

## 5. Efectos de los biocombustibles en el medio ambiente

A pesar de que la producción de biocombustibles sigue siendo reducida en el contexto de la demanda total de energía, sí resulta significativa en lo que respecta a los niveles actuales de producción agrícola. Deben reconocerse las posibles implicaciones medioambientales y sociales de su continuo crecimiento. La reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero es, por ejemplo, uno de los objetivos explícitos de algunas medidas reglamentarias de apoyo a la producción de biocombustibles. La producción agrícola provoca en general ciertos efectos negativos inesperados en la tierra, el agua y la biodiversidad que resultan especialmente preocupantes en relación con los biocombustibles. La magnitud de estos efectos depende de la manera en que se producen y se procesan las materias primas para biocombustibles, de la escala de la producción y, especialmente, del modo en que influyen en el cambio del uso de la tierra la intensificación y el comercio internacional. En este capítulo se examinan las repercusiones de los biocombustibles sobre el medio ambiente; las repercusiones sociales se considerarán en el capítulo siguiente.

### ¿Ayudarán los biocombustibles a mitigar el cambio climático?<sup>10</sup>

Hasta hace poco tiempo, muchas autoridades legisladoras asumían que la sustitución de los combustibles fósiles por combustibles obtenidos a partir de biomasa tendría unos efectos importantes y positivos sobre el cambio climático mediante la generación de unos niveles menores de gases de efecto invernadero, contribuidores al calentamiento global. Los biocultivos pueden reducir o compensar las emisiones de gases de efecto

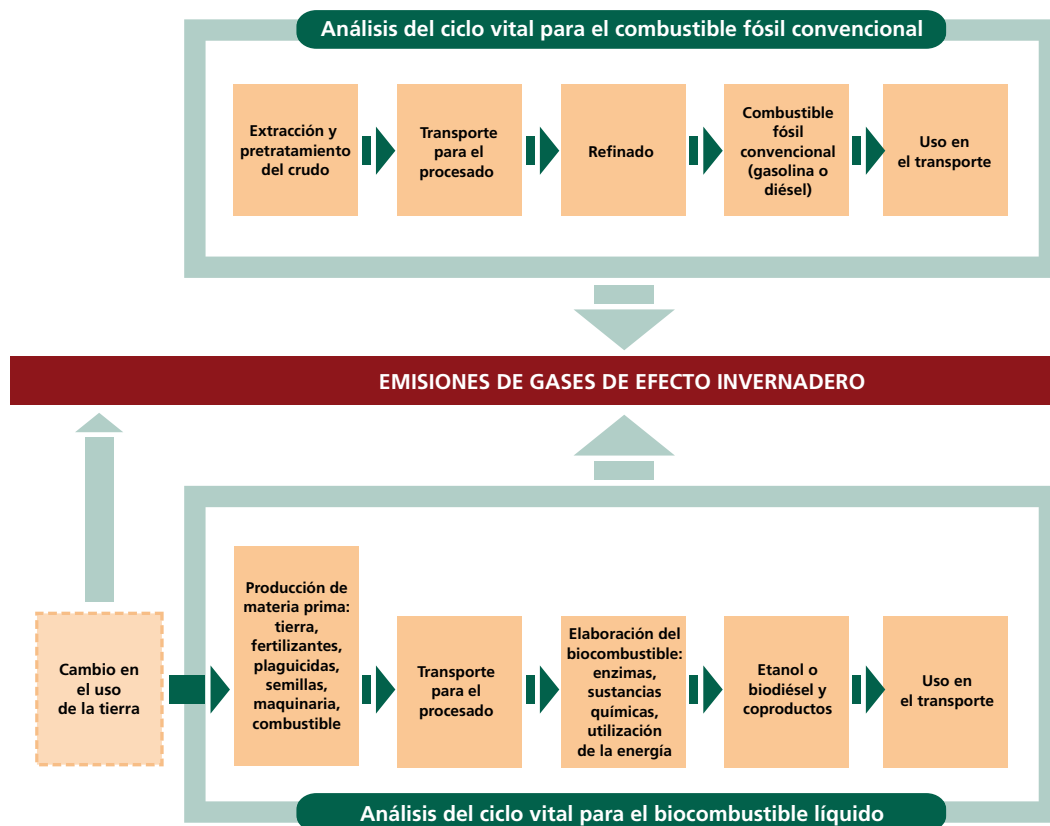
invernadero a través de la eliminación directa del dióxido de carbono del aire a medida que crecen y lo almacenan en la biomasa y el suelo. Además de los biocombustibles, muchos de estos cultivos generan productos complementarios como proteínas para la alimentación animal, y ahorran así la energía que se emplearía para elaborar piensos de otra manera.

A pesar de estos posibles beneficios, los estudios científicos han mostrado que las compensaciones de gases de efecto invernadero varían en gran medida de acuerdo con cada biocombustible en comparación con el petróleo. En función de los métodos empleados para producir la materia prima y elaborar el combustible, algunos cultivos pueden generar aún más gases de efecto invernadero que los combustibles fósiles. El óxido nitroso, por ejemplo, un gas de efecto invernadero con un potencial de calentamiento global unas 300 veces mayor que el dióxido de carbono, es liberado por fertilizantes nitrogenados. La emisión de gases de efecto invernadero tiene lugar también en otras fases de la producción de biocultivos y biocombustibles tales como la producción de fertilizantes, plaguicidas y combustible empleados en la agricultura, la elaboración de productos químicos, el transporte, la distribución y hasta el uso final.

Los gases de efecto invernadero también pueden emitirse mediante cambios en el uso de la tierra, directos o indirectos, causados por el aumento de la producción de biocombustibles; por ejemplo, el carbono almacenado en los bosques o en los pastizales se libera del suelo durante la conversión de la tierra para la producción de cultivos. Mientras que el maíz destinado a la producción de etanol puede generar un ahorro de gases de efecto invernadero de unas 1,8 toneladas de dióxido de carbono por hectárea al año y el pasto varilla, un posible cultivo de segunda generación, puede ahorrar unas 8,6 toneladas por hectárea al año, la conversión de pastizales

<sup>10</sup> El análisis realizado en esta sección se basa parcialmente en FAO (2008d).

FIGURA 22  
Análisis del ciclo vital para los balances de gases de efecto invernadero



Fuente: FAO.

para producir estos cultivos puede emitir unas 300 toneladas por hectárea y la conversión de tierras forestales puede emitir entre 600 y 1 000 toneladas por hectárea (Fargione *et al.*, 2008; The Royal Society, 2008; Searchinger, 2008).

El análisis del ciclo vital es un instrumento analítico empleado para calcular el balance de los gases de efecto invernadero, a saber, el resultado de la comparación entre todas las emisiones de gases de efecto invernadero en todas las fases de producción y de uso de un biocombustible y todos los gases de efecto invernadero emitidos en la producción y uso de una cantidad equivalente de energía del combustible fósil correspondiente. Este método, muy utilizado aunque complejo, analiza sistemáticamente cada componente de la cadena de valor para estimar las emisiones de gases de efecto invernadero (Figura 22).

El punto de partida a la hora de calcular el balance de los gases de efecto invernadero es un conjunto bien definido de límites para un sistema de un biocombustible específico que se compara con un sistema de referencia «convencional» adecuado, que es en muchos casos el petróleo. Ciertas materias primas para la producción de biocombustibles también generan productos complementarios, como orujos o piensos para el ganado. Estos productos se consideran emisiones «evitadas» de gases de efecto invernadero y se evalúan comparándolos con productos independientes similares o por asignación (por ejemplo, por contenido energético o por precio de mercado). Los balances de gases de efecto invernadero varían en gran medida en función del cultivo y de la ubicación y dependen de los métodos de producción de materias primas, las tecnologías de

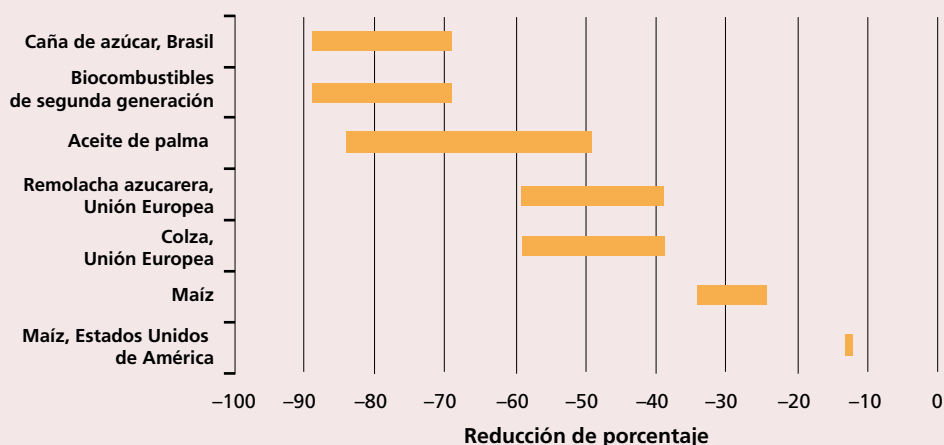
conversión y el uso. Insumos como los fertilizantes nitrogenados y el modo de generación de energía (a partir de carbón o aceite o nuclear) empleados para convertir las materias primas en biocombustibles podrían resultar en múltiples niveles de emisiones de gases de efecto invernadero y variar de una región a otra.

