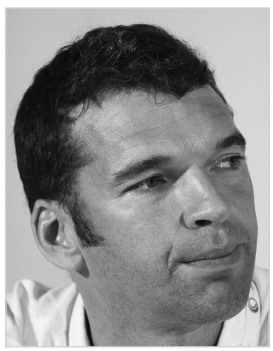
Perspectivas para la producción sostenible de biocombustibles: recursos, tecnologías y sistemas de energía

Prospects for sustainable biofuels: resources, technologies and energy system issues

AUTOR



André Faaij
Copernicus Institute -
Utrecht University. Holanda
A.P.C.Faaij@uu.nl

Palabras CLAVE

Bioenergía, biomasa, biocombustibles

Bioenergy, biomass, biofuels

Resumen

Para poder atender los requerimientos que exigen el cambio climático, la pérdida de la biodiversidad, la conservación de los recursos hídricos y la contaminación a gran escala, se prevé un aumento en el consumo de energía por parte de la población mundial. Este ensayo examina los diferentes aspectos de este tema. Primero presenta los detalles de la base de los recursos de biomasa y los factores clave de los cuales depende. Luego aborda el tema de la importancia de la agricultura (y el manejo de la ganadería) y los cambios en su manejo. Luego analiza las condiciones previas para la producción sostenible y la utilización de la biomasa, incluyendo desarrollos internacionales recientes.

Summary

To face up to the challenges posed by climate change, biodiversity loss, conservation of water resources and large scale pollution, the global demand for energy is expected to increase significantly. This essay examines the different aspects of this issue. First, it presents the details of the resource base of biomass and the key factors on which it depends. Then the essay addresses the importance of agriculture (and livestock management) and changes in its management. Then it analyzes the preconditions for sustainable production and use of biomass, including recent international developments.

Introducción

Nuestro planeta y la humanidad enfrentan una situación sin precedentes. Se espera que para el año 2050 la población mundial llegue a 9.000 millones de habitantes. Esa misma población, a pesar de las inmensas desigualdades, será más rica que nunca en la historia, creando una gran demanda por energía, alimento, agua, espacio y toda clase de recursos naturales imaginables. Los resultados son conocidos: cambio climático, pérdida rápida de biodiversidad (en parte debido al cambio climático), mayor presión en los recursos de agua y contaminación a gran escala.

Todas estas situaciones están llegando a un clímax en este siglo. En este punto, todavía se piensa que este clímax puede ser sucedido por un período en que las presiones sobre el medio ambiente y los ecosistemas de la tierra disminuirían gradualmente. Informes de evaluaciones clave como los del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático, la Evaluación de Ecosistemas del Milenio y el informe de Biodiversidad de las Naciones Unidas esbozan posibles vías de desarrollo con relación a estos temas.

Con relación a la energía, la demanda mundial está creciendo rápidamente. En la actualidad, el uso comercial total de energía es aproximadamente 470 EJ (IEA, 2007). Cerca del 88% de esta demanda está cubierta por combustibles fósiles. Se espera que la demanda se duplique o quizás se triplique durante este siglo.

Al mismo tiempo, las concentraciones de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera se están elevando rápidamente, siendo las emisiones de CO_2 el factor más importante. Para estabilizar los impactos relacionados con el calentamiento global y el cambio climático, las emisiones de gases de invernadero se deben reducir drásticamente a mediados de este siglo a menos de la mitad de los niveles de emisiones de 1990. De manera adicional, la seguridad en el suministro de energía está de nuevo en primera plana como un problema global. Las reservas de petróleo y gas convencionales se están concentrando cada vez más en regiones políticamente inestables y el incremento en la diversidad de suministros de energía es importante en muchas naciones para garantizar un suministro de energía confiable y constante.

Para revertir estas tendencias a lo que se puede llamar una vía de desarrollo sostenible, se requiere una amplia gama de transiciones importantes: primero, es necesario abordar los temas de sistemas de energía y cambio climático, por medio del mejoramiento masivo de la eficiencia energética y un cambio hacia fuentes de energía renovables. Segundo, la agricultura mundial requiere una nueva "revolución verde" para absorber la creciente demanda por alimentos (particularmente proteínas) y, al mismo tiempo, disminuir la presión sobre las tierras y los recursos naturales disponibles (como el agua, por ejemplo). Esto requiere un mejoramiento de la agricultura a gran escala hacia prácticas sostenibles y manejo más eficiente. Esto va ligado a la lucha contra la pobreza. 70% de los pobres del mundo viven en áreas rurales.

Se necesitan muchos más cambios; por ejemplo, con respecto a la protección de la biodiversidad, manejo sostenible de los suelos y los recursos de agua. Con respecto a la energía, un suministro seguro, estable y económico es un prerrequisito para el desarrollo sostenible, en particular, para los países menos desarrollados.

En este contexto global, se sugiere que el uso de la biomasa para energía (y como material) puede jugar un papel fundamental. El uso de biomasa para energía, cuando se produce en forma sostenible, puede reducir drásticamente las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en comparación con los combustibles fósiles. La mayoría de los países tienen varias fuentes de biomasa disponibles o pueden desarrollar un recurso potencial para hacer de la biomasa una opción de suministro de energía más uniformemente repartida alrededor del mundo. Es una fuente de energía versátil que puede ser utilizada para producir energía, calor, combustibles líquidos y gaseosos y también sirve como materia prima de carbono neutral para materiales y químicos.

En especial, debido al alza de los precios de combustibles fósiles (en particular el petróleo, pero también el gas natural y en menor grado el carbón), la competitividad del uso de biomasa ha mejorado en forma considerable con el tiempo. De manera adicional, el desarrollo de mercados de emisiones de CO_2, lo mismo que el aprendizaje continuo y la subsiguiente reducción en costos de biomasa y sistemas de energía,

han fortalecido los impulsadores económicos para aumentar la producción, utilización y comercialización de la biomasa.

En la actualidad, la biomasa y la bioenergía son una opción fundamental en las políticas energéticas de muchas naciones, siendo la seguridad y confiabilidad del suministro (una alternativa para los aceites minerales, generalmente importados) y la reducción en emisiones de carbono unas de las razones más importantes. Las expectativas y los objetivos de la bioenergía en muchas políticas nacionales y escenarios energéticos de largo plazo son ambiciosos, llegando a 20-30% de la demanda total de energía en muchos países alrededor del mundo.

La producción y el uso de la biomasa tienen una posición única aquí, porque está interrelacionada con la energía, el clima, el desarrollo rural y oportunidades agrícolas.

Últimamente ha habido un creciente entusiasmo en el mercado mundial, incluyendo cuerpos internacionales y responsables de formular políticas, acerca del rápido crecimiento del comercio internacional de biomasa y biocombustibles.

Instalaciones modernas que utilizan bioenergía están usando cada vez más biomasa importada, y los recursos de biomasa provienen cada vez más de regiones que previamente no los utilizaban por la falta de demanda. Hasta finales de la década de los noventa, la biomasa era vista como una fuente regional de energía que no podía ser transportada largas distancias. Solo a partir del año 2008, los altos precios de los combustibles fósiles y el apoyo a la bioenergía moderna (especialmente en Europa) impulsaron la demanda por biomasa.

El continuo desarrollo de la tecnología, y la creciente experiencia con tecnologías modernas y eficientes de bioenergía y la organización de cadenas internacionales de suministro han hecho que la bioenergía sea una alternativa cada vez más atractiva en el mercado energético. Los expertos estiman que probablemente en los próximos años los volúmenes de biomasa y de biocombustibles comercializados mundialmente se dupliquen cada año. En la actualidad, aproximadamente el 10% de toda la bioenergía producida se comercializa en forma sólida o como biocombustible. Esta es una observación única en el campo de la energía renovable como un todo. Ya ha dado lugar a nuevos escenarios en la Agencia Internacional de Energía (IEA) incluyendo proyecciones de aumentos rápidos en la producción de biocombustibles.

Aproximadamente 45 + 10 EJ de la demanda global actual de energía proviene de recursos de biomasa, lo que la convierte en la fuente de energía renovable más importante hasta la fecha. En promedio, en los países industrializados la biomasa contribuye menos del 10% del suministro total de energía, pero en los países en desarrollo la proporción puede llegar hasta una tercera parte. En muchos países la biomasa llega inclusive a cubrir entre el 50 y el 90% de la demanda total de energía.

Una parte considerable de esta biomasa no es para uso comercial y se utiliza para cocinar y para calefacción, generalmente entre las poblaciones más pobres. Sin embargo, parte del uso de la biomasa es comercial, por ejemplo, leña para los hogares en países industrializados, y carbón y leña en áreas industriales y urbanas en países en desarrollo, pero prácticamente no existe información sobre el tamaño de estos mercados. Se estima que esta categoría cubre más o menos 9 + 6 EJ.

Hasta finales de la década de los noventa, la biomasa era vista como una fuente regional de energía que no podía ser transportada largas distancias.

La contribución de la bioenergía moderna (producción comercial de energía a partir de biomasa para la industria, la generación de energía o combustibles de transporte) es baja, pero significativa y creciente (aproximadamente 8-9 EJ/año 2006). Se estima que se producen entre 0,6 EJ y 2,5 EJ al año a partir de biomasa utilizando tecnologías comerciales, modernas. La combustión de biomasa representa más del 90% de la producción actual de vectores energéticos

secundarios de biomasa. Combustión para uso doméstico (cocina, calefacción), incineración de desechos, utilización de residuos de procesos industriales y diseños modernos de calderas y hornos para generación eficiente de energía todos juegan un papel en contextos y mercados específicos.

La producción total de biocombustibles para transporte (principalmente etanol, producido a partir de caña de azúcar y excedentes de maíz y cereales y en mucho menor proporción biodiésel de oleaginosas) representó un modesto 1,5 EJ (aproximadamente 1,5%) de uso del combustible de transporte en el orden mundial. Pero es especialmente en este campo en el que el interés global está creciendo, en Europa, Brasil, Norteamérica y Asia (en particular Japón, China e India) (WEA, 2000 - 2005 + IEA-WEO, 2006).

Debido a la naturaleza de la bioenergía, los desarrollos en este sector están estrechamente relacionados con la seguridad alimentaria.

La producción mundial de etanol se ha más que duplicado desde el año 2000, mientras que la producción de biodiésel, comenzando a partir de una base mucho más pequeña, prácticamente se ha triplicado. En contraste, la producción de crudo ha aumentado únicamente el 7% desde el año 2000.

Sin embargo, el creciente interés, particularmente en biocombustibles, va de la mano con las crecientes preocupaciones, que son del mismo orden de magnitud que las ventajas percibidas de la bioenergía. Los precios de los alimentos se han incrementado drásticamente en los últimos años y muchos señalan a los biocombustibles como la causa de esto, siendo un factor clave la producción subsidiada de biocombustibles en la Unión Europea y en Estados Unidos, que aún con los precios actuales del petróleo, no es competitiva.

El uso de aceite de palma (del que aproximadamente 1,5% de la producción se utilizó para biodiésel y combustible para producción de electricidad en 2007) se considera como responsable de la pérdida de bosques tropicales en el Sudeste Asiático donde se concentra la producción. El aceite de palma, pero también maíz para producción de etanol y otros biocombustibles producidos a partir de cultivos de plantas alimenticias no son, por tanto, neutrales con respecto a las emisiones de gases de invernadero. Por el contrario, algunos emiten más gases de efecto invernadero que los combustibles fósiles. Algunas personas, entre ellas Ziegler Monbiot a.o., afirman que los biocombustibles causarán hambrunas masivas, agotarán los recursos de agua, destruirán la biodiversidad y los suelos. Esto parece ser una colisión masiva entre ideales y el mundo real. ¿Cómo puede ser posible semejante contraste?

Parece que la biomasa es una opción muy atractiva para las industrias de químicos y energía, pero si los recursos no existen o no son sostenibles, ¿donde están entonces las bases de la futura economía basada en bioenergía?

Debido a la naturaleza de la bioenergía, los desarrollos en este sector están estrechamente relacionados con la seguridad alimentaria. Además, en la medida en que aumenta la demanda, la agricultura también tiene que incrementar la producción de alimentos debido al crecimiento económico y de la población.

En teoría, muchos países en vía de desarrollo tienen grandes áreas de tierra y recursos humanos disponibles para la producción de bioenergía. Sin embargo, la producción de biomasa requerida para suministrar una parte significativa de la provisión nacional y mundial de energía, a partir de cultivos energéticos debe ser sustancial. Esto traerá como resultado impactos significativos en los ecosistemas y en las condiciones socioeconómicas incluyendo la seguridad alimentaria. Estos impactos pueden ser positivos o negativos dependiendo de las condiciones locales. Por tanto, antes de decidir sobre la realización e implementación sostenible de la bioenergía, es crucial entender los impactos de los sistemas de bioenergía en la seguridad alimentaria.

Este ensayo examina los diferentes aspectos de este tema. Primero se discutirán los detalles de la base de los recursos de biomasa y los factores clave de los cuales depende. Luego se abordará el tema de la importancia de la agricultura (y el manejo de la

ganadería) y los cambios en su manejo. Luego se discutirán las condiciones previas para la producción sostenible y la utilización de la biomasa, incluyendo desarrollos internacionales recientes.

Potencial de los recursos de biomasa (Dornburg *et al*., 2008: 85)

Existe una amplia gama de estimados disponibles en la literatura sobre lo que podría ser el futuro de la biomasa en el suministro mundial de energía. El entendimiento actual de la contribución potencial de la biomasa al suministro mundial de energía indica que los suministros totales podrían estar teóricamente entre 100 EJ y 1500 EJ (comparado con aproximadamente 450 EJ de demanda global actual de energía primaria).

Una variedad de factores y categorías de recursos de biomasa explican esos amplios rangos, que son especialmente causados por la forma en que la demanda por alimentos y el manejo agrícola se desarrollan y las incertidumbres de hasta qué punto tierras más marginales y degradadas pueden ser utilizadas para producción de biomasa. El potencial consiste en tres categorías principales de biomasa:

1. *Residuos forestales y agrícolas y desechos orgánicos*, que en total representan entre 40-170 EJ, con un estimado promedio aproximado de 100 EJ. Esta parte del potencial de suministro de biomasa es relativamente seguro, aunque algunas aplicaciones que le compiten pueden empujar la disponibilidad neta de aplicaciones energéticas al extremo más bajo del rango. Estas últimas requieren un mejor entendimiento, por ejemplo, por medio de modelos mejorados incluyendo los aspectos económicos de dichas aplicaciones.

2. *Biomasa producida mediante sistemas de cultivos en tierras potencialmente de buena calidad aptas para la agricultura y la ganadería*. Esta parte del potencial de la biomasa es la más significativa y puede llegar a más de 300 EJ, para el mejoramiento de alto nivel de la eficiencia agrícola incluida en el rango del escenario SRES, pero es al mismo tiempo una categoría incierta.

El factor fundamental que determina la disponibilidad neta de tierras es el mejoramiento en la eficiencia de los sistemas de producción agrícola y ganadera. Desde el punto de vista técnico, el potencial de mejoramiento de la eficiencia es en gran parte visto en forma global, especialmente en los países en vía de desarrollo como se resalta en el estudio de Smeets *et al*. (2007: 56-106). Sin embargo, la velocidad a la que dichas mejoras se pueden realizar es incierta y depende de una amplia gama de factores que en parte no están bien entendidos y manejados. En particular, los impulsadores económicos para dichos desarrollos requieren mayor atención.

El estimado más bajo basado en desarrollos agrícolas y ganaderos más o menos conservando el mismo nivel de eficiencia, da como resultado suministros de biomasa a partir de cultivos energéticos de hasta 120 EJ (que incluye correcciones para escasez de agua, degradación de la tierra y nuevas tierras dedicadas a reservas naturales) (ver a continuación la tercera categoría). Un escenario agrícola compacto que asume mejoras aceleradas en manejo agrícola, especialmente en países en vías de desarrollo, agregaría aproximadamente 140 EJ a ese estimado de 120 EJ, dando como resultado un rango entre 120-260 EJ.

3. *Uso de tierras marginales y degradadas que no se utilizan para producción de alimentos*. Aunque se debe reconocer que la calidad de los datos sobre dichos suelos es relativamente pobre y los escenarios de uso de la tierra a este respecto son crudos ya que existen muy pocos estudios sobre hasta qué punto diferentes tipos de vegetación se pueden establecer, se tienen algunos estimados generales. La contribución potencial podría agregar aproximadamente 70 EJ a la producción de cultivos energéticos, pero esto incluiría un área muy extensa donde la escasez de agua es un limitante y la degradación de los suelos es más severa. El estimado más bajo, que cubre mayor degradación y escasez de agua, representa los 120 EJ discutidos anteriormente. Este bajo estimado también incorpora la demanda adicional estimada para nuevas reservas naturales

Las incertidumbres más grandes para esta categoría son el saber hasta qué punto dichas tierras pueden realmente ser utilizadas para producción de biomasa desde el punto de vista técnico y económico, y hasta qué punto la conservación de la naturaleza y la biodiversidad pueden entrar en conflicto con el uso parcial para producción de biomasa, ya que las tierras

marginales y abandonadas presentan niveles variados de biodiversidad. El manejo, la cosecha y las ventajas y desventajas con relación a la biodiversidad deben ser evaluados a escala regional. Otro elemento importante es hasta qué punto el incremento en la demanda por alimentos puede hacer más atractivo el uso de tierras marginales para producción de alimentos en el futuro y, por tanto, competir con la bioenergía. Dichas dinámicas no pueden ser todavía investigadas por medio de las herramientas actuales de modelización.

Las tierras en cuestión abarcan una gran variedad de situaciones diferentes, incluyendo tierras semiáridas, tierras en diferentes grados de degradación, suelos afectados por la salinidad, etcétera. Por otro lado, el uso de dichas tierras para producción de biomasa puede ser muy atractivo, porque los conflictos con la producción de alimentos pueden ser mucho menores o no existentes en comparación con las tierras de cultivo. Además, se pueden lograr beneficios adicionales tales como la regeneración de los suelos, mejor retención de agua y la reactivación de la actividad económica, que pueden ser impulsadores aún más importantes que la sola producción de biomasa con fines energéticos. Por otro lado, la producción sostenible de biomasa, aún con baja productividad, puede traer costos más altos.

La producción de biomasa-bioenergía ofrece ventajas y desventajas con relación a la biodiversidad. Desde el punto de vista de objetivos globales de biodiversidad, se deben tener en cuenta escalas espaciales y efectos de corto y largo plazos. A escala local, la biodiversidad puede beneficiarse de la producción de biomasa, cuando las prácticas de agricultura intensiva son reemplazadas por sistemas de producción de biomasa de baja intensidad (como sistemas forestales de rotación corta y sistemas mixtos de uso de la tierra). La gran variación registrada en efectos locales requiere mayor atención, para definir prácticas favorables de manejo.

A escala global, sin embargo, las tierras agrícolas pueden estar disponibles únicamente cuando hay cambios en las regiones productoras de alimentos, por ejemplo por medio de la liberación del comercio. Por tanto, los efectos globales a corto plazo en la biodiversidad están íntimamente relacionados con la dinámica global del uso de la tierra y especialmente con las diferentes causas de abandono de la tierra. En el largo plazo, se espera que la producción de biomasa contribuya a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y, por tanto, a reducir los efectos del cambio climático en la biodiversidad.

Un estimado de primer orden indica que el balance entre las pérdidas globales de biodiversidad por causa del aumento en el uso de la tierra y la disminución de los efectos del cambio climático por la producción de biomasa no es benéfico para la biodiversidad en un lapso de cincuenta años. Sin embargo, esta conclusión está rodeada de incertidumbres, especialmente sobre los efectos del cambio climático, pero también con relación a los valores netos de biodiversidad de patrones de vegetación y sistemas de cultivo. Esto último puede estar fuertemente influenciado por las buenas prácticas y gestión del uso de la tierra. Este elemento requiere mayor investigación.

Con base en este panorama general, el potencial mundial de recursos de biomasa hasta la mitad de este siglo podría ser como mínimo 200 EJ y llegar a más de 500 EJ.

¿Competencia entre mercados de biomasa?

¿Cómo puede contribuir la biomasa a la futura demanda de energía (y material) en el ámbito mundial?

Existe una gran diversidad de proyecciones de la futura oferta y demanda de energía. Típicamente, se utilizan escenarios para representar incertidumbres en futuros desarrollos y posibles vías de desarrollo. Dichos escenarios, como los preparados por el IPCC, muestran grandes diferencias entre demanda y energía, como resultado de variaciones en la dinámica poblacional y desarrollos económicos y técnicos. La demanda total de energía primaria (mezcla de combustibles fósiles, energía renovable y energía nuclear) para el año 2050 oscila aproximadamente entre 800 EJ y 1.400 EJ.

Por tanto, siendo realistas, la biomasa no puede cubrir toda la demanda futura de energía del mundo. Por otro lado, la versatilidad de la biomasa con las diversas opciones de conversión hace posible cubrir la demanda de vectores energéticos secundarios y biomateriales

Existen muchas formas de conversión para vectores energéticos producidos a partir de biomasa. Las principales tecnologías de conversión para la producción

de energía y calor son la combustión y la gasificación de biomasa sólida y digestión de material orgánico para la producción de biogás. Las principales tecnologías disponibles o desarrolladas para producir combustibles para transporte son la fermentación del azúcar y almidones, gasificación de biomasa sólida para producir gas de síntesis y combustibles sintéticos (como metanol y diésel de alta calidad) y extracción de aceites vegetales de plantas oleaginosas, que pueden ser esterificadas para producir biodiésel.

Las opciones tecnológicas se encuentran en diferentes estados de implementación y desarrollo.

En la actualidad, la biomasa se utiliza principalmente para la producción de calor y electricidad, y en segundo lugar para la producción de biocombustibles. La pregunta es, ¿cuál será el mercado más relevante para la biomasa en el futuro?

El uso de la biomasa es una forma muy efectiva de reemplazar el carbón y disminuir las emisiones de CO_2. La cocombustión de la biomasa en termoeléctricas de carbón es una historia de éxito y ha dado como resultado una mayor reducción de emisiones por unidad de biomasa que cuando se reemplaza diésel o gasolina con etanol o biodiésel. Sin embargo, el reemplazo del gas natural para generación de energía con biomasa da como resultado niveles similares en reducción de CO_2, en comparación con los llamados biocombustibles de segunda generación. Los biocombustibles de segunda generación se producen a partir de biomasa lignocelulósica como gramíneas, árboles y residuos de biomasa y tienen mucho mejor balance de gases de efecto invernadero que los biocombustibles producidos a partir de cultivos anuales. Por tanto, la disminución en las emisiones de gases de efecto invernadero depende del sistema de referencia y de la eficiencia de la producción de biomasa y la cadena de utilización.

En el futuro, el uso de la biomasa para combustibles de transporte se volverá cada vez más atractivo desde el punto de vista de la reducción de emisiones de CO_2 debido a las menores emisiones de gases de efecto invernadero para producir biocombustibles de segunda generación y debido a que se espera que la producción de electricidad, en promedio, sea menos dependiente de carbón debido al creciente uso de energía eólica, PV y otros tipos de generación de energía solar, captura de carbón y tecnología de almacenamiento, energía nuclear y el cambio de carbón por gas natural.

En contraste, la intensidad del carbono de los combustibles fósiles que se usan para transporte está aumentando debido al uso de petróleo de mala calidad, arenas bituminosas e inclusive carbón (a través de gasificación) como materia prima. En el corto plazo, sin embargo, se requieren estrategias y políticas para evitar que los recursos de biomasa sean desviados a formas ineficientes y poco efectivas de producción de energía y calor. La forma en que esto se debe hacer es diferente para cada país.

En la actualidad, la biomasa se utiliza principalmente para la producción de calor y electricidad, y en segundo lugar para la producción de biocombustibles.

El uso de biomasa para biomateriales se incrementará tanto en mercados bien establecidos (como papel, construcción) como para mercados nuevos (bioquímicos, plásticos y el uso de carbón para fabricación de acero). Esto se suma a la competencia por recursos de biomasa (en particular, biomasa forestal), lo mismo que tierras para producción de biomasa leñosa y otros cultivos. Existen indicaciones de que la demanda adicional por biomateriales puede sobrepasar el uso actual de biomasa en el orden mundial (aproximadamente 10% de la energía mundial o un valor de 45 EJ). Sin embargo, el incremento en el uso de biomateriales no impide la producción de biocombustibles (y electricidad y calor).

La madera para construcción eventualmente termina como desechos de madera, el papel (después de reciclaje) como desechos de papel y bioplásticos en desechos sólidos municipales. Todos estos desechos se pueden calificar como materia prima de biomasa y generalmente están disponibles a costo muy bajo e inclusive negativo. De hecho, con el tiempo la biomasa proporcionará una estrategia esencial para optimizar el efecto reductor de CO_2 de los recursos de biomasa.

Estudios vanguardistas sobre suministro de energía y mitigación del cambio climático concuerdan en que todas las opciones de energía que respeten el clima son necesarias para satisfacer las necesidades futuras de energía en el orden mundial y al mismo tiempo reducir drásticamente las emisiones de GEI. Las fuentes intermitentes como la energía solar y eólica tienen buenas perspectivas, pero su implementación también está limitada por su integración a las redes eléctricas. Además, la producción de electricidad a partir de energía solar todavía es muy costosa.

La energía hidroeléctrica tiene un potencial limitado y la implementación comercial de energía geotérmica y oceánica, a pesar de su gran potencial teórico, ha demostrado ser demasiado compleja para su explotación. La biomasa puede jugar un papel fundamental en la producción de carbono neutral, combustibles para transporte de alta calidad y además proporcionar materias primas con carbono neutral para diferentes industrias (incluyendo químicos). Esta es una propiedad única de la biomasa en comparación con otros recursos renovables y que convierte a la biomasa en la principal alternativa para el uso de petróleo.

Se espera que la biomasa siga siendo por décadas el recurso de energía renovable más importante.

Dado que el petróleo es el combustible fósil más limitado, la biomasa es particularmente importante para mejorar la seguridad del suministro de energía en los ámbitos nacional y global. Además, en especial para la producción de calor y energía, la competitividad ya se ha logrado en muchas situaciones, utilizando tecnologías comerciales de última generación. Por tanto, se espera que la biomasa siga siendo por décadas el recurso de energía renovable más importante.

Como se discutió anteriormente, el total de los suministros de biomasa primaria para el año 2050 puede llegar a 200-500 EJ. Al asumir una eficiencia promedio de conversión a combustibles de transporte del 65%, el resultado sería 130 – 260 EJ_{fuel}. Esto es más del doble de la demanda actual y un rango similar a la demanda esperada en los rangos de los escenarios discutidos. La conversión a energía con una eficiencia promedio del 50% lógicamente resultaría en 100 – 200 EJ_e, también un rango similar a la demanda futura esperada. La demanda futura adicional por biomateriales como, por ejemplo, bioplásticos podría agregar hasta 50 EJ (Hoogwijk *et al.*, 2003) a mediados de este siglo. Es claro, por tanto, que la biomasa puede contribuir sustancialmente al suministro futuro de energía en el ámbito mundial.

Otro punto muy interesante (confirmado por el reciente cuarto Informe de Evaluación del IPCC (IPCC, 2007) es que los escenarios energéticos actuales que incluyan estrategias para la mitigación de GEI siguiendo las directrices del IPCC, indican que la demanda de bioenergía hasta el año 2050 puede estar limitada en comparación con los suministros potenciales de biomasa, porque otras opciones son más competitivas en términos de costos específicos de mitigación. Esto puede ser cierto en particular para el uso de la biomasa para generación de energía porque otras alternativas (como la energía eólica, fósiles con CCS y energía nuclear) son más atractivas a costos marginales de biomasa por encima de ca 3 US$/GJ. La demanda estimada de biomasa primaria está básicamente dentro del rango del potencial de recursos de biomasa indicado. En particular, los residuos y desechos pueden cubrir una parte significativa de la demanda en el corto plazo.

Se espera que la producción de combustibles para transporte (basados en biomasa lignocelulósica a través de tecnologías de segunda generación) juegue un papel dominante a mediano plazo. El uso de biomasa para materiales y materias primas se suma a la demanda, pero es un factor menor en la demanda total con base en los resultados de los modelos más recientes, aunque hasta ahora ha recibido poca atención. Es importante anotar que las indicaciones dadas por varios escenarios y modelos de energía están basadas en la rentabilidad relativa (ejemplo, costos por tonelada de emisiones de CO_2 evitada).

Otros impulsadores, tales como la seguridad energética y el desarrollo rural, pueden dar lugar a políticas continuas de apoyo particularmente para biocombustibles. Esto puede incrementar en forma considerable la demanda por biomasa. Además, la demanda total

de energía es incierta y en las proyecciones más altas la demanda por biomasa puede sobrepasar los 150 EJ indicados.

La posición clave de la agricultura (Fresco, 2006)

La base de los recursos potenciales de biomasa es diversa. Un potencial en la forma de residuos y desechos orgánicos, lo mismo que oportunidades para el uso de, por ejemplo tierras degradadas, parece proporcionar la base. Pero la mayor parte de las oportunidades están en la agricultura (incluyendo la producción ganadera). La pregunta es hasta qué punto los cambios en el manejo agrícola, aunque posibles en teoría, pueden ser realmente implementados.

A pesar de que la población mundial se ha triplicado desde la Segunda Guerra Mundial, el incremento más rápido en la historia de la humanidad, las calorías disponibles per cápita han crecido aproximadamente en un 25%. Este gran logro es el resultado combinado de investigación académica, políticas gubernamentales e inversiones privadas. Esto demuestra que la investigación en agricultura ha sido uno de los sectores económicos más gratificantes. De esto podemos extraer una lección importante: el hombre tiene una gran capacidad para innovar y nos permite tener confianza de que colectivamente somos capaces de innovación y cambios rápidos.

La demanda por alimentos siempre ha sido impulsada por el crecimiento de la población, el aumento en los ingresos y los cambiantes hábitos alimenticios. La producción agrícola total, por otra parte, es una función de la tierra agrícola disponible, la productividad agrícola, los precios de los insumos y los precios de los productos básicos. Se espera que la población mundial siga creciendo, probablemente llegando a aproximadamente 9.000 millones de habitantes para el año 2050.

Se espera que la producción futura de alimentos aumente aproximadamente el 1% anual como resultado de la mayor productividad (asumiendo que las tierras agrícolas permanecen relativamente sin cambio)[1]. El sector más importante de crecimiento es el pecuario con la demanda por alimentos para animales, particularmente en Asia, impulsando los precios del mercado mundial. Aproximadamente el 40% de los cultivos de cereales en el mundo se utiliza para producción de alimento para animales.

Es probable que la producción agrícola se duplique para el año 2030 para satisfacer la creciente demanda y los cambios en los hábitos alimenticios. Aunque las técnicas agrícolas para lograr el crecimiento requerido ya existen, su aplicación es un reto importante y no se debe dar por sentado en todas partes, especialmente en África y regiones con desventajas.

Para el futuro, prácticamente no habrá nuevas tierras de alta calidad disponibles y no se deben utilizar nuevas tierras para producción porque esto sería a expensas de valiosos bosques y naturaleza. De tal manera que toda la producción debe provenir de tierras ya cultivadas, incluyendo tierras degradadas y tierras en barbecho, actualmente en uso[2] . La única opción real para satisfacer la creciente demanda es, por tanto, a través de un proceso de intensificación sostenible, teniendo en cuenta las lecciones aprendidas del uso irracional de agroquímicos y agua en el pasado. La intensificación sostenible se define como un incremento en la eficiencia en el uso de la tierra, el agua y los químicos (fertilizantes y pesticidas), utilizando técnicas agrícolas modernas con nuevos genotipos de cultivos y animales, evitando al mismo tiempo la degradación ambiental.

Esto se reduce a lo que se ha llamado la segunda Revolución Verde, incrementando la productividad de la tierra, el agua y el trabajo y permitiendo mayor diversificación en las dietas y la generación de ingresos en las áreas rurales. Existe una gran variedad de nuevas técnicas y sistemas de producción que han demostrado su valor en situaciones experimentales y operacionales en países tan diversos como Brasil, Kenia Holanda y China. Ellos se centran alrededor de principios como máxima cobertura para mejorar la infiltración de agua, prevenir la erosión y la destrucción

1. La superficie de la tierra es de 13bn ha. Se estima que la tierra agrícola actualmente en uso ocupa aproximadamente 1.6 bn ha. El total de la tierra agrícola apta para cultivos sin riego es aproximadamente 4 bn ha. El área de tierras ganaderas es aproximadamente el doble del área agrícola (Hoogwijk *et al*., 2004) (Patty en bibliografía solo aparece 2003 y 2005 a y b). Según la IEA aproximadamente 14 millones de hectáreas de tierra cultivable está en uso actualmente para la producción de biocombustibles (IEA, World Energy Outlook, 2006).
2. Por ejemplo agricultura biosalina, puede introducir grandes áreas de tierras salinas improductivas.

de la materia orgánica del suelo; la época oportuna de aplicación de químicos como fertilizantes lo mismo que estimuladores de crecimiento para los animales para evitar dosis y emisiones excesivas a los ecosistemas circundantes, la reducción en el uso de pesticidas a través de la utilización generalizada de resistencia genética y métodos de control biológico y combinaciones inteligentes y diversidad de cultivos perennes y anuales, incluyendo sistemas agroforestales; el uso óptimo de la mecanización como por ejemplo labranza mínima, agricultura de precisión; el uso selectivo de biotecnología (variedades resistentes a insectos tanto de animales como de cultivos y sistemas radicales mejorados); uso racional del agua a través de riego por goteo, irrigación deficitaria, etc.; sistemas hortícolas virtualmente cerrados y sistemas de producción ganadera altamente higiénicos y de bajas emisiones.

Aunque en general la proporción de la población en el sector agrícola disminuirá, muchos países, especialmente en África, seguirán siendo fuertemente dependientes de la agricultura. Cerca del 70% de los pobres del mundo viven en áreas rurales y 50% de la población mundial todavía depende de la biomasa convencional para sus servicios básicos de energía. Para ellos, la agricultura continuará siendo el principal motor de desarrollo, y en estas áreas la modernización de la agricultura a través de una nueva Revolución Verde es una necesidad apremiante. Cualquiera que sea la forma que tome la bioenergía, ellos deben ser parte de esta tendencia de modernización a través de mayor eficiencia en el uso de la tierra, el agua, el trabajo y los insumos.

¿Biomasa para alimentos o combustibles?

Los posibles impactos de la bioenergía en la sostenibilidad y seguridad alimentaria dependen de muchos factores: decir que los alimentos y los combustibles están abiertamente en conflicto plantea un dilema engañoso porque un desplazamiento inmediato y masivo de los cultivos de alimentos por cultivos energéticos es muy improbable. Sin embargo, la preocupación acerca del desplazamiento de los cultivos de alimentos, especialmente en los países pobres, está aumentando.

Los biocombustibles ocupan aproximadamente 25 millones de hectáreas en el orden mundial, comparado con las 5.000 millones de hectáreas (la suma de las tierras agrícolas y ganaderas), que se utilizan en el mundo en producción de alimentos para humanos y animales. Es muy improbable que el impacto neto en los precios de alimentos, directamente relacionado con la producción de biocombustibles, sea grande; de tal manera que existen otros factores que explican las preocupaciones.

La especulación y los mecanismos de precios artificiales pueden crear distorsiones del mercado a mediano y largo plazos, que pueden tener un efecto alcista en los precios de la tierra y los alimentos y, por tanto, estimular las preocupaciones acerca de la futura oferta de alimentos como fue el caso de la llamada "guerra de tortilla" en México en 2007. La creciente demanda por alimentos para humanos y animales como tal, la apertura económica y la disminución de las reservas (que hacen que los precios sean mucho más volátiles que en el pasado) contribuyen al ambiente actual.

La reacción en México es un caso puntual, ya que el país pagó el precio del Tratado NAFTA, que lo hace mucho más dependiente de las importaciones (subsidiadas) de Estados Unidos y lo ha conducido a una reducción en la producción de maíz en el ámbito nacional. El alza de los precios causada por la escasez de oferta también condujo a respuestas rápidas en el aumento de la producción de maíz en México nuevamente e hizo que la agricultura (inversiones en mejores y más eficientes formas de producción) fuera más viable. La crisis de la tortilla fue un asunto pasajero.

Sin embargo, debemos tener cuidado con un conflicto potencial donde actualmente formas de producción de biocombustibles subsidiadas e ineficientes compiten por la tierra en el uso para alimentos tanto para humanos como para animales. Los gobiernos que aspiran a darle a los biocombustibles un papel significativo en el futuro cercano deben formular objetivos realistas con base en niveles de producción y tasas de conversión reales. Hasta ahora, las opciones de políticas en esta área evidentemente no están impulsadas por la eficiencia económica sino por consideraciones estratégicas y geopolíticas como por ejemplo la autosuficiencia energética. Estados Unidos y la Unión Europea han establecido cuotas de importación o gravámenes a las importaciones que impiden el libre comercio internacional de biocombustibles. Únicamente bajo dichas condiciones aumenta el riesgo de competencia inducido por el precio entre alimentos y combustibles.

En los países en vía de desarrollo la sustitución de alimentos por cultivos energéticos es muy improbable porque la biomasa como tal no es fácilmente comercializable a largas distancias; por ejemplo, es improbable que el llamado Tercer Mundo sea utilizado masivamente para la producción de energía limpia alternativa para el mundo desarrollado o para China o India. Más aún, la demanda por alimentos, tanto para humanos como para animales, está creciendo y mejorará los ingresos de los granjeros y la disposición a invertir en cultivos de plantas alimenticias. Sin embargo, el comercio mundial de biocombustibles (líquidos y sólidos, como peletizados, en vez de materias primas) está creciendo rápida y eficientemente. Esto debe ser visto como algo positivo para países potencialmente exportadores.

Estos son países, especialmente en África, donde las necesidades locales de energía son todavía bajas y donde hay poco potencial exportador. El papel de los biocombustibles puede ser comparado aquí con el papel de los cultivos comerciales como el algodón y el café y esto permite un mayor flujo de fondos disponibles y por tanto mayor inversión en el sector rural. Sin embargo, mientras que en los países ricos la competencia se puede eliminar fácilmente si las políticas gubernamentales promueven la conversión y uso eficiente de los recursos de biomasa que no inciden en la producción de alimentos, los países pobres tienden a tener gobiernos débiles y por tanto el riesgo de la explotación de los granjeros pobres no debe ser subestimado.

El dilema de alimentos o combustible debería llamarse más adecuadamente el dilema de concentrados para animales o combustible, ya que los principales cultivos energéticos, maíz y soya, son también cultivos para concentrados de animales. Por tanto, los biocombustibles presentan una competencia directa para el creciente sector ganadero, lo que refleja el cambio en hábitos alimenticios en los países en vía de desarrollo. Aquí también existen sinergias ya que la creciente demanda por concentrados para animales puede ser parcialmente compensada por subproductos de los biocombustibles como las harinas. Si los cultivos energéticos reemplazan o no los cultivos para concentrados es en gran parte un asunto de precios y preferencias del consumidor. Hasta ahora, el aumento en los ingresos siempre ha conducido a mayor consumo de proteína animal.

Los concentrados animales y los combustibles pueden ser complementarios y permiten a los granjeros mayor flexibilidad para cambiar la actividad ganadera o de producción de concentrados por materias primas para bioenergía. Las praderas representan extensas áreas que con frecuencia son utilizadas en forma ineficiente para ganadería extensiva. Las praderas bien manejadas pueden representar un importante y atractivo suministro de biomasa.

En áreas específicas en países en vía de desarrollo teóricamente puede surgir el dilema de si producir madera o combustible ya que la conversión de segunda generación de biomasa lignocelulósica de madera y troncos parece ser muy promisoria.

La madera no compite directamente con los alimentos para humanos o animales pero eso no quiere decir que esta biomasa no tenga un uso: en los países en vía de desarrollo (y algunos países del hemisferio norte) es muy utilizada como material de construcción y leña. Sin embargo, la utilización como leña se debe desestimular y reemplazar por usos más eficientes. Los troncos y el rastrojo también tienen un uso local importante como cobertura del suelo, mejoramiento del suelo y alimento para animales y puede hacer una gran diferencia en áreas pobres. Típicamente, después de un cultivo anual el rastrojo produce entre 6 y 8 toneladas por hectárea, lo que es significativo y puede jugar un papel importante en la fijación de carbono del suelo.

El aumento en los ingresos siempre ha conducido a mayor consumo de proteína animal.

¿Qué cantidad de tierra se necesita?

La cantidad de tierra disponible para cultivos energéticos depende de la cantidad de tierra requerida para la producción de alimentos y concentrados. Esto a su vez depende de la productividad agrícola y de los cambios en los hábitos alimenticios. Según la FAO, no hay realmente pruebas que sugieran una futura escasez de tierras en el ámbito mundial.

Entre comienzos de la década de 1960 y finales de la década de 1990, las tierras de cultivo en el mundo crecieron únicamente 11%, mientras que la población mundial casi se duplicó. Como resultado, las tierras de cultivo requeridas por persona se redujeron en 40%, de 0.43 hectáreas a únicamente 0.26 hectáreas, mientras que la población prácticamente se duplicó. Aún así, durante este mismo período, los niveles de nutrición mejoraron considerablemente y el precio real de los alimentos disminuyó. Esta tendencia se explica por un aumento espectacular en la productividad de la tierra que redujo el uso de la tierra por unidad de producción en 56% durante el mismo período.

Aunque se estima que aproximadamente 4 bn de hectáreas son aptas para cultivos sin riego, únicamente 1.6 bn están actualmente en uso. Esto no quiere decir que no exista escasez en el ámbito regional como resultado de la producción de cultivos energéticos, en particular porque los excedentes no están distribuidos uniformemente en el orden mundial, ni que en algunas regiones no sea necesario conciliar la competencia por recursos de agua y nutrientes del suelo. Esto simplemente indica que, en el ámbito mundial, las preocupaciones acerca de la seguridad alimentaria o pérdida de naturaleza y biodiversidad no se justifican.

La pretensión real sobre recursos de tierras cultivables que surge de la producción a gran escala de cultivos energéticos depende en gran parte de la selección del cultivo y de la eficiencia de toda la cadena de conversión de energía de principio a fin (Tabla 1). Es importante resaltar que cuando la lignocelulosa se utiliza como materia prima la producción no se limita a tierras de cultivo, sino que se suma a los residuos de cosecha y a la producción de tierras marginales y degradadas que actualmente no se utilizan para producción de alimentos. En última instancia, esta será la opción preferida en la mayoría de los casos.

La producción de biomasa depende no solo de la tierra disponible sino también de otros factores limitantes, en particular agua y nutrientes. Las deficiencias de nutrientes no se deben sobreestimar ya que pueden ser corregidas con el uso eficiente de fertilizantes, que a su vez debe ser producido en forma eficiente. El nitrógeno es ampliamente disponible y aunque su producción requiere de uso intensivo de energía puede ser producido utilizando energía renovable.

Los fosfatos no son problema para los cultivos perennes porque utilizan mucho menos fosfato que los cultivos anuales y es principalmente retenido en el ecosistema a través del sistema radical y la caída de residuos; el reciclaje de cenizas después de la conversión del cultivo en energía limita las necesidades de fosfato (como se hace, por ejemplo, en Austria y en Suecia), pero el fosfato con frecuencia debe ser suministrado en plantaciones jóvenes para iniciar las plántulas.

La escasez de agua es un asunto serio, y es altamente político, en los ámbitos local y regional y es principalmente una cuestión de precios. La falta de legislación y políticas nacionales sobre agua y precios del agua para promover eficiencias son una gran barrera para la agricultura en general en áreas áridas y semiáridas y, por tanto, para el uso del agua en la producción de biomasa.

En muchos casos existen técnicas adecuadas de manejo agrícola y se está haciendo investigación para promover mayor eficiencia a través de aplicaciones específicas utilizando, por ejemplo, riego por goteo y el llamado riego deficitario que reduce aún más el uso de agua. Se pueden lograr mejoras dramáticas con el reciclaje de aguas de escorrentía y percolación de tal manera que el único uso de agua es en la evapotranspiración. En algunos casos la producción de biomasa puede contribuir a mejorar el manejo y la retención de agua, especialmente en sistemas de reforestación.

Si la base del recurso para biocombustibles se extiende a materias primas celulósicas como, por ejemplo, gramíneas y árboles de rápido crecimiento como sauces y eucaliptos, todo el panorama cambiaría dramáticamente. No solo sería el rendimiento neto de energía por hectárea considerablemente más alto (Tabla 1), sino que también estos cultivos abrirían una base de tierra mucho más grande para la producción, en comparación con los cultivos anuales. La conversión de biomasa lignocelulósica requiere la disponibilidad de procesos comerciales de conversión para dichas materias primas y la infraestructura de mercado y suministro para la capacidad de producción de biocombustibles de segunda generación.

Bioenergía y sostenibilidad

En términos de sostenibilidad, básicamente no existen diferencias entre la producción de bioenergía y otro

Tabla 1. Rangos indicativos para rendimiento de biomasa y subsiguiente producción de combustibles por hectárea/año para diferentes sistemas de cultivo en diferentes situaciones. Los cultivos de almidón y azúcar requieren conversión a través de fermentación a etanol y las oleaginosas a través de esterificación para producción de biodiésel (tecnología comercial actual). Los cultivos de gramíneas y plantas leñosas requieren hidrólisis seguida por etanol o gasificación a gas de síntesis para producir combustible sintético (vías de conversión aún no comerciales)

Cultivo	Rendimiento de biomasa (odt/ha*año)	Rendimiento de energía en combustible (GJ/ha*año)
Trigo	4 - 5	~ 50
Maíz	5 – 6	~ 60
Remolacha azucarera	9 – 10	~ 110
Soya	1 – 2	~ 20
Caña de azúcar	5 – 20	~ 180
Palma de aceite	10-15	~ 160
Jathropha (tierra buena calidad)	5-6	~ 60
SRC clima templado	10 – 15	100 - 180
SRC clima tropical	15 - 30	170 - 350
Gramíneas buenas condiciones	10 - 20	170 – 230
Perennes tierras marginales /degradadas	3 - 10	30 – 120

tipo de producción agrícola: la eficiencia de las proporciones de insumos-producción se debe maximizar y las emisiones al ambiente se deben minimizar. No existe ninguna justificación para reducir la eficiencia a través de distorsiones de los precios del mercado o la promoción de cultivos específicos o usos finales.

En gran medida el impacto ecológico que los cultivos energéticos es una función del tipo de cultivo o árbol y el ambiente agroecológico. Mucho depende del tiempo que el cultivo cubre el suelo y de cuánto tiempo permanece el suelo desnudo expuesto a la erosión. Los cultivos anuales como, por ejemplo, soya, canola, trigo, son generalmente menos favorables que los cultivos perennes como la palma de aceite y especies forestales (sauce o eucalipto), o cultivos semiperennes como la caña de azúcar, la yuca y los pastos. Una vez establecidos, los cultivos de árboles no requieren arado, proporcionan mejor cubrimiento del suelo en tiempo y espacio, menos perturbación del suelo y erosión, mejor fijación de carbono y tiene efectos positivos en la hidrología. De tal manera que el balance parece estar a favor de los cultivos perennes y forestales.

Reducciones estimadas de emisiones de gases de efecto invernadero de materias primas para biocombustibles con relación a combustibles fósiles: fibras celulósicas (Miscanthus, Eucalyptus) 70-110%; desechos (desechos de aceites, residuos de cosechas, MSW) 65-100%; azúcares (caña de azúcar, remolacha azucarera) 40-90%; aceites vegetales (colza, girasol, soya) 45-75%; almidones (maíz, trigo) 15-20%.

Pero no es simplemente una cuestión del cultivo. Si los bosques primarios se talan para sembrar palma de aceite, los costos ambientales pueden ser muy altos y probablemente inaceptables. Esto se agrava si la tala de los bosques se combina con quemas generalizadas que conducen a la pérdida de la materia orgánica del suelo, cambios en la química de la capa vegetal, emisiones de carbono y pérdida de biodiversidad. Si los bosques de pantanos se talan y se drenan los suelos, el resultado puede ser desastroso debido a las emisiones de metano causadas por el drenaje. La tala de los bosques se debe evitar, si no prohibir, no solamente debido a la pérdida de biodiversidad y secuestro de carbono sino también debido a la perturbación generalizada del ecosistema por el uso de maquinaria pesada y la disminución de la biomasa.

Sin embargo, en tierras ya deforestadas, cultivos energéticos perennes como la palma de aceite o semiperennes como la caña de azúcar son más benéficos para el ambiente que por ejemplo la soya. Igualmente, en tierras infértiles no aptas para cultivos anuales, las gramíneas para biomasa pueden ser la única alternativa viable para la ganadería extensiva.

Desarrollo sostenible de mercados internacionales de biomasa y bioenergía (PGG, 2007, van Dam *et al*. 2008)

El alza de los precios de los combustibles fósiles en los últimos años, las crecientes preocupaciones ambientales y consideraciones de salud y seguridad lo mismo que intereses para cambiar los subsidios agrícolas e incrementar los ingresos de los productores han aumentado el uso de biomasa como una fuente de energía renovable en todo el mundo. Las expectativas para los próximos años, con base en escenarios de energía y diferentes objetivos de las políticas, indican mayor crecimiento en la producción mundial de biocombustibles líquidos, biomasa sólida y peletizados para muchos países y regiones.

Además del fuerte incremento en biocombustibles líquidos, el comercio y la producción de peletizados y otras formas sólidas de biomasa también va en aumento. Por ejemplo, las exportaciones canadienses totales de peletizados de madera llegaron aproximadamente a 625.000 t en el año 2006. La participación de biomasa importada en los Países Bajos aumentó 30% en el año 2003 y 50% en 2004 (base masa). Para cocombustión y electricidad, la participación aumentó de 30 a 80% en 2005. Essent, el usuario más grande de biomasa en los Países Bajos, informó que aproximadamente el 30% de la biomasa se originaba en Norteamérica, el 25% en Europa occidental, el 20% en Asia y el 25% en otras regiones (Junginger *et al.,* 2008).

Un suministro confiable y sostenible de biomasa es vital para cualquier actividad comercial dirigida a la producción de bioenergía. Dadas las altas expectativas para la bioenergía a escala mundial y para muchas naciones, la presión sobre recursos disponibles de biomasa está aumentando rápidamente. Debido a los altos precios de petróleo, los progresos tecnológicos y un creciente mercado para la reducción de emisiones de CO_2, los impulsadores económicos del creciente uso de la biomasa, la producción y el comercio se han fortalecido considerablemente.

Sin el desarrollo de los recursos de biomasa (por ejemplo, a través de cultivos energéticos) y un mercado funcional de biomasa que pueda garantizar un suministro confiable, las grandes ambiciones con respecto a la bioenergía pueden no realizarse. La falta de disponibilidad de recursos de biomasa de buena calidad (y competitivos) ha demostrado ser una barrera estructural para muchas iniciativas de mercado en el pasado. Por otro lado, varios países, como Brasil, Suecia, Finlandia, Canadá y los Países Bajos, tienen gran experiencia en la construcción de mercados de biomasa y en relacionar los recursos disponibles con las demandas del mercado.

Recientemente, el comercio internacional de biomasa ha pasado a ser parte del portafolio de los mercados y los volúmenes comercializados en el ámbito mundial están aumentando a un ritmo acelerado e inclusive se han duplicado en algunos mercados en los últimos años. El hecho de que los mercados estén creciendo significa que cada vez hay más recursos disponibles de regiones donde el uso de la biomasa era bajo o inexistente y los riesgos de suministro para los usuarios de la biomasa se han reducido debido a ofertas más diversas y confiables.

En forma sorprendente, la biomasa ha sido considerada por mucho tiempo como una fuente de energía para uso local y regional (debido a la limitada disponibilidad y supuestamente costos prohibitivos para transporte a largas distancias). Esto es sorprendente desde el punto de vista de que básicamente cualquier materia prima energética se comercializa en el ámbito (combustibles fósiles, energía eléctrica). Recientemente, el debate internacional sobre el papel de la bioenergía ha tomado una dirección diferente y el mercado internacional de la biomasa no solo es discutido sino que ha venido entrando a los mercados rápidamente.

Además, el concepto de que los mercados internacionales de bioenergía y la conciencia de sostenibilidad de la producción y comercialización de biomasa se deben asegurar ha venido ganando impulso en todo el mundo. Organizaciones internacionales como el Banco Mundial, las Naciones Unidas (UNCTAD con su iniciativa sobre biocombustibles y FAO), la Asociación de Bioenergía del G8, la OMC y varias naciones europeas (Alemania, Reino Unido, Italia, Países Bajos, Escandinavia), Brasil, Canadá, Rusia, Estados Unidos, Japón y otros países asiáticos, lo mismo que empresas y ONG se han vuelto muy activas, como se evidencia por la creación de varias mesas redondas multipartitas,

que ahora existen para aceite de palma, soya azúcar y biocombustibles.

El desarrollo de verdaderos mercados internacionales para bioenergía se ha convertido en un motor esencial para desarrollar recursos de biomasa y bioenergía que actualmente están subutilizados en muchas regiones del mundo. Esto es cierto tanto para residuos (disponibles) como para las posibilidades de producción dedicada de biomasa (a través de cultivos energéticos o sistemas multifuncionales como los sistemas agroforestales). Se pueden distinguir varios impulsadores del comercio internacional de bioenergía:

- En la actualidad, la seguridad en el suministro de combustibles es el principal impulsador del uso y comercio de la biomasa. La biomasa diversifica el portafolio total de los combustibles utilizados e importados por los países. Esto puede reducir los riesgos de perturbaciones en el suministro en términos de cantidad y precio. Este argumento es particularmente fuerte en biocombustibles para el sector de transporte ya que reemplaza las importaciones de petróleo. Los precios en los mercados mundiales de petróleo y gas (y carbón en menor grado) han demostrado ser un importante impulsador.
- Un segundo impulsador es la rentabilidad de la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero. En la actualidad, la demanda por biomasa está creciendo debido a las políticas sobre el clima de varios países. Importar es a veces más atractivo que explotar el potencial de biomasa local en situaciones donde los recursos nativos son insuficientes (o no existen recursos suficientes disponibles con calidades y costos específicos). A la larga, varias regiones del mundo tendrían más ventajas inherentes en la producción de biocombustibles de bajo costo que en otras partes del mundo.
- Un tercer impulsador es el desarrollo económico como tal. Muchas instituciones e investigaciones han indicado la posible fuerte relación positiva entre el desarrollo del uso de la bioenergía y el desarrollo local. Mercados de biomasa confiables pueden proporcionar una fuente sostenible de ingresos para las comunidades rurales. Además, para varios países que pueden exportar biomasa en el futuro estas exportaciones pueden proporcionar beneficios sustanciales para sus balanzas comerciales.
- Un cuarto impulsador podría ser el manejo sostenible y el uso racional de los recursos naturales. Este puede ser a primera vista un argumento menos claro y obvio en favor del comercio de la bioenergía, pero podría ser esencial.

La producción y el uso de biomasa a gran escala para energía requerirá el uso de tierras adicionales. El mercado de exportación puede ser el detonante para obtener beneficios, cuando la producción de biomasa pueda ser combinada con mejores prácticas agrícolas y la recuperación de tierras degradadas y marginales.

En la actualidad, la seguridad en el suministro de combustibles es el principal impulsador del uso y comercio de la biomasa.

La posibilidad de exportar materias primas derivadas de biomasa para el mercado mundial de energía puede proporcionar una demanda estable y confiable para las comunidades rurales en muchos países en vía de desarrollo, creando un incentivo importante y acceso al mercado que es muy necesario en muchas partes del mundo. Lo mismo es cierto para los usuarios e importadores de biomasa que dependen de un suministro estable y confiable para permitir inversiones (con frecuencia muy grandes) en infraestructura y capacidad de conversión.

Esta estabilidad del mercado y gestión adecuada para garantizar la sostenibilidad de la producción y comercialización de biomasa está muy lejos de ser lograda. Los mercados son todavía inmaduros y volátiles.

Para mercados como servicios públicos, compañías que proveen combustibles de transporte, y otros actores involucrados en producción y suministro de biomasa (como por ejemplo las compañías forestales),

el conocimiento de alta calidad, los criterios claros y la identificación de posibilidades promisorias son áreas de gran interés. Las inversiones en infraestructura y capacidad de conversión dependen de la minimización de riesgos de perturbaciones de suministro en términos de volumen, calidad y precio.

La creciente producción y utilización de biomasa como fuente de energía renovable ha creado un mercado internacional y ha llevado a un aumento en el comercio de recursos de biomasa. El comercio internacional de biocombustibles y materias primas relacionadas puede proporcionar oportunidades para todos los países: para algunos países importadores es una precondición necesaria para lograr las metas establecidas. Para los países exportadores, especialmente países pequeños y medianos en vía de desarrollo, los mercados de exportación son necesarios para iniciar sus industrias.

En los países en vía de desarrollo las posibilidades y potenciales para la producción moderna de bioenergía, incluyendo exportaciones, son más grandes.

La producción y cosecha de cultivos energéticos puede tener impactos negativos en los ecosistemas, en el uso de la tierra, impactos socioeconómicos y emisiones de GEI (por ejemplo, transporte *vs.* utilización en el sitio). Con el esperado aumento considerable en materias primas y biocombustibles la producción sostenible se ha convertido en una preocupación fundamental y actualmente considerada como un requisito para acceso a los mercados (Zarrilli, 2006).

El establecimiento de normas y los sistemas de certificación son posibles estrategias que pueden ayudar a garantizar que los biocombustibles sean producidos en forma sostenible (WWI, 2006). Recientemente, los responsables de formular políticas, científicos y otros interesados han reconocido estos aspectos.

La certificación es el proceso por medio del cual un agente independiente evalúa la calidad del manejo con relación a un conjunto de requisitos predeterminados (normas). Estos requisitos generalmente se formulan como criterios que deben ser cumplidos para la certificación de un producto o un proceso de producción. Para utilizar criterios para la formulación de una norma de certificación deben ser operacionales y mensurables. Con este fin, se utilizan indicadores y verificadores (Lewandowski *et al.,* 2005).

En los últimos años se han realizado esfuerzos para tomar los pasos necesarios hacia la certificación para biomasa importada (van Dam *et al.*, 2008). En última instancia, la biomasa y los biocombustibles se pueden convertir en un mercado de productos básicos. Esto puede tener ventajas importantes como mayor estabilidad de los mercados y precios más bajos. Garantizar la sostenibilidad es ahora un gran reto. La forma en que esto se maneja es un asunto abierto todavía y está en una etapa crucial: actualmente todavía se tienen opciones fundamentales sobre cómo se desarrollan, gobiernan y controlan los mercados de bioenergía.

Por tanto, también es crucial lograr la colaboración internacional entre países e instituciones como las Naciones Unidas y la OMC. El diálogo es importante para obtener apoyo lo mismo que para definir las condiciones de cómo la producción y suministro sostenible de biomasa se puede introducir mejor en el mercado. Es claro que no todos los criterios con respecto al uso de la tierra, competencia, biodiversidad, etc. se pueden cumplir al nivel más alto en el corto plazo. Además, se debe encontrar un equilibrio entre lo que es funcional en el mercado y lo que es necesario para garantizar la sostenibilidad de la producción y el suministro de biomasa y biocombustibles.

Se pueden aprender lecciones de sistemas de certificación existentes. En el pasado, los estrictos sistemas estaban con frecuencia limitados a partes muy pequeñas del volumen total del mercado. Por el contrario, los sistemas con estándares mínimos tenían menos garantías, pero no eran aplicables a una porción mucho más grande del mercado en cuestión. El desarrollo de mercados sostenibles (y participación de mercados) debe por tanto ser visto como un proceso gradual. El desarrollo e implementación de sistemas relativamente exitosos como FSC (para silvicultura) demoran mucho tiempo y todavía están en proceso

de desarrollo. Tener una visión de largo plazo sobre la certificación de biomasa y bioenergía parece ser lo más prudente.

Todavía no es claro cuáles serían las trayectorias más adecuadas para implementar una certificación que cuente con amplio apoyo. La posición de la Comisión Europea sobre esto, que debe estar definida para el año 2008, tendrá influencia internacional.

También hay asuntos de contenido que se deben resolver. Abordar todas las áreas de preocupación con relación a la producción de biomasa con criterios concretos, especificación de diseño e indicadores verificables es un reto complejo. Para muchas áreas (particularmente competencia y uso de la tierra, biodiversidad y otros temas ambientales) no existen todavía procedimientos y protocolos. La complejidad se hace mayor por el gran número de entornos y sistemas de producción de biomasa existentes, más los que pueden ser considerados en el futuro. Surgen además otros interrogantes acerca de la gestión de los mercados y sobre qué actores pueden tener el control.

Como se discutió anteriormente, ya han surgido iniciativas en muchos países, en la EC, mercados y ONG. La demanda, por ejemplo en países del Sudeste Asiático como Japón, tendrá un impacto importante en los mercados de biocombustibles en el corto plazo. Al mismo tiempo, la creciente demanda estimula cada vez a más actores y países a invertir, particularmente Rusia, Ucrania la región de Mercosur, África del Sur (Mozambique y Tanzania) y Canadá. El apoyo y la implementación de la certificación es por tanto un asunto de interés mundial.

Asesoramiento sobre políticas y precondiciones clave (Dornburg *et al*., 2008)

En resumen, el potencial de los recursos de biomasa y el grado de utilización depende de muchos factores. Algunos de esos factores están en gran parte fuera del control de las políticas como, por ejemplo, el crecimiento de la población y la demanda por alimentos. Los factores que pueden ser más fuertemente influenciados por las políticas son el desarrollo y la comercialización de tecnologías clave (tecnologías de conversión para la producción de combustibles a partir de biomasa lignocelulósica y sistemas de cultivos perennes), a través de estrategias específicas de investigación y desarrollo.

Otras áreas son:

- Criterios de sostenibilidad, como son definidos actualmente por diferentes gobiernos y mercados.
- Regímenes para comercio de biomasa y biocombustibles y adopción de criterios de sostenibilidad (típicamente para ser abordados en el ámbito internacional, por ejemplo a través de la OMC).
- Infraestructura: inversiones en infraestructura (agricultura, transporte y conversión) sigue siendo un factor importante para la implementación de la bioenergía.
- Modernización de la agricultura: particularmente en Europa, la política agrícola común y los subsidios relacionados permiten desarrollos específicos tanto de la agricultura convencional como de la producción de bioenergía de segunda generación. Sin embargo, dichos desarrollos sostenibles son cruciales para muchos países en vía de desarrollo y corresponden a los gobiernos nacionales, a la colaboración internacional y varias agencias de las Naciones Unidas (por ejemplo la FAO).
- Conservación de la naturaleza: políticas y objetivos de protección de la biodiversidad para determinar hasta qué punto las reservas naturales se protegen y se amplían y establecer normas para el manejo de otras tierras.
- Regeneración de tierras degradadas (y precondiciones requeridas) no es generalmente atractivo para los mercados y requiere de intervención de los gobiernos.

El conocimiento que se tiene actualmente permite definir pasos adicionales para lograrlo. En el marco de los criterios definidos por los Países Bajos por el llamado "Comité Cramer" (Cramer *et al*., 2007], se resalta que un número importante de criterios requiere mayor investigación y diseño de indicadores y procedimientos de verificación. Este es el caso particular de los llamados "macro temas" (cambio en el uso de la tierra, biodiversidad, impactos macroeconómicos) y algunos de los más complejos asuntos ambientales (uso del agua y calidad del suelo).

Está confirmado que en principio el potencial técnico y económico de los recursos de biomasa puede ser muy grande en el ámbito mundial (hasta una tercera parte de la demanda de la energía mundial de acuerdo con las proyecciones de demanda de energía del potencial de los recursos de biomasa). Sin embargo, solo una pequeña parte del potencial estimado estará disponible (residuos de biomasa y desechos orgánicos). La mayor parte del potencial tiene que ser desarrollado a través de cultivos y debe cumplir una amplia gama de criterios de sostenibilidad para evitar conflictos con relación al uso del agua, competencia por el uso de la tierra, áreas protegidas, biodiversidad, calidad del suelo y asuntos socioeconómicos.

Con base en los hallazgos de esta evaluación, para gran parte del potencial de los recursos las indicaciones son que dichos conflictos se pueden evitar e inclusive en algunas partes puede resultar en cobeneficios. Esto último puede ser cierto para el uso de algunas categorías de tierras degradadas (impactos en los suelos, uso del agua y biodiversidad), estrategias combinadas para la modernización de la agricultura y la diversificación de los patrones de cultivo (sistemas agroforestales, cultivos intercalados).

Tanto en tamaño como en términos de cumplimiento de esta amplia gama de criterios, los cultivos anuales de plantas alimenticias pueden no ser aptos como materia prima principal para la producción de bioenergía. Los cultivos perennes, sin embargo, ofrecen perspectivas muy diferentes. No solamente pueden ser cultivados en tierras agrícolas y ganaderas sino también en tierras más marginales y degradadas, aunque con menor productividad. Dicho sistema de cultivo representa un conjunto muy diverso de sistemas posibles de producción, desde operaciones forestales de baja intensidad y pastizales existentes hasta plantaciones de alta productividad con sistemas de monte bajo de corta rotación o gramíneas como Miscanthus.

La experiencia comercial con estos sistemas de producción de energía es todavía muy limitada, especialmente considerando tierras más marginales y degradadas y se requiere más investigación y trabajos de demostración para desarrollar sistemas factibles y sostenibles aptos para diferentes ambientes alrededor del mundo. Esta es una prioridad para las políticas agrícolas. La genómica puede jugar un papel importante tanto para el mejoramiento de la agricultura convencional como para la optimización de los cultivos perennes para bioenergía. Es importante también minimizar los impactos ambientales para las condiciones marginales. Además, los conceptos de biorefinería, en particular para producción de biocombustibles de segunda generación, son un campo importante para investigación y desarrollo y de gran utilidad para la genómica.

Probablemente el mayor desafío para el aprovechamiento del potencial de producción de biomasa en forma sostenible es el diseño de pautas y la implementación de estrategias. Dichas estrategias deben permitir la introducción gradual de los sistemas de cultivo de biomasa en las regiones rurales y simultáneamente mejorar la productividad agrícola y ganadera. El aumento de la productividad es un componente esencial para evitar reclamos conflictivos sobre la tierra y la fuerte competencia (por ejemplo, a través del aumento de los precios de alimentos). Las políticas dirigidas al desarrollo del uso de bioenergía y producción de biomasa deben incorporar una variedad de objetivos y límites.

El cumplimiento estricto de un criterio de GEI (ejemplo, 90% comparado con el uso de energía fósil) conducirá a diferentