomass and Bioenergy*, 31(9): 656–664.
- Aglionby, J. 2008. Indonesia faces dispute over biofuels fields. *Financial Times*, 11 de febrero. Disponible en: www.ft.com/cms/s/0/aea8136e-d8b1-11dc-8b22-0000779fd2ac.html
- Biofuelwatch. 2007. *Agrofuels: towards a reality check in nine key areas*. Disponible en: www.biofuelwatch.org.uk/docs/agrofuels_reality_check.pdf
- Bowyer, J.L. y Stockmann, V.E. 2001. Agricultural residues: An exciting bio-based raw material for the global panels industry. *Forest Products Journal*, 51(1): 10–21.
- Broadhead, J.S., Bahdon, J. y Whiteman, A. 2001. *Past trends and future prospects for the utilisation of wood for energy*. Global Forest Products Outlook Study Working Paper No. 5. FAO, Roma.
- Butler, R.A. 2007a. Is peat swamp worth more than palm oil plantations? *Jakarta Post*, 22 de agosto. Disponible en: news.mongabay.com/2007/0717-indonesia.html
- Butler, R.A. 2007b. *Indonesian palm oil industry tries disinformation campaign*. 8 de noviembre. Disponible en: news.mongabay.com/2007/1108-palm_oil.html
- Carrere, R. 2001. Oil-palm: the expansion of another destructive monoculture. In *The bitter fruit of oil-palm: dispossession and deforestation*. Londres, Reino Unido, World Rainforest Movement.
- CEPE (Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa). 2007. Timber Committee price database. Ginebra, Suiza. Disponible en: www.unece.org/trade/timber/mis/fp-stats.htm
- CEPE/FAO. 2006. *Forest Products Annual Market Review, 2005-2006*. Ginebra, Suiza. Disponible en: www.unece.org/trade/timber/docs/fpama/2006/fpamr2006.htm
- CEPE/FAO. 2007. *Forest Products Annual Market Review, 2006-2007*. Ginebra, Suiza. Disponible en: www.unece.org/trade/timber/docs/fpama/2007/fpamr2007.htm
- Colchester, M., Jiwan, N., Andiko, Sirait, M., Firdaus, A.Y., Surambo, A. y Pane, H. 2006. *Promised land: palm oil and land acquisition in Indonesia – implications for local communities and indigenous peoples*. Forest Peoples Programme, Sawit Watch, HuMA and the World Agroforestry Centre. Disponible en: www.forestpeoples.org/documents/prv_sector/oil_palm/promised_land_eng.pdf
- Departamento de Energía de los Estados Unidos. 2008. *U.S. department of energy selects first round of small-scale biorefinery projects for up to \$114 million in federal funding*. Comunicado de prensa. Disponible en: www.energy.gov/news/5903.htm
- EIA (Administración de Información de la Energía). 2007. *International Energy Outlook 2007*. Washington, DC, EE.UU. Disponible en: www.eia.doe.gov/oiaf/ieo/index.html

- EIA. 2008. *Petroleum Navigator*. Washington, DC, EE.UU. Disponible en: tonto.eia.doe.gov/dnav/pet/pet_pri_spt_s1_d.htm
- Faaij, A.P.C. 2003. Bioenergy in Europe: changing technology choices. *Energy Policy*, 34(3): 322–342.
- FAO. 1997. *FAO provisional outlook for global forest products consumption, production and trade to 2010*. Roma.
- FAO. 2000. *The energy and agriculture nexus*. Environment and Natural Resources Working Paper No. 4. Roma.
- FAO. 2004. *Unified bioenergy terminology*. Disponible en: www.fao.org/DOCREP/007/j4504E/j4504e00.htm#TopOfPage
- FAO. 2006a. *Impact of an increased biomass use on agricultural markets, prices and food security: a longer-term perspective*, por J. Schmidhuber. Preparado para el International Symposium of Notre Europe, París, 27-29 de noviembre de 2006. Disponible en: <http://www.fao.org/es/esd/BiomassNotreEurope.pdf>
- FAO. 2006b. *Ordenación responsable de los bosques plantados: directrices voluntarias*. Documento de trabajo sobre los bosques y árboles plantados FP37E. Roma.
- FAO. 2007a. Sitio de bioenergía, página inicial. Roma, Departamento de Gestión de Recursos Naturales y Medio Ambiente. Disponible en: http://www.fao.org/nr/ben/ben_es.htm
- FAO. 2007b. *Situación de los bosques del mundo*. Roma. Disponible en: www.fao.org/forestry/sofo
- FAO. 2007c. Base de datos FAOSTAT. Roma. Disponible en: faostat.fao.org
- Fargione, J., Hill, J., Tilman, D., Polasky, S. y Hawthorne, P. 2008. *Land Clearing and Biofuel Carbon Debt*, Scienceexpress. Disponible en: www.sciencexpress.org
- Fresco, L.O. 2006. *Biomass for food or fuel: Is there a dilemma?* Amsterdam, Países Bajos, Universidad de Amsterdam.
- Global Insight. 2007. *The biofuels boom: A multi-client study*. Waltham, Massachusetts, EE.UU.
- GRAIN. 2007. The new scramble for Africa. *Seedling*, Publicación especial de Agrofuels. Barcelona, España.
- Instituto de la Vigilancia Mundial. 2007. *Biofuels for transport: global potential and implications for sustainable energy and agriculture*. Londres, Reino Unido, Earthscan.
- Hillring, B. 1997. Price trends in the Swedish wood-fuel market. *Biomass Bioenergy*, 12(1): 41–51.
- Hooijer, A., Silvius, M., Wösten, H. y Page, S. 2006. *Assessment of CO₂ emissions from drained peatlands in South-east Asia*. Delft Hydraulics report Q3943. Delft, Países Bajos, Delft Hydraulics.
- IATP (Instituto de Política Agrícola y Comercial). 2007. *Patents: taken for granted in plans for a global biofuels market*. Minneapolis, Minnesota, EE.UU. Disponible en: www.iatp.org/iatp/publications.cfm?refid=100449
- IBDF (Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal). 1979. *Sumário da viabilidade econômica-financeira da produção de etanol à partir da madeira*. Brasília, Brasil.

- IEA (Agencia Internacional de Energía). 2003. *Background paper: coal industry advisory board meeting with IEA Governing Board*, 10 de diciembre. París, Francia. Disponible en: www.iea.org/textbase/papers/2003/ciab_demand.pdf
- IEA. 2004. *World Energy Outlook 2004*. París, Francia.
- IEA. 2006. *World Energy Outlook 2006*. París, Francia.
- IEA. 2007a. *Renewables in global energy supply*. París, Francia. Disponible en: www.iea.org/textbase/papers/2006/renewable_factsheet.pdf
- IEA. 2007b. *World Energy Outlook 2007*. París, Francia.
- IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático). 2007. *Climate change 2007 – the physical science basis*. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the IPCC. Cambridge, Reino Unido, Cambridge University Press. Disponible en: www.ipcc.ch/ipccreports/ar4-wg1.htm
- Karlsson, Å. y Gustavsson, L. 2003. External costs and taxes in heat supply systems. *Energy Policy*, 31: 1541–1560.
- Knoef, H. A. M. 2000. The UNDP/World Bank monitoring program on small scale biomass gasifiers (BTG's experience on tar measurements). *Biomass y Bioenergy*, 18(1): 39–54.
- Liu, Y. 2007 *Chinese biofuels expansion threatens ecological disaster*. Washington, DC, EE.UU., Worldwatch Institute. Disponible en: www.worldwatch.org/node/4959
- Lugo, A.E., Brown, S. y Chapman, J. 1988. An analytical review of production rates and stemwood biomass of tropical forest plantations. *Forest Ecology and Management*, 23(2–3): 179–200.
- Mabee, W.E. y Roy, D.N. 2001. Fuelwood – an overview. In *A compendium of plant and animal life-cycle and their impact on the environment*, Vol. 2, pp. 310–317. Calcuta, India, Srebhumi Publishing Company.
- Mabee, W.E. y Saddler, J.N. 2007. *Forests and energy in OECD countries*. Forests and Energy Working Paper No. 1. Roma, FAO. Disponible en: www.fao.org/forestry/energy
- NAS (Academia Nacional de Ciencias). 1980. *Firewood crops: shrub and tree species for energy production*. Washington, DC, EE.UU. Inédito.
- NRDC (Consejo para la Defensa de Recursos Naturales). 2006. *Ethanol: energy well spent – a survey of studies published since 1990*. Nueva York, EE.UU., NRDC and Climate Solutions. Disponible en: www.nrdc.org/air/transportation/ethanol/ethanol.pdf
- OIMT (Organización Internacional de las Maderas Tropicales). 2002. *ITTO guidelines for the restoration, management and rehabilitation of degraded and secondary tropical forests*. ITTO Policy Development Series No. 13. Yokohama, Japón.
- OIMT. 2005. *Increase in efficiency in conversion of tropical timber and utilization of residues from sustainable sources*. PD 61/99 rev. 4(I). Yokohama, Japón.
- OMC (Organización Mundial del Comercio). 2004. Estadísticas del comercio internacional. Ginebra, Suiza.
- OMS (Organización Mundial de la Salud) Europa. 2006. Health risks of particulate matter from long-range transboundary air pollution. Copenhagen, Dinamarca, Oficina Regional de la OMS para Europa. Disponible en: www.euro.who.int/document/E88189.pdf

- ONU-Energía. 2007. *Sustainable bioenergy: a framework for decision makers*. Disponible en: www.fao.org/docrep/010/a1094e/a1094e00.htm
- Perley, C. 2008. *The status and prospects for forestry as a source of bioenergy in Asia and the Pacific*. Bangkok, Tailandia, Oficina Regional de la FAO para Asia y el Pacífico.
- Peskett, L., Slater, R., Stevens, C. y Dufey, A. 2007. Biofuels, Agriculture and poverty reduction. *Natural Resource Perspectives 107*. Londres, Reino Unido, Instituto de Desarrollo de Ultramar. Disponible en: www.odi.org.uk/Publications/nrp/NRP107.pdf
- Prasad, B. 2007. *Role of Indian agricultural cooperatives in development for biofuels*. Presentado en el taller regional de la Red regional para el fomento de las cooperativas agrícolas (NEDAC) de la FAO: *Role of Agricultural Cooperatives in Bio-Fuel Development at Community-Level for Rural Food and Livelihood Security*, Bangkok, Tailandia, 4-7 de julio.
- Risø – National Laboratory for Sustainable Energy. 2003. *Risø energy report 2*. Roskilde, Dinamarca, Risø Technical University of Denmark.
- Rosegrant, M.W., Msangi, S., Sulser, T. y Valmonte-Santos, R. 2006. Biofuels and the global food balance. En P. Hazell y R.K. Pachauri, eds. *Bioenergy and agriculture: promises and challenges*. 2020 Focus No. 14. Washington, DC, EE.UU., Instituto Internacional de Investigaciones sobre Políticas Alimentarias (IIPA).
- Rosegrant, M.W., Ringler, C., Msangi, S., Cline, S.A. y Sulser, T.B. 2005. International model for policy analysis of agricultural commodities and trade (IMPACT-WATER): Model description. Washington, DC, EE.UU., IIPA.
- Searchinger, T., Heimlich, R., Houghton, R.A., Dong, F., Elobeid, A., Fabiosa J., Tokgoz, S., Hayes, D. y Yu, T.H. 2008. Use of U.S. croplands for biofuels increases greenhouse gases through emissions from land use change. *Science*, 319: 1238-1240.
- Spitzer, J. y Jungmeier, G. 2006. *Greenhouse gas emissions of bioenergy systems*. Presentado en la European Conference on Bioenergy Research, Helsinki, Finlandia, 19 y 20 de octubre.
- STCP Data Bank. 1983. Banco de datos STCP Engenharia de Projetos. Curitiba, Brasil.
- Steierer, F., Fischer-Ankern, A., Francœur, M., Wall, J. y Prins, K. 2007. *Wood energy in Europe and North America: a new estimate of volumes and flows*. Ginebra, Suiza, CEPE/FAO, 6 de febrero. Disponible en: www.unece.org/trade/timber/docs/stats-sessions/stats-29/english/report-conclusions-2007-03.pdf
- Tomaselli, I. 1982. Liquidification of wood. En W.R. Smith, ed. *Energy from forest biomass*. Proceedings of the XVII IUFRO World Congress Energy Group. Nueva York, EE.UU., Academic Press.
- Tomaselli, I. 2007. *Forests and energy in developing countries*. Roma, FAO.
- Trømborg, E., Buongiorno, J. y Solberg, B. 2000. The global timber market: implications of changes in economic growth, timber supply, and technological trends. *Forest Policy and Economics*, 1(1): 53–69.
- Unión Europea. 2007. *Promoting biofuels as credible alternatives to oil in transport*. Comunicado de prensa, 10 de enero. Bruselas, Bélgica. Disponible en: europa.eu/rapid/pressReleasesAction.do?reference=MEMO/07/5

- Wolf, M.** 2007. Biofuels: a tale of special interests and subsidies. *Financial Times*, 30 de octubre. Disponible en: www.ft.com/cms/s/0/40a71f96-8702-11dc-a3ff-0000779fd2ac.html?nclick_check=1
- Wu, C. Z., Huang, H., Zheng, S. P. y Yin, X. L.** 2002. An economic analysis of biomass gasification and power generation in China. *Bioresource Technology*, 83(1): 65-70.

Bosques y energía

Cuestiones clave

La subida vertiginosa del consumo y los precios de los combustibles, el aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero y las preocupaciones que despierta la dependencia de las importaciones de productos energéticos son los factores que están impulsando la búsqueda de opciones alternativas a los combustibles fósiles para la generación de energía. Los biocombustibles constituyen en la actualidad la principal fuente de energía renovable producida en el mundo. Como biomasa, la madera proporciona unos de los niveles más altos de eficiencia energética y de carbono. En esta publicación se indaga la relación entre bosques y energía. Se estudia la contribución actual y futura de la madera a la producción de bioenergía, así como las consecuencias para los bosques del desarrollo de los cultivos destinados a la producción de biocombustibles líquidos. Se presenta primeramente una visión de conjunto del suministro y demanda mundiales de energía y sus proyecciones hasta el año 2030. La contribución de la dendroenergía se analiza seguidamente en el contexto de una discusión general sobre diversos cultivos bioenergéticos y su uso para la producción de biocombustibles de primera y segunda generación. Se evalúan los beneficios que reporta el desarrollo de diferentes fuentes de bioenergía y los riesgos que entraña la conversión de las tierras. También se examinan las fuerzas de mercado y las innovaciones tecnológicas que se están llevando a cabo para producir dendroenergía. Se ofrecen opciones de política y recomendaciones para el desarrollo de la bioenergía, y se hace hincapié en la importancia de una planificación integrada y el control del aprovechamiento de la tierra, y la transferencia a los países en desarrollo de tecnologías avanzadas para la producción de dendroenergía. Esta publicación será de utilidad tanto para el lector especializado como para el público en general deseoso de profundizar en la función de los bosques en la producción de energía.