La mayoría de los análisis del ciclo vital de los biocombustibles hasta la fecha se han llevado a cabo en cereales y semillas oleaginosas en la UE y en los Estados Unidos de América y en el etanol obtenido a partir de la caña de azúcar en Brasil. Un número limitado de estudios se han centrado en el aceite vegetal, el biodiésel obtenido a partir de aceite de palma, yuca y ricino de América y el biometano obtenido a partir de biogás. Dada la gran variedad de biocombustibles, materias primas y tecnologías de producción y conversión, sería razonable esperar un número similar de resultados en términos de reducción de emisiones, lo que ocurre efectivamente. La mayoría de los estudios han puesto de manifiesto que la producción de biocombustibles de primera generación a partir de materias primas actuales resulta en una reducción de las emisiones del orden del 20-60 por ciento en comparación con los combustibles fósiles, siempre que se empleen los sistemas más eficientes y que se excluya el carbono originado por el cambio del uso

de la tierra. En la Figura 23 se muestran los niveles estimados de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero para diversos cultivos y ubicaciones, excluyendo los efectos del cambio del uso de la tierra. Brasil, un país que cuenta con una extensa experiencia en la producción de etanol a partir de la caña de azúcar, presenta unas reducciones incluso mayores. Aunque los biocombustibles de segunda generación siguen resultando insignificantes a nivel comercial, suelen ofrecer reducciones del orden del 70-90 por ciento en comparación con el diésel fósil y el petróleo, sin contabilizar el carbono emitido debido al cambio del uso de la tierra.

Diversos estudios han mostrado que las diferencias más marcadas en los resultados son debidas a los métodos de asignación elegidos para los productos complementarios, los supuestos sobre las emisiones de óxido nitroso y los cambios de las emisiones del carbono derivados del uso de la tierra. En la actualidad, se emplean diversos métodos para realizar análisis del ciclo vital y, como se indicó anteriormente, algunos de ellos no consideran el complejo tema del cambio del uso de la tierra. Es necesario que los parámetros cuantificados y la calidad de los datos empleados en la evaluación cumplan un conjunto de normas. La Asociación Mundial de la Bioenergía, entre otros, ya está realizando esfuerzos

**FIGURA 23**  
Reducciones en las emisiones de gases de efecto invernadero de determinados biocombustibles en comparación con los combustibles fósiles



Nota: No comprende las repercusiones del cambio en el uso de la tierra.

Fuentes: AIE, 2006, y FAO, 2008d.

## RECUADRO 9

## La Asociación Mundial de la Bioenergía

La Asociación Mundial de la Bioenergía (GBEP), presentada en el 14º período de sesiones de la Comisión de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo Sostenible en mayo de 2006, es una iniciativa internacional creada para aplicar los compromisos adoptados por los países del G8 + 5<sup>1</sup> en el Plan de Acción de Gleneagles de 2005. La Asociación promueve el diálogo sobre políticas de alto nivel relativas a la bioenergía; apoya el desarrollo de mercados y la formulación de políticas bioenergéticas nacionales y regionales; favorece los usos eficientes y sostenibles de la biomasa; desarrolla actividades de proyectos en el ámbito de la bioenergía; fomenta el intercambio bilateral y multilateral de información, capacidades y tecnología; y facilita la integración de la bioenergía en mercados energéticos mediante la eliminación de barreras específicas en la cadena de producción.

La Asociación está presidida por Italia, y la FAO es Miembro y alberga la Secretaría de la GBEP. La Asociación coopera, entre otros, con la Plataforma de Bioenergía Internacional de la FAO, el Foro Internacional de Biocombustibles, la

Alianza Internacional para la Economía del Hidrógeno, el Programa Mediterráneo de Energías Renovables, la Alianza «Metano a los Mercados», la Red de Políticas de Energía Renovable para el siglo XXI, la Alianza para la Energía Renovable y la Eficiencia Energética, la Iniciativa sobre Biocombustibles de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo (UNCTAD) y los Acuerdos de Aplicación en materia de Bioenergía y otros trabajos relacionados de la Agencia Internacional de Energía. Además, la Asociación ha constituido un grupo de acción para trabajar en la armonización de metodologías para el análisis del ciclo vital y el desarrollo de una red metodológica para este propósito. Todas estas iniciativas ofrecen métodos importantes para ayudar tanto a países en desarrollo como países desarrollados en la construcción de marcos normativos nacionales para la bioenergía.

<sup>1</sup> El G8 + 5 incluye a los países del G8 (Alemania, Canadá, los Estados Unidos de América, Francia, Italia, Japón, el Reino Unido y la Federación de Rusia), más las cinco economías emergentes principales (Brasil, China, India, México y Sudáfrica).

para crear un método armonizado de evaluación de los balances de gases de efecto invernadero. Igualmente, existe la necesidad de armonizar los métodos de evaluación de los efectos medioambientales y sociales más amplios de los biocultivos para garantizar que los resultados sean transparentes y coherentes en múltiples sistemas.

A la hora de examinar los balances de gases de efecto invernadero, los datos de las emisiones provenientes del cambio del uso de la tierra son cruciales para que los resultados sean completos y exactos. Tales emisiones tienen lugar en las primeras fases del ciclo de producción de biocombustibles y, en función de su magnitud, pueden llegar a requerir muchos años para ser compensadas por los ahorros de emisiones conseguidos en fases subsiguientes de producción y uso. Si se incluyen los cambios de uso de la tierra

en el análisis, las emisiones de gases de invernadero para algunas materias primas y sistemas de producción de biocombustibles podrían ser mayores incluso que las de los combustibles fósiles. Fargione *et al.* (2008) estimaron que la conversión de selvas lluviosas, turberas, sabanas y pastizales para producir etanol y biodiésel en Brasil, Indonesia, Malasia o los Estados Unidos de América libera al menos 17 veces más dióxido de carbono que lo que estos biocombustibles ahorran anualmente al sustituir a los combustibles fósiles. Estos autores consideran que serán necesarios 48 años para compensar esta «deuda de carbono» si la tierra perteneciente al Programa de conservación de reservas se volviera a destinar a la producción de etanol a partir de maíz en los Estados Unidos de América, más de 300 años si la selva lluviosa amazónica se destinara a

RECUADRO 10

**Los biocombustibles y la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático**

Aunque no existen acuerdos internacionales que abordan específicamente el ámbito de la bioenergía, la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) orienta a los Estados miembros para «tener en cuenta, en la medida de lo posible, las consideraciones relativas al cambio climático en sus políticas y medidas sociales, económicas y ambientales pertinentes y emplear métodos apropiados ... con miras a reducir al mínimo los efectos adversos en la economía, la salud pública y la calidad del medio ambiente, de los proyectos o medidas emprendidos por las Partes para mitigar el cambio climático o adaptarse a él» (CMNUCC, 1992, Artículo 4). El Protocolo de Kyoto, que expira en 2012, proporciona un marco sólido y moderno para promover tecnologías limpias, como por ejemplo las relativas a la energía renovable.

El Mecanismo para un Desarrollo Limpio (MDL), como uno de los mecanismos de flexibilidad dentro del Protocolo de Kyoto, fue diseñado para ayudar a las Partes no incluidas en el Anexo 1 a alcanzar

un desarrollo sostenible y contribuir al objetivo último de la Convención, y apoyar a las Partes incluidas en el Anexo 1 en el cumplimiento de sus compromisos de reducción de emisiones y limitación de las emisiones cuantificadas. Desde el comienzo del MDL en 2005, los proyectos energético-industriales han tenido un carácter predominante entre todos los tipos de proyectos registrados en el MDL, incluyendo los destinados a la bioenergía. Dentro del campo de la bioenergía, hay disponibles diversas metodologías para proyectos que utilizan la biomasa para generar energía, aunque existe únicamente un número limitado de metodologías aceptadas para los biocombustibles. Ya hay disponible una metodología de biocombustibles basada en el aceite usado y se está desarrollando una metodología para la producción de biocombustibles a partir de biomasa cultivada.

*Fuente: FAO, basado en la contribución de la Secretaría de la CMNUCC.*

la producción de biodiésel a partir de soja, y más de 400 años si las selvas lluviosas y turberas tropicales de Indonesia o Malasia se destinaran a la producción de biodiésel a partir de aceite de palma.

Righelato y Spracklen (2007) realizaron un cálculo aproximado de las emisiones de carbono evitadas por el cultivo de diversas materias primas para la producción de etanol y biodiésel en tierras ya cultivadas (es decir, caña de azúcar, maíz, trigo y azúcar de remolacha para producir etanol y colza y biomasa de la madera para obtener diésel). Constataron que, en cada caso, se captaría más carbono en un período de 30 años mediante la conversión de la tierra de cultivo en bosques. Estos autores exponen que si el objetivo de las políticas que apoyan el biodiésel es mitigar el calentamiento global, la eficiencia del combustible y la

conservación y restauración de los bosques son alternativas más eficaces.

Entre las opciones existentes para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero que se están debatiendo en la actualidad, los biocombustibles son una alternativa importante pero, en muchos casos, la mejora de la eficiencia y la conservación energéticas, el aumento de la captura de carbono mediante la reforestación, los cambios en las prácticas agrícolas o el empleo de otras formas de energía renovable pueden ser medidas más rentables. En los Estados Unidos de América, por ejemplo, la mejora de la eficiencia media de combustible por vehículo en una milla por galón (1,61 km por 3,79 l) podría reducir las emisiones de gases de efecto invernadero tanto como la producción total de etanol a partir de maíz en este país (Tollefson, 2008). Doornbosch y Steenblik

(2007) calcularon que la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero mediante los biocombustibles costaría más de 500 USD en subsidios por tonelada de dióxido de carbono en los Estados Unidos de América (etanol derivado del maíz) y el costo podría ascender a 4 520 USD en la UE (etanol derivado del azúcar de remolacha), un valor mucho más elevado que el precio de mercado de las contrapartidas equivalentes de dióxido de carbono. Enkvist, Naucler y Rosander (2007) informan de que unas medidas relativamente simples para reducir el consumo de energía, como un mejor aislamiento de los nuevos edificios o una mayor eficiencia de los sistemas de calefacción y de aire acondicionado, tienen unos costos de reducción del dióxido de carbono de menos de 40 EUR por tonelada.

Tanto la dimensión científica como la normativa del desarrollo de la bioenergía sostenible están evolucionando rápidamente (casi semanalmente). Un entendimiento extensivo de las cuestiones importantes, incluido el cambio del uso de la tierra, y una evaluación adecuada de los balances de gases de efecto invernadero son fundamentales para garantizar que los biocultivos tengan efectos positivos y sostenibles en los esfuerzos realizados para la protección del clima. La complejidad de los factores relativos al cambio del uso de la tierra han provocado su omisión en la mayor parte de los análisis del ciclo vital bioenergéticos, pero continúa siendo una pieza fundamental que debe ser tenida en cuenta por los gobiernos a la hora de formular las políticas nacionales sobre bioenergía.

Además de los efectos de la producción de materias primas en las emisiones de gases de invernadero, la elaboración y la distribución de biocombustibles pueden tener otras repercusiones medioambientales. Al igual que ocurre en el sector del hidrocarburo, el procesamiento de las materias primas para producir biocombustibles puede afectar a la calidad del aire local mediante la emisión de monóxido de carbono, partículas, óxido de nitrógeno, sulfatos y compuestos orgánicos volátiles originados por los procesos industriales (Dufey, 2006). No obstante, en la medida en que los biocombustibles pueden reemplazar la biomasa tradicional como la leña y el carbón vegetal, es posible que puedan también ocasionar importantes mejoras en la salud humana, especialmente

de mujeres y niños, al reducir las enfermedades respiratorias y las defunciones causadas por la contaminación del aire de lugares cerrados.

En algunos casos, las normas nacionales requieren que los importadores certifiquen el cultivo sostenible de la tierra agrícola, la protección de los hábitats naturales y un nivel mínimo de ahorro de dióxido de carbono en lo que respecta a los biocombustibles. Algunos países y organizaciones regionales como los Estados Unidos de América y la UE han sugerido que los balances netos de los gases de efecto invernadero a partir de biocombustibles deberían ser del orden del 35-40 por ciento inferiores que en el caso del petróleo. Un análisis detallado de estas cuestiones resulta importante para todas las partes involucradas, especialmente para los exportadores de biocultivos y biocombustibles, como base para tomar decisiones relativas a las inversiones y a la producción y garantizar las posibilidades de comercialización de sus productos.

### **Cambio del uso de la tierra e intensificación**

En la sección precedente se señaló la influencia del cambio del uso de la tierra en los balances de gases de efecto invernadero de la producción de biocombustibles. A la hora de examinar los posibles efectos de la creciente producción de biocombustibles en términos de emisiones, es necesario un entendimiento más profundo de la medida en que se puede conseguir un aumento de la producción mediante una mejor productividad de la tierra o a través de la ampliación del área cultivada; en este último caso, la categoría de la tierra también resulta importante. Las técnicas de producción agrícola contribuyen asimismo al cálculo de los balances de gases de efecto invernadero. Ambos factores determinarán también otros efectos sobre el medio ambiente en relación con los suelos, el agua y la biodiversidad.

A lo largo de las cinco últimas décadas, la mayor parte del incremento de la producción mundial de productos agrícolas (el 80 por ciento aproximadamente) ha sido resultado del aumento del rendimiento y el 20 por ciento restante ha sido consecuencia de la

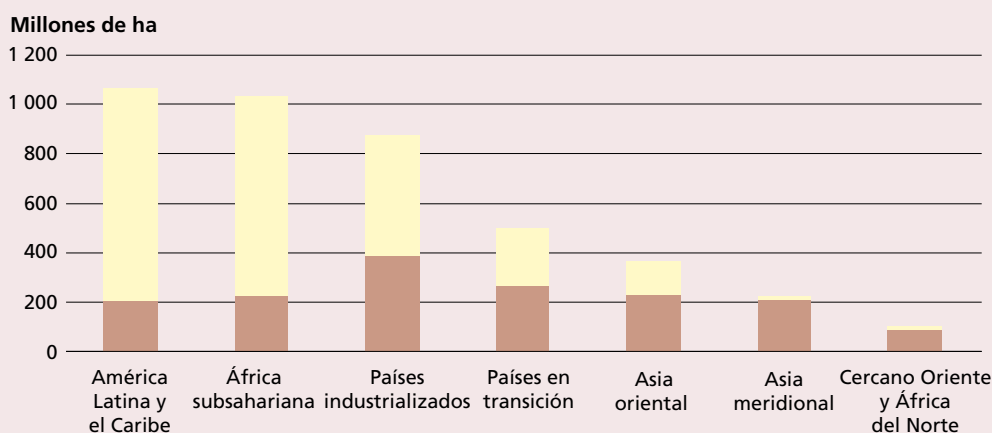
ampliación del área cultivada y de una mayor frecuencia de cultivo (FAO, 2003; Hazell y Wood, 2008). La tasa de crecimiento de la demanda de biocombustibles en los últimos años supera con creces los valores históricos de crecimiento de la demanda de productos agrícolas y de aumento del rendimiento de los cultivos. Esto sugiere que el cambio del uso de la tierra y las repercusiones medioambientales conexas podrían convertirse en un problema más importante con respecto a las tecnologías tanto de primera como de segunda generación. A corto plazo, esta demanda podría satisfacerse mediante el aumento del área destinada a los cultivos para biocombustibles mientras que, a medio y largo plazo, podrían empezar a dominar la mejora de las variedades de cultivos para biocombustibles, los cambios en las prácticas agrarias y las nuevas tecnologías tales como la conversión celulósica. Unas importantes mejoras del rendimiento y unos grandes avances tecnológicos serán fundamentales para la producción sostenible de materias primas para biocombustibles, con el fin de reducir al mínimo el cambio del uso de la tierra en áreas que ya están siendo cultivadas y la conversión de tierras que en la actualidad no se emplean para el cultivo, como los pastizales y los bosques.

**Ampliación de las áreas de cultivo**

En la actualidad, de los 13 500 millones de hectáreas de superficie total de tierras del mundo, unos 8 300 millones son pastizales o bosques y 1 600 millones corresponden a tierras cultivadas (Fischer, 2008). Se considera que unos 2 000 millones de hectáreas puedan ser aptas para la producción de cultivos de secano, tal y como se muestra en la Figura 24, aunque esta cifra debe emplearse con una especial precaución. Una gran parte de las tierras de bosques, humedales y otros usos proporciona unos valiosos servicios medioambientales tales como la captura de carbono, la filtración de agua y la preservación de la biodiversidad; por ello, la ampliación de la producción de cultivos a estas áreas podría ser perjudicial para el medio ambiente.

Una vez excluidos los bosques, las áreas protegidas y las tierras necesarias para satisfacer la creciente demanda de ganado y cultivos para la alimentación, la cifra aproximada de las tierras potencialmente disponibles para aumentar la producción de cultivos estriba entre 250 y 800 millones de hectáreas, la mayoría de las cuales se encuentran en las zonas tropicales de América Latina y en África (Fischer, 2008).

**FIGURA 24**  
**Potencial para la expansión de la tierra cultivable**



■ Tierra cultivable en uso, 1997-99    ■ Tierra adicional con potencial para la producción de cultivos de secano

Fuente: FAO, 2003.

Una parte de estas tierras podría emplearse directamente en la producción de materias primas para la elaboración de biocombustibles, pero el incremento de la producción de biocombustibles en tierras ya cultivadas podría desencadenar la expansión de la producción de cultivos para otros usos en otros lugares. El aumento de la producción de maíz para etanol en el centro de los Estados Unidos de América, por ejemplo, ha desplazado a la soja en algunas tierras ya cultivadas lo que, a su vez, podría provocar un aumento de la producción de soja y de la conversión de pastizales o bosques en otras ubicaciones. Es necesario considerar, por lo tanto, los cambios directos e indirectos del uso de la tierra causados por el aumento de la producción de biocombustibles para comprender en profundidad los posibles efectos medioambientales.

En 2004, aproximadamente unos 14 millones de hectáreas en todo el mundo se emplearon para producir biocombustibles y sus productos derivados, lo que representa el 1 por ciento de las tierras cultivadas (AIE, 2006, pág. 413)<sup>11</sup>. En la actualidad, la caña de azúcar se cultiva en 5,6 millones de hectáreas en Brasil, y el 54 por ciento de los cultivos (unos 3 millones de hectáreas) se emplean en la producción de etanol (Naylor *et al.*, 2007). Los agricultores de los Estados Unidos de América cosecharon 30 millones de hectáreas de maíz en 2004, de los cuales el 11 por ciento, unos 3,3 millones de hectáreas, se emplearon para producir etanol (Searchinger *et al.*, 2008). En 2007, el área con plantaciones de maíz en este país aumentó en un 19 por ciento (Naylor *et al.*, 2007; véase también Westcott, 2007, pág. 8). Mientras que en los Estados Unidos de América el área destinada a la soja ha disminuido en un 15 por ciento, en Brasil se espera que se incremente en un 6 a 7 por ciento hasta los 43 millones de hectáreas (FAO, 2007c).

Como ya se hizo notar en el Capítulo 4, la AIE prevé que las tierras empleadas para la producción de biocombustibles

y de productos derivados de ellos se tripliquen o cuadrupliquen, en función de las políticas empleadas, a nivel mundial en las próximas décadas y que ocurra más rápidamente en Europa y América del Norte. Las proyecciones de la OCDE-FAO (2008) sugieren que estas tierras serán el resultado de un cambio mundial al cultivo de cereales en la próxima década. Las tierras adicionales necesarias se buscarán en las tierras con cultivos diferentes a los cereales en Australia, Canadá y los Estados Unidos de América, las tierras en barbecho en la UE o en el Programa de conservación de reservas en los Estados Unidos de América y las tierras nuevas y sin cultivar en la actualidad, especialmente en América Latina. El cultivo de determinadas tierras no ha resultado rentable en el pasado, pero podría comenzar a serlo a medida que aumentan los precios de los productos, y se esperaría que la tierra económicamente viable cambie con el incremento de la demanda de biocombustibles y sus materias primas (Nelson y Robertson, 2008). De manera ilustrativa, en países como Kazajstán, la Federación de Rusia y Ucrania se abandonó la producción de cultivos, principalmente cereales, en 23 millones de hectáreas tras la separación de la antigua Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas y, de ellas, 13 millones se podrían haber destinado a la producción de nuevo sin un costo medioambiental significativo si los precios y los márgenes de beneficio de los cereales permanecieran elevados y se realizaran las inversiones necesarias en manipulación, almacenamiento e infraestructuras para el transporte (FAO, 2008c).

Se prevé que el área de cultivo de caña de azúcar en Brasil se multiplique prácticamente por dos y ascienda así a los 10 millones de hectáreas durante la próxima década; junto con la expansión del área destinada a la soja en este país, ello podría desplazar los pastos para el ganado y otros cultivos e incrementar así de manera indirecta la presión sobre las tierras sin cultivar (Naylor *et al.*, 2007). China está «comprometida a evitar la vuelta a la producción de cultivo en hileras» de tierras incluidas en el programa «Grano por verde», pero ello podría incrementar la presión sobre los recursos de otros países como Camboya y la República Democrática Popular Lao (Naylor *et al.*, 2007).

<sup>11</sup> La mayoría de las materias primas para la producción de biocombustibles de primera generación, como el maíz, la caña de azúcar, la colza y el aceite de palma, no se pueden distinguir por su uso final en la fase de cultivo, por lo que para determinar el área por materia prima se emplean datos de producción de biocombustible.



La posible importancia del cambio indirecto del uso de la tierra causado por los biocombustibles se ilustra en un reciente análisis de Searchinger *et al.* (2008). Estos autores prevén que el área de cultivo de maíz dedicada a la producción de etanol en los Estados Unidos de América podría aumentar hasta los 12,8 millones de hectáreas o más hasta 2016, en función de las condiciones normativas y de mercado. Las reducciones conexas en el área destinada a la soja, el trigo y otros cultivos podrían provocar el incremento de los precios y la disminución de la producción en otros países. Ello podría conllevar el comienzo del cultivo de unos 10,8 millones de hectáreas de tierras en todo el mundo, incluida la ampliación de las tierras de cultivo en 2,8 millones de hectáreas en Brasil (soja en su mayor parte) y en 2,2 millones de hectáreas en China e India (maíz y trigo en su mayoría). Si la expansión proyectada de las tierras de cultivo sigue las pautas observadas en la década de 1990, provendría principalmente de bosques de Europa, América Latina, Asia sudoriental y el África subsahariana y de pastizales del resto del mundo. Resulta fundamental en este escenario la suposición de que el incremento de los precios no acelerará el crecimiento del rendimiento, al menos a corto plazo.

Otros estudios inciden en los posibles cambios indirectos del uso de la tierra resultantes de las políticas sobre biocombustibles (Birur, Hertel y Tyner, 2007). El cumplimiento de los mandatos y los objetivos actuales sobre biocombustibles en la UE y los Estados Unidos de América aumentaría significativamente el porcentaje de producción nacional de materias primas destinadas a los biocombustibles, a la vez que se reducen las exportaciones de productos y aumenta la demanda de importaciones. Algunas consecuencias de ello serían la ampliación del área destinada a los cereales secundarios en Canadá y en los Estados Unidos de América en un 11 a 12 por ciento hasta 2010 y del área destinada a las semillas oleaginosas en un 12 a 21 por ciento en Brasil, Canadá y la UE. Se estima que los precios de la tierra en Brasil se duplicarán como resultado del aumento de la demanda de cereales, semillas oleaginosas y caña de azúcar, lo que sugiere que los mandatos sobre biocombustibles de la UE y los Estados Unidos de América podrían

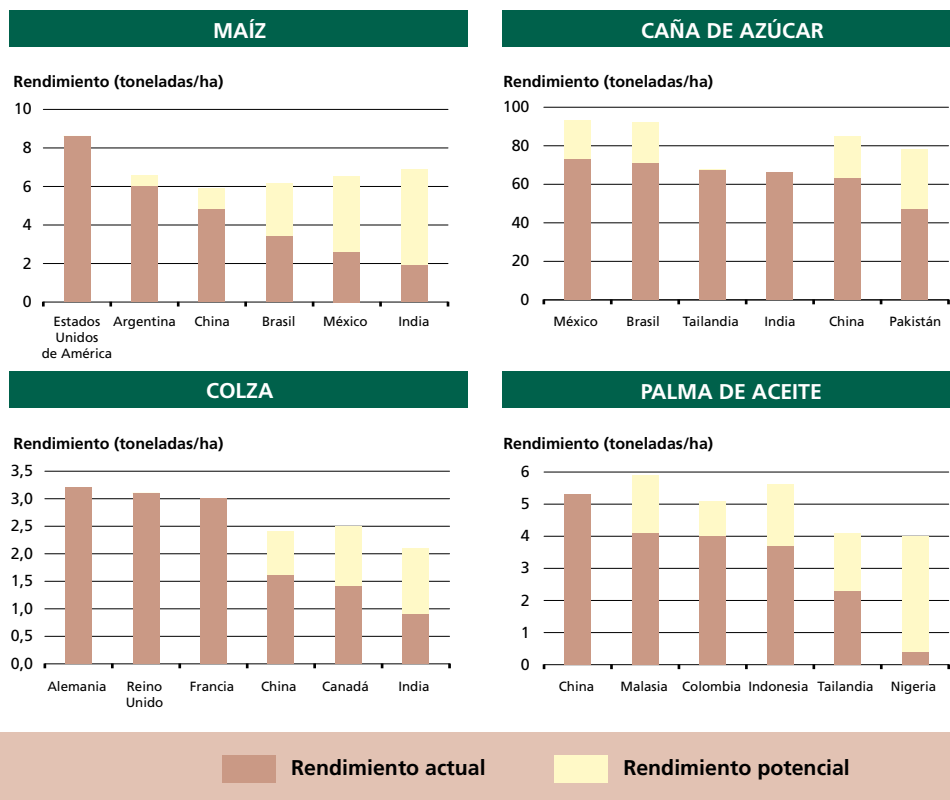
presionar considerablemente los ecosistemas de otras partes del mundo tales como la selva lluviosa amazónica. Banse *et al.* (2008) prevén igualmente un aumento importante del uso de la tierra agrícola, principalmente en África y América Latina, resultante de la puesta en práctica de políticas sobre la mezcla obligatoria con biocombustibles en Canadá, la UE, Japón, Sudáfrica y los Estados Unidos de América.

### Intensificación

A pesar de que es probable que la expansión de la producción de materias primas para biocombustibles desempeñe un papel fundamental a la hora de satisfacer el aumento de la demanda de biocombustibles en los próximos años, la intensificación del uso de la tierra mediante unas tecnologías y unas prácticas de gestión mejoradas tendrá que complementar esta opción, especialmente si se desea que la producción se mantenga a largo plazo. El incremento del rendimiento de los cultivos ha sido siempre más importante en el Asia densamente poblada que en el África subsahariana y América Latina, y lo ha sido en mayor medida en el caso del arroz y el trigo que en el del maíz. Las inversiones públicas y privadas a gran escala en investigación para mejorar los materiales genéticos, el uso de los insumos y del agua y las prácticas agrarias han desempeñado un papel crucial a la hora de alcanzar estas mejoras del rendimiento (Hazell y Wood, 2008; Cassman *et al.*, 2005).

A pesar de las importantes mejoras en el rendimiento de los cultivos a nivel mundial y en la mayoría de las regiones, en el África subsahariana el rendimiento se ha quedado retrasado. Los rendimientos actuales siguen estando por debajo de sus posibilidades en la mayor parte de las regiones, tal y como refleja la Figura 25, lo que sugiere que aún existe un ámbito considerable para aumentar la producción en las tierras cultivadas existentes. Evenson y Gollin (2003) documentaron un retraso importante en la adopción de variedades de cultivo modernas de alto rendimiento, especialmente en África. África tampoco ha podido seguir el paso en lo que se refiere al uso de otras tecnologías que mejoran el rendimiento, como son la gestión integrada de nutrientes y plagas, el regadío y la labranza de conservación.

**FIGURA 25**  
**Potencial de incremento del rendimiento para determinados cultivos**  
**materia prima de los biocombustibles**



*Nota:* En algunos países los rendimientos actuales son superiores a los potenciales como resultado del riego, las cosechas múltiples, la utilización de insumos y diferentes prácticas de producción aplicada.

*Fuente:* FAO.

Al igual que el aumento de la demanda de biocombustibles induce cambios directos e indirectos en el uso de la tierra, puede preverse también que provocará cambios en el rendimiento tanto directamente en la producción de materias primas para biocombustibles como indirectamente en la producción de otros cultivos, siempre que se realicen las inversiones adecuadas para mejorar la infraestructura, la tecnología y el acceso a la información, a los conocimientos y a los mercados. Diversos estudios analíticos están comenzando a examinar los cambios en el uso de la tierra que se pueden esperar de un aumento de la demanda de biocombustibles, pero en la actualidad se dispone de escasos datos empíricos en los que se puedan basar las predicciones sobre cómo se verán afectados los rendimientos, directa o indirectamente, y cuán rápido. En

uno de los estudios, los expertos sobre etanol de Brasil creen que, incluso sin mejoras genéticas en la caña de azúcar, se podría conseguir un aumento del rendimiento del orden del 20 por ciento durante los próximos diez años mediante tan sólo la mejora de la gestión de la cadena de producción (Squizato, 2008).

Algunos de los cultivos empleados actualmente como materia prima en la producción de biocombustibles líquidos requieren una tierra agrícola de gran calidad e importantes insumos en términos de fertilizantes, plaguicidas y agua para generar rendimientos económicamente viables. El grado de competitividad por los recursos entre la producción de cultivos para energía y la producción de alimentos y forraje dependerá, entre otros factores, del progreso del rendimiento de los cultivos, la eficiencia

de los piensos pecuarios y las tecnologías de conversión de biocombustibles. Esta competitividad se podría reducir mediante los altos rendimientos que se podrían conseguir empleando las nuevas tecnologías de segunda generación basadas en las materias primas lignocelulósicas.

### ¿Qué consecuencias tendrá la producción de biocombustibles en el agua, el suelo y la biodiversidad?

La intensificación de los sistemas de producción agrícola de materias primas para biocombustibles y la conversión de tierras de cultivo ya existentes y nuevas tendrán unas repercusiones medioambientales mayores que sus efectos sobre las emisiones de gases de efecto invernadero. La naturaleza y la magnitud de estas repercusiones dependerán de factores tales como la escala de la producción, el tipo de materia prima, las prácticas de cultivo y de gestión de la tierra, la ubicación y los modos de elaboración avanzada. Existen escasos datos sobre los efectos asociados específicamente con una mayor producción de biocombustibles, aunque la mayor parte de los problemas son similares a los ya conexos con la producción agrícola: escasez y contaminación del agua, degradación del suelo, agotamiento de los nutrientes y pérdida de la biodiversidad silvestre y agrícola.

#### Repercusiones sobre los recursos hídricos

La escasez de agua, y no de tierras, podría resultar ser un factor limitante de

la producción de materias primas para biocombustibles en muchos contextos. Aproximadamente un 70 por ciento del agua dulce empleada se destina a fines agrícolas (Evaluación general de la gestión del agua en la agricultura, 2007). Los recursos hídricos para la agricultura son cada vez más escasos en muchos países como resultado de una mayor competencia con los usos domésticos o industriales. Además, los efectos previstos del cambio climático en lo que se refiere a la reducción de las precipitaciones y a la escorrentía en algunas de las principales regiones productoras (incluidos el Cercano Oriente, África del Norte y Asia meridional) seguirán ejerciendo presión sobre unos recursos ya escasos en la actualidad.

Hoy en día, los biocombustibles son los responsables de unos 100 km<sup>3</sup>, un 1 por ciento, de toda el agua transpirada por los cultivos en todo el mundo y de unos 44 km<sup>3</sup>, el 2 por ciento, de toda el agua extraída para regadío (de Fraiture, Giordano y Yongsong, 2007). Muchos de los cultivos empleados en la actualidad para la producción de biocombustibles, como la caña de azúcar, el aceite de palma y el maíz, requieren cantidades relativamente elevadas de agua a niveles de rendimiento comerciales (véase el Cuadro 10), y por ello son más apropiados para áreas tropicales de gran pluviosidad, a no ser que se puedan regar. (La producción de secano de materias primas para biocombustibles es importante en Brasil, donde el 76 por ciento de la producción de caña de azúcar está sometido a condiciones de secano, y en los Estados Unidos de América, donde el 70 por ciento de la producción de maíz es de secano.)

**CUADRO 10**  
Necesidades de agua para los cultivos de biocombustibles

CULTIVO	Posibilidad de rendimiento anual de combustible (Litros/ha)	Rendimiento energético (GJ/ha)	Equivalente de evapotranspiración (Litros/litro de combustible)	Evapotranspiración potencial del cultivo (mm/ha)	Evapotranspiración potencial del cultivo en secano (mm/ha)	Necesidad de agua del cultivo en regadío (mm/ha) <sup>1</sup> (Litros/litro de combustible)	
Caña de azúcar	6 000	120	2 000	1 400	1 000	800	1 333
Maíz	3 500	70	1 357	550	400	300	857
Palma de aceite	5 500	193	2 364	1 500	1 300	0	0
Colza	1 200	42	3 333	500	400	0	0

<sup>1</sup> Suponiendo una eficiencia de riego de un 50 por ciento.  
Fuente: FAO.

Incluso plantas perennes como el ricino de América y la jatrofa, que pueden cultivarse en zonas semiáridas en tierras marginales o degradadas, podrían necesitar ser regadas en cierta medida en veranos calurosos y secos. Igualmente, la transformación de materias primas en biocombustibles puede requerir grandes cantidades de agua, principalmente para lavar las plantas y las semillas y para la refrigeración evaporativa. No obstante, será la producción mediante regadío de estas materias primas clave para los biocombustibles la que produzca las consecuencias más graves en el equilibrio de los recursos hídricos locales. Numerosas regiones productoras de azúcar mediante regadío del África austral y oriental y del Brasil nororiental ya están funcionando cerca de los límites hidrológicos de sus cuencas fluviales conexas. Algunos ejemplos de ello son las cuencas de los ríos Awash, Limpopo, Maputo, Nilo y São Francisco.

A pesar de que las posibilidades de expansión de zonas de regadío pueden parecer elevadas en algunas áreas en función de los recursos hídricos y de las tierras, el aumento real de la producción de biocombustibles en regadío en tierras existentes o nuevas irrigadas está limitado por los requisitos infraestructurales para garantizar la disponibilidad de agua y por los sistemas de posesión de tierras, que podrían no ajustarse a los sistemas de producción comercial. Asimismo, la expansión podría verse limitada por unos costos marginales más elevados del almacenamiento de agua (los lugares más económicos ya están ocupados) y de la adquisición de tierras. En la Figura 26 se muestra que el potencial de crecimiento de la región del Cercano Oriente y África del Norte está llegando a su límite. A pesar de que los recursos hídricos continúan siendo abundantes en Asia meridional y Asia oriental y sudoriental, existen escasas tierras disponibles en las que implantar agricultura de regadío. La mayor parte del potencial de expansión está limitado a América Latina y el África subsahariana. Sin embargo, se prevé que los bajos niveles actuales de extracción de agua para regadío en esta última región aumentarán, pero lo harán lentamente.

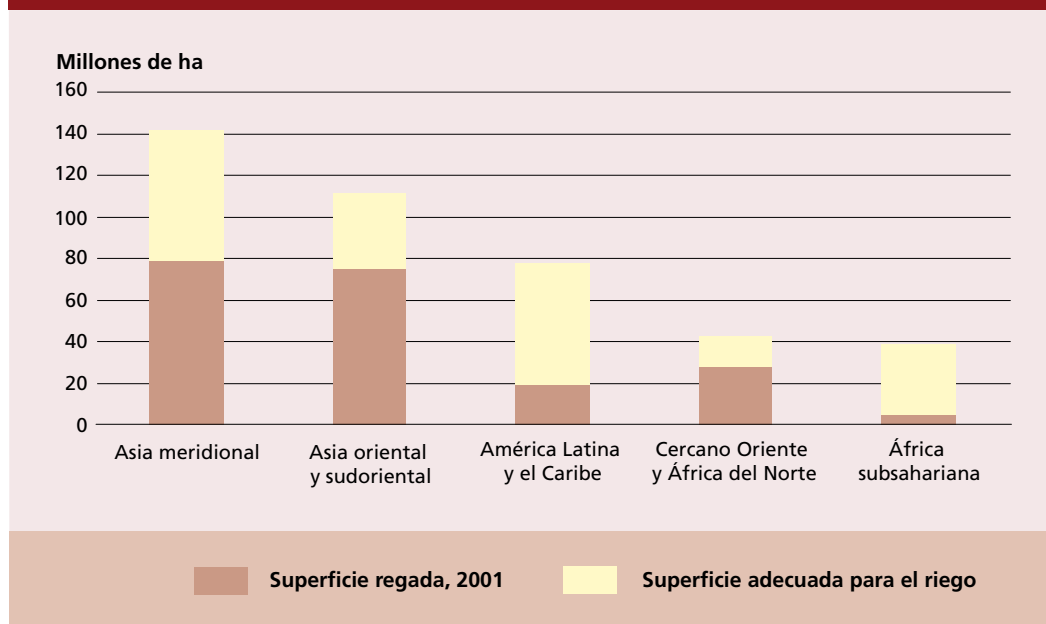
La producción de más cultivos para biocombustibles afectará tanto a la calidad como a la cantidad de agua. La conversión

de pastizales o superficies forestales en campos de maíz, por ejemplo, podría empeorar problemas como la erosión del suelo, la sedimentación y la escorrentía de nutrientes en exceso (nitrógeno y fósforo) a aguas de superficie y la infiltración en aguas profundas provocada por el uso creciente de fertilizantes. El nitrógeno presente en exceso en el sistema del río Misisipí es una de las principales causas de la «zona muerta», carente de suficiente oxígeno, del Golfo de México, en donde muchas formas de vida marina no pueden sobrevivir. Runge y Senauer (2007) exponen que, a medida que las rotaciones de maíz y soja son desplazadas por un cultivo continuo de maíz para la producción de etanol en los Estados Unidos de América, el acentuado aumento de la aplicación de fertilizante nitrogenado y de la consiguiente escorrentía agravarán estos problemas.

La producción de biodiésel y etanol da como resultado unas aguas residuales contaminadas orgánicamente que, si se liberaran sin tratar, podrían incrementar la eutrofización de las masas de agua de superficie. No obstante, existen tecnologías de tratamiento de aguas residuales que pueden hacer frente de manera efectiva a los contaminantes y residuos orgánicos. Los sistemas de fermentación pueden reducir la demanda de oxígeno biológico de las aguas residuales en más de un 90 por ciento, por lo que el agua se puede reutilizar en el procesamiento y el metano se puede capturar en el sistema de tratamiento y emplearlo para generar energía. En lo que respecta a las fases de distribución y almacenamiento del ciclo, el hecho de que el etanol y el biodiésel sean biodegradables hace que la probabilidad de ocasionar efectos negativos en el suelo y el agua a partir de filtraciones y vertidos sea reducida en comparación con los combustibles fósiles.

En Brasil, donde la caña de azúcar para producir etanol se cultiva principalmente en condiciones de secano, la disponibilidad de agua no es un problema, pero la contaminación de los recursos hídricos asociada con la aplicación de fertilizantes y productos agroquímicos, la erosión del suelo, el lavado de la caña de azúcar y otras fases del proceso de producción de etanol resultan altamente preocupantes (Moreira, 2007). La mayor parte de las aguas residuales de

**FIGURA 26**  
**Potencial para la expansión de la superficie de regadío**



Fuente: FAO.

molienda (vinaza) se emplean en el regadío y la fertilización de las plantaciones de caña de azúcar, lo que reduce la demanda de agua y el riesgo de eutrofización.

Los plaguicidas y otros productos químicos pueden infiltrarse hasta las masas de agua y afectar de manera negativa a la calidad del agua. El maíz, la soja y otras materias primas para biocombustibles difieren en gran medida en cuanto a sus necesidades de fertilizantes y plaguicidas. De las principales materias primas, el maíz es objeto de los mayores niveles de aplicación de fertilizantes y plaguicidas por hectárea. Se estima que los biocombustibles derivados de la soja y otra biomasa de bajos insumos y gran diversidad cultivada en praderas necesitan solamente una fracción del nitrógeno, fósforo y plaguicidas requeridos por el maíz por unidad de energía obtenida, lo que supone unos efectos más suaves sobre la calidad del agua (Hill *et al.*, 2006; Tilman, Hill y Lehman, 2006).

### Repercusiones sobre los recursos de suelos

Tanto el cambio del uso de la tierra como la intensificación de la producción agrícola en tierras ya cultivadas pueden ocasionar efectos adversos en el suelo, pero estos efectos dependen en gran medida, en lo

que respecta a todos los cultivos, de las técnicas agrícolas empleadas. Unas prácticas de cultivo inadecuadas pueden reducir la materia orgánica del suelo e incrementar la erosión del mismo mediante la eliminación de la cubierta permanente del suelo. La eliminación de residuos vegetales puede reducir el contenido en nutrientes del suelo y aumentar las emisiones de gases de efecto invernadero debido a la pérdida de carbono del suelo.

Asimismo, la labranza de conservación, la rotación y otras prácticas de gestión mejorada pueden, en las condiciones adecuadas, reducir los efectos adversos e incluso mejorar la calidad medioambiental en conjunción con un aumento de la producción de materias primas para biocombustibles. El cultivo de plantas perennes como la palma, el bosque bajo de corta rotación, la caña de azúcar o el pasto varilla en lugar de cultivos anuales puede mejorar la calidad del suelo mediante el aumento de la cubierta y del contenido de carbono orgánico. En combinación con la no conservación y un menor uso de fertilizantes y plaguicidas, pueden conseguirse efectos positivos en la biodiversidad.

Los efectos en los suelos, la demanda de nutrientes y el grado necesario de

preparación de la tierra varían en función de la materia prima. La AIE (2006, pág. 393) hace notar que las repercusiones de la caña de azúcar sobre el suelo suelen ser menores que las de la colza, el maíz y otros cereales. La calidad del suelo se mantiene gracias al reciclado de nutrientes a partir de residuos de la destilación y la molienda de azúcar, pero un mayor uso del bagazo como insumo energético en la producción de etanol reduciría el reciclaje. Los sistemas de producción extensiva requieren la reutilización de residuos para reciclar nutrientes y mantener la fertilidad del suelo; normalmente, tan sólo el 25 a 33 por ciento de los residuos disponibles de cultivos como las gramíneas o el maíz se pueden cultivar de manera sostenible (Doornbosch y Steenblik, 2007, pág. 15, citando a Wilhelm *et al.*, 2007). Mediante la creación de un mercado para los residuos agrícolas, el aumento de la demanda de energía podría desviar residuos a la producción de biocombustibles si no se gestiona adecuadamente, y ello podría tener efectos potencialmente negativos en la calidad del suelo, especialmente en su contenido en materia orgánica (Fresco, 2007).

Hill *et al.* (2006) constataron que la producción de soja para biodiésel en los Estados Unidos de América requiere mucho menos fertilizante y plaguicidas por unidad de energía producida que el maíz. No obstante, estos autores exponen que las dos materias primas necesitan unos mayores insumos y una tierra de mejor calidad que materias primas de segunda generación como el pasto varilla, las plantas leñosas o diversas mezclas de gramíneas de praderas y herbazales bastos (véase también Tilman, Hill y Lehman, 2006). Los cultivos lignocelulósicos perennes como el eucalipto, el chopo, el sauce y las gramíneas requieren una gestión menos intensiva y menos insumos de energía fósil y pueden crecer en tierras de calidad deficiente, mientras que el carbono y la calidad del suelo tenderán también a aumentar con el paso del tiempo (AIE, 2006).

#### Repercusiones sobre la biodiversidad

La producción de biocombustibles puede afectar a la biodiversidad silvestre y agrícola de manera positiva, como es el caso de la restauración de las tierras degradadas, pero muchos de los efectos serán negativos, como la conversión de los paisajes naturales

en plantaciones de cultivos para producir energía o la sequía de las turberas (CDB, 2008). En general, la biodiversidad silvestre se ve amenazada por la pérdida del hábitat cuando se expande un área destinada a la producción de cultivos, mientras que la biodiversidad agrícola es vulnerable frente al monocultivo en gran escala, basado en un pequeño reservorio de material genético que puede conllevar también la disminución del uso de variedades tradicionales.

La primera vía para la pérdida de biodiversidad es la pérdida del hábitat como resultado de la conversión de tierras, como bosques o praderas, para la producción de cultivos. Como hace notar el CDB (2008), muchos de los cultivos para biocombustibles actuales son apropiados para zonas tropicales. Esto aumenta los incentivos económicos en países con posibilidades de producir biocombustibles para convertir ecosistemas naturales en plantaciones de materia prima, como la palma de aceite, lo que causa una pérdida de biodiversidad en estas áreas. A pesar de que las plantaciones de palma de aceite no necesitan grandes cantidades de fertilizantes ni plaguicidas, ni siquiera en suelos pobres, su expansión podría provocar la desaparición de selvas lluviosas. Aunque la pérdida de hábitats naturales mediante la conversión de tierras para la producción de materias primas para biocombustibles ya ha tenido lugar en algunos países (Curran *et al.*, 2004; Soyka, Palmer y Engel, 2007), todavía no se dispone de los datos y análisis necesarios para evaluar su magnitud y sus consecuencias. Nelson y Robertson (2008) analizaron la manera en que el aumento de los precios de los productos ocasionado por el incremento de la demanda de biocombustibles podría inducir el cambio del uso de la tierra y la intensificación en Brasil, y llegaron a la conclusión de que la expansión agrícola motivada por la subida de los precios podría poner en peligro áreas de gran diversidad de especies de aves.

La segunda vía más importante es la pérdida de la agrobiodiversidad, causada por la intensificación de las tierras de cultivo en forma de uniformidad genética de los cultivos. La mayoría de las plantaciones de materias primas para biocombustibles toman como base una sola especie. Existen asimismo preocupaciones sobre los bajos niveles

de diversidad genética en las gramíneas empleadas como materia prima, como la caña de azúcar (The Royal Society, 2008), lo que aumenta la susceptibilidad de estos cultivos a nuevas plagas y enfermedades. Inversamente, el caso contrario tiene lugar en cultivos como el ricino de América, que posee un grado extremadamente alto de diversidad genética, la mayoría de la cual no está mejorada, lo que resulta en una gran cantidad de características genéticas que le restan valor comercial (FIDA/FAO/Fundación pro Naciones Unidas, 2008).

En lo que respecta a las materias primas de segunda generación, algunas de las especies favorecidas están clasificadas como especies invasivas, lo que provoca nuevas preocupaciones sobre cómo gestionarlas y cómo evitar consecuencias imprevistas. Además, muchas de las enzimas necesarias para su conversión están modificadas genéticamente para aumentar su eficacia, y habría que gestionarlas cuidadosamente dentro de los procesos cerrados de producción industrial (FCPB, 2007).

Se han constatado efectos positivos en la biodiversidad en áreas degradadas o marginales en las que se han introducido diversas nuevas especies perennes para restaurar el funcionamiento del ecosistema y aumentar la biodiversidad (CDB, 2008). Datos experimentales obtenidos de parcelas de prueba en suelos degradados y abandonados (Tilman, Hill y Lehman, 2006) muestran que mezclas de gran diversidad y bajos insumos de gramíneas perennes nativas, las cuales ofrecen una serie de servicios ecosistémicos como el hábitat de la vida silvestre, la filtración de agua y la captura de carbono, producen mayores beneficios energéticos netos (cuantificados como energía liberada en la combustión), mayores reducciones de las emisiones de gases de efecto invernadero y menos contaminación agroquímica que el etanol obtenido a partir de maíz o el biodiésel derivado de la soja, y que todo ello mejora a medida que aumenta el número de especies. Los autores de este estudio constataron asimismo que el pasto varilla puede ser muy productivo en suelos fértiles, especialmente cuando se aplican fertilizantes y plaguicidas, pero que en suelos pobres sus resultados no alcanzan los de diversas especies nativas perennes.

### ¿Pueden producirse biocombustibles en tierras marginales?

Las tierras marginales o degradadas se suelen caracterizar por la falta de agua, lo que limita tanto el crecimiento vegetal como la disponibilidad de nutrientes, y por la baja fertilidad del suelo y las altas temperaturas. Algunos de los problemas frecuentes en estas zonas son la degradación de la vegetación, la erosión causada por el agua y por el viento, la salinización, la compactación y el encostramiento del suelo y el agotamiento de los nutrientes presentes en él. Algunos lugares también podrían sufrir contaminación, acidificación, alcalización o anegamiento.

Los cultivos para biocombustibles que pueden tolerar condiciones ambientales en las que cultivos para la alimentación no podrían sobrevivir pueden ofrecer la oportunidad de emplear productivamente las tierras que en la actualidad generan escasos beneficios económicos. Cultivos como la yuca, el ricino, el sorgo azucarado y la jatrofa son posibles candidatos, al igual que los cultivos arbóreos que toleran unas condiciones secas, como el eucalipto. No obstante, es importante resaltar que las tierras marginales suelen proporcionar servicios de subsistencia a la población rural pobre, incluidas muchas actividades agrícolas llevadas a cabo por mujeres. El que la población pobre se beneficie o se vea perjudicada por la introducción de la producción de biocombustibles en tierras marginales depende de manera crucial de la naturaleza y la seguridad de su derecho a la tierra.

No es infrecuente escuchar afirmaciones de que existen extensiones importantes de tierras marginales que podrían destinarse a la producción de biocombustibles y reducir así el conflicto con los cultivos para la alimentación, ofreciendo una nueva fuente de ingresos para los agricultores pobres. A pesar de que dichas tierras serían menos productivas y estarían sujetas a mayores riesgos, emplearlas en plantaciones para producir bioenergía podría tener beneficios secundarios tales como la restauración de vegetación degradada, la captura de carbono y servicios medioambientales locales. Sin embargo, en la mayoría de los

### RECUADRO 11 La jatrofa, ¿un cultivo «milagroso»?

Como cultivo energético, la jatrofa (*Jatropha curcas* L.) está dando lugar a muchos titulares. La planta es tolerante a la sequía, crece bien en tierras marginales, exige únicamente un régimen de precipitaciones moderadas de 300 a 1 000 mm anuales, es fácil de plantar, puede ayudar a recuperar tierras erosionadas y crece rápidamente. Estas características atraen a muchos países en desarrollo preocupados acerca de la disminución de la cubierta forestal y la fertilidad del suelo, y que están buscando cultivos energéticos que minimicen la competencia con los cultivos alimentarios. Al mismo tiempo, este pequeño árbol, después de un período de dos a tres años, produce semillas que contienen un 30 por ciento de aceite en proporción al peso del grano; el aceite ya se está usando para elaborar jabón, velas y cosméticos, y tiene unas propiedades medicinales similares a las del aceite de castor, aunque también puede utilizarse para la cocina y la generación de electricidad.

Originaria del norte de América Latina y América Central, existen tres variedades de jatrofa: la nicaragüense, la mexicana (que se distingue por su semilla con una toxicidad inferior o inocua) y la de Cabo Verde. La tercera de estas variedades se estableció en Cabo Verde y de allí se extendió a distintas partes de África y Asia. En Cabo Verde fue cultivada en gran escala y exportada a Portugal para la extracción de aceite y la fabricación de jabón. En su momento culminante, en 1910, las exportaciones de jatrofa superaban las 5 600 toneladas (Heller, 1996).

Las diversas propiedades positivas atribuidas a la jatrofa se han traducido en

numerosos proyectos para la producción en gran escala de aceite y/o biodiésel, así como su desarrollo rural en pequeña escala. Los inversores internacionales y nacionales se están apresurando para establecer grandes extensiones de cultivo de jatrofa en Belice, Brasil, China, Egipto, Etiopía, Filipinas, Gambia, Honduras, India, Indonesia, Mozambique, Myanmar, Senegal y la República Unida de Tanzania. El proyecto de mayores dimensiones es la «Misión nacional» del Gobierno de la India para cultivar jatrofa en una superficie de 400 000 hectáreas dentro del período 2003-07 (Gonsalves, 2006). Para 2011-12, el objetivo es sustituir el 20 por ciento del consumo de diésel con biodiésel producido a partir de jatrofa, cultivada en aproximadamente 10 millones de hectáreas de terrenos baldíos y generando empleo durante todo el año para 5 millones de personas (Gonsalves, 2006; Francis, Edinger y Becker, 2005). Es posible que el objetivo original sea bastante ambicioso, dado que Euler y Gorris (2004) informan de que probablemente solo una parte de las 400 000 hectáreas asignadas al cultivo de la jatrofa por el Gobierno de la India se encuentran realmente en cultivo.

La planta también crece en amplias zonas de África, a menudo como setos que separan las propiedades en pueblos y aldeas. En Malí se pueden encontrar miles de kilómetros de setos de jatrofa que protegen los huertos del ganado y ayudan también a reducir los daños y la erosión causados por el viento y el agua. La semilla ya se está usando en la producción de jabón y con fines medicinales, y el aceite de jatrofa también está siendo

países la idoneidad de esta tierra para la producción sostenible de biocombustibles está deficientemente documentada.

El cultivo de cualquier especie en tierras marginales con niveles bajos de agua y de insumos de nutrientes resultará en un rendimiento inferior. La jatrofa, tolerante a la sequía, y el sorgo azucarado no

constituyen excepciones. Para generar unos niveles de rendimiento comercialmente aceptables, las especies de plantas y árboles no pueden sufrir un estrés mayor de cierto punto; de hecho, se beneficiarán de unos niveles bajos de insumos adicionales. Por ello, a pesar de que los cultivos mejorados podrían ofrecer grandes posibilidades a largo plazo,



promovido por una organización no gubernamental para propulsar plataformas multifuncionales, un motor diésel de baja velocidad que contiene una prensa de tornillo para extraer aceite, un generador, un pequeño cargador de batería y un molino (PNUD, 2004). En la República Unida de Tanzania y otros países africanos existen en curso proyectos experimentales que promueven el aceite de jatrofa como fuente de energía para proyectos de electrificación rurales en pequeña escala.

A pesar de los importantes proyectos e inversiones que se están llevando a cabo en muchos países, no existen datos científicos fiables sobre la agronomía de la jatrofa. La información sobre la relación entre los rendimientos y las variables como el suelo, el clima, la ordenación de los cultivos y el material genético agrícola en los que se basan las decisiones de inversión está poco documentada. De las pruebas existentes se desprende que hay una gran diversidad de rendimientos que no puede ser relacionada con parámetros pertinentes, como por ejemplo la fertilidad del suelo y la disponibilidad de agua (Jongschaap *et al.*, 2007). Las experiencias con las plantaciones de jatrofa en la década de 1990, como por ejemplo el «Proyecto Tempate» en Nicaragua, que funcionó de 1991 a 1999, terminaron fracasando (Euler y Gorriz, 2004).

De hecho, parece que la gran cantidad de propiedades positivas atribuidas a la planta no se basa en experiencias contrastadas de proyectos. Jongschaap *et al.* (2007) sostienen que, en una escala pequeña, el cultivo de jatrofa puede

contribuir a la conservación del agua del suelo, la recuperación del suelo y el control de la erosión, y puede ser utilizada para setos vivos, leña, abono verde, combustible de alumbrado, la producción local de jabón, insecticidas y usos medicinales. Sin embargo, los autores concluyen que no existen datos científicos que confirmen la atribución de un alto rendimiento del aceite juntamente con las escasas necesidades de nutrientes (fertilidad del suelo), un menor uso de agua, escaso empleo de mano de obra, inexistencia de competencia con la producción de alimentos y la resistencia a plagas y enfermedades. Las carencias más importantes son la falta de variedades mejoradas y semillas disponibles. La jatrofa todavía no ha sido adaptada como un cultivo con un rendimiento fiable.

El temor de que las prisas injustificadas por extender el cultivo de la jatrofa no solo provoque pérdidas financieras, sino que además acabe socavando la confianza entre las comunidades locales –un aspecto frecuente en muchos países africanos– parece estar bien fundado. Conseguir plantaciones de jatrofa sostenibles implicará eliminar la incertidumbre sobre la producción y la comercialización. Se necesita investigar más sobre el germoplasma adecuado y los rendimientos en distintas condiciones, y crear mercados para promover el desarrollo sostenible del cultivo.

siguen siendo necesarios nutrientes, agua y una gestión adecuados para garantizar unos rendimientos económicamente significativos, lo que implica que incluso los cultivos resistentes en tierras marginales competirán en cierta medida con los cultivos para la alimentación por conseguir recursos como nutrientes y agua.

Numerosos estudios confirman que el valor de los rendimientos económicos superiores obtenidos a partir de buenas tierras agrícolas es mayor que cualquier costo adicional. Por lo tanto, es bastante probable que la demanda constante de biocombustibles intensifique la presión sobre las buenas tierras en las que se pueden

conseguir mayores beneficios (Azar y Larson, 2000).

### La garantía de una producción de biocombustibles ambientalmente sostenible

#### Buenas prácticas

Las buenas prácticas tienen como objetivo aplicar los conocimientos disponibles con el fin de abordar la sostenibilidad de la producción, la cosecha y la elaboración de materias primas para combustible en explotaciones agrícolas. Este objetivo se aplica a cuestiones de gestión de recursos naturales como las tierras, el suelo, el agua y la biodiversidad, así como al análisis del ciclo vital empleado para calcular las emisiones de gases de efecto invernadero y determinar si un biocombustible específico es más respetuoso con el cambio climático que un combustible fósil. En términos prácticos, la protección del suelo, el agua y los cultivos, la ordenación de los recursos energéticos e hídricos, la gestión de los nutrientes y los productos agroquímicos, la conservación de la biodiversidad y el paisaje y la cosecha, el procesamiento y la distribución son áreas en las que es necesario aplicar buenas prácticas para conseguir un desarrollo sostenible de la bioenergía.

La agricultura de conservación es una práctica destinada a conseguir una agricultura sostenible y beneficiosa para los agricultores y la población rural, causando las mínimas alteraciones en el suelo y empleando la cobertura orgánica permanente del suelo y la rotación de diversos cultivos. Resulta especialmente apropiada en el contexto de la atención que se presta hoy en día al almacenamiento de carbono y a las tecnologías que reducen la intensidad energética. Este enfoque resulta útil en situaciones en las que los recursos humanos son escasos y es necesario conservar la humedad y la fertilidad del suelo. Intervenciones como la labranza mecánica del suelo se reducen al mínimo, e insumos como productos agroquímicos y nutrientes de origen mineral u orgánico se aplican a un nivel óptimo y en cantidades que no interrumpen los procesos biológicos. La agricultura de conservación ha resultado ser efectiva en una gran

variedad de zonas agroecológicas y de sistemas agrícolas.

El empleo de unas buenas prácticas agrícolas junto con unas buenas prácticas forestales podría reducir en gran medida los costos medioambientales conexos con la posible promoción de la intensificación sostenible en los límites de los bosques. Podrían considerarse también ciertos enfoques basados en la integración agrosilvopastopecuaria cuando los cultivos para producir bioenergía participan en el proceso.

#### Normas, criterios de sostenibilidad y cumplimiento

A pesar de que los múltiples y diversos efectos ambientales del desarrollo bioenergético no difieren significativamente de los efectos de otras formas de agricultura, sigue estando pendiente la cuestión de cuál es la mejor manera de evaluarlos y aplicarlos a las actividades de campo. Las técnicas de análisis de efectos ambientales y las evaluaciones ambientales estratégicas existentes constituyen un buen punto de partida para analizar los factores biofísicos. Existe también un acervo de conocimientos técnicos extraídos del desarrollo agrícola durante los últimos 60 años. Algunas de las nuevas contribuciones del contexto bioenergético son unos marcos analíticos para la bioenergía y la seguridad alimentaria y para el análisis de los efectos de la bioenergía (FAO, de próxima publicación (a) y (b)), trabajos sobre la agregación de los efectos medioambientales, incluidos la acidificación del suelo, el uso excesivo de fertilizantes, la pérdida de la biodiversidad, la contaminación del aire y la toxicidad de los plaguicidas (Zah *et al.*, 2007); y trabajos sobre criterios de sostenibilidad medioambiental y social, incluidos los límites de la deforestación, la competitividad con la producción de alimentos, efectos negativos sobre la biodiversidad, la erosión del suelo y la filtración de nutrientes (Faaij, 2007).

El sector de los biocombustibles se caracteriza por la existencia de un gran número de partes involucradas con intereses diversos. Esto, combinado con la rápida evolución del sector, ha llevado a la proliferación de iniciativas para garantizar el desarrollo sostenible de la bioenergía. Numerosos grupos públicos y privados están

examinando principios, criterios y requisitos junto con mecanismos de cumplimiento para evaluar los resultados y guiar el desarrollo del sector. Entre ellos se encuentran los grupos de acción de la Asociación Mundial de la Bioenergía sobre metodologías de los gases de efecto invernadero y sobre sostenibilidad, y la mesa redonda sobre biocombustibles sostenibles, junto con muchos otros esfuerzos públicos, privados y sin ánimo del lucro. Tal diversidad sugiere que podría ser necesario un proceso de armonización de estos enfoques, especialmente a la luz de los mandatos y objetivos en materia de políticas establecidos para estimular ulteriormente la producción de biocombustibles.

La mayor parte de los criterios se están elaborando en los países industrializados y tienen como objetivo garantizar que los biocombustibles se produzcan, distribuyan y empleen de manera ambientalmente sostenible antes de ser comercializados en mercados internacionales. La Comisión Europea, por ejemplo, ya ha propuesto unos criterios que considera compatibles con las normas de la OMC (comunicación personal de E. Deurwaarder, Comisión Europea, 2008). No obstante, hasta la fecha no se ha probado ninguno de ellos, especialmente en conjunción con unos planes de apoyo del gobierno como subsidios o al ser designados para recibir un tratamiento preferente de acuerdo con acuerdos comerciales internacionales (Doornbosch y Steenblik, UNCTAD, 2008).

El término «normas» implica unos sistemas rigurosos de medición de parámetros tomando como referencia unos criterios definidos, cuya falta de cumplimiento podría hacer que un país no pudiera exportar su producto. Tales sistemas, acordados a nivel internacional, ya existen para diversos temas de inocuidad alimentaria, químicos y de salud humana. ¿Está el sector de los biocombustibles lo suficientemente desarrollado como para establecer un sistema similar y son los riesgos tan considerables que la ausencia de este sistema supone amenazas importantes e irreversibles para la salud humana y el medio ambiente? ¿Deberían tratarse los biocombustibles de manera más rigurosa que a otros productos agrícolas?

Igualmente, dado que la mayoría de los efectos medioambientales de los

biocombustibles no se pueden distinguir de los causados por un aumento de la producción agrícola en general, podría argumentarse que se deberían aplicar unas normas iguales a todos los niveles. La restricción del cambio del uso de la tierra podría reducir asimismo las oportunidades de que los países en desarrollo se beneficien de un incremento de la demanda de productos agrícolas. Existen fuertes argumentos a favor de que los productores agrícolas y legisladores aprendan de errores previos y eviten los efectos medioambientales negativos que acompañaron a la conversión de tierras agrícolas y la intensificación en el pasado.

Las soluciones a este dilema requerirán un diálogo y una negociación en profundidad entre los países si se pretende alcanzar unos objetivos combinados de crecimiento de la productividad agrícola y de sostenibilidad medioambiental. Podría encontrarse un punto de partida mediante el establecimiento de unas prácticas óptimas para la producción sostenible de biocombustibles, las cuales podrían contribuir a transformar las prácticas agrícolas de los cultivos destinados a fines distintos a los biocombustibles. Con el tiempo podrían establecerse unas normas y unos sistemas de certificación más rigurosos, acompañados de unos esfuerzos de creación de capacidad en los países que lo necesiten.

Una opción que convendría investigar podrían ser los pagos por servicios medioambientales en combinación con la producción de biocombustibles. Los pagos por servicios medioambientales se comentaron en profundidad en la edición de 2007 de *El estado mundial de la agricultura y la alimentación*. Este mecanismo compensaría a los agricultores por prestar unos servicios medioambientales específicos empleando métodos de producción que son ambientalmente más sostenibles. Los pagos deberían estar vinculados al cumplimiento de unas normas y planes de certificación acordados a nivel internacional. Los planes de pagos por servicios medioambientales, aunque constituyen un reto y es complicado ponerlos en práctica, podrían representar otra herramienta para garantizar que los biocombustibles se produzcan de manera sostenible.

## Mensajes fundamentales del capítulo

- Los biocombustibles son solamente una de las alternativas existentes para mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero. En función de los objetivos de las políticas, otras opciones podrían resultar ser más rentables como, por ejemplo, diferentes formas de energía renovable, un aumento de la eficiencia y la conservación de la energía y una reducción de las emisiones ocasionadas por la deforestación y la degradación de la tierra.
- A pesar de que los efectos del aumento de la producción de biocombustibles sobre las emisiones de gases de efecto invernadero, la tierra, el agua y la biodiversidad varían en función del país, el biocombustible, la materia prima y las prácticas de producción, existe la fuerte e inmediata necesidad de establecer unos enfoques armonizados para el análisis del ciclo vital, los balances de gases de efecto invernadero y los criterios de sostenibilidad.
- Los balances de gases de efecto invernadero no son positivos para todas las materias primas. En lo que se refiere al cambio climático, las inversiones deberían dirigirse hacia los cultivos que presentan los mayores balances de gases de efecto invernadero positivos con los costos sociales y medioambientales más reducidos.
- Las repercusiones medioambientales pueden ser ocasionadas en todas las fases de la producción y procesamiento de materias primas para biocombustibles, pero tienden a dominar los procesos relacionados con el cambio de uso de la tierra y la intensificación. En la próxima década, es probable que el rápido crecimiento de la demanda motivado por las políticas acelere la conversión de tierras no agrícolas a la producción de cultivos. Esto tendrá lugar de manera directa en el caso de la producción de materias primas para biocombustibles y de manera indirecta en el caso de otros cultivos desplazados de tierras cultivadas existentes.
- El aumento del rendimiento y un uso prudente de los insumos serán componentes esenciales a la hora de aliviar la presión del uso de la tierra causada por los cultivos tanto para la alimentación como para la producción de energía. Será necesario investigar esta cuestión, realizar inversiones en tecnología y reforzar las instituciones y la infraestructura.
- Los efectos medioambientales varían en gran medida en función de la materia prima, las prácticas productivas y la ubicación, y dependen de manera crucial del modo en que se gestiona el cambio del uso de la tierra. La sustitución de cultivos anuales por materias primas perennes, como la palma de aceite, la jatrofa o las gramíneas perennes, puede mejorar el equilibrio de carbono en el suelo, pero la conversión de bosques tropicales a la producción de cultivos de cualquier tipo puede liberar cantidades de gases de efecto invernadero que exceden con creces el posible ahorro anual obtenido a partir de los biocombustibles.
- La disponibilidad de recursos hídricos, limitados por factores técnicos e institucionales, restringirá la cantidad de materias primas para biocombustibles producidas en países que, de otro modo, tendrían una ventaja comparativa en su producción.
- Unos enfoques reguladores con normas y certificaciones podrían no ser la primera o la mejor opción a la hora de garantizar una participación amplia e igualitaria en la producción de biocombustibles. Los sistemas que incorporan buenas prácticas y creación de capacidad podrían dar mejores resultados a corto plazo y proporcionar la flexibilidad necesaria para adaptarse a unas circunstancias en evolución. Los pagos por servicios medioambientales también representan un instrumento para fomentar el cumplimiento de unos métodos de producción sostenibles.
- Las materias primas para biocombustibles y otros cultivos alimentarios y agrícolas deberían tratarse de manera similar. Las preocupaciones medioambientales sobre la producción de materias primas

para biocombustibles son las mismas que en el caso de los efectos del aumento de la producción agrícola en general, y por ello deberían aplicarse a todos los cultivos y de manera coherente unas medidas que garanticen la sostenibilidad.

- Unas buenas prácticas agrícolas, como la agricultura de conservación, pueden reducir la huella del carbono y los efectos medioambientales adversos de la producción de biocombustibles, al igual que lo pueden hacer para la producción agrícola extensiva en general. Los

cultivos de materias primas perennes, como gramíneas o árboles, pueden diversificar los sistemas de producción y contribuir a mejorar las tierras marginales o degradadas.

- Las políticas gubernamentales nacionales deberán considerar en mayor medida las consecuencias internacionales del desarrollo de los biocombustibles. El diálogo internacional, a menudo mediante mecanismos existentes, puede ayudar a formular unos mandatos y objetivos sobre biocombustibles realistas y alcanzables.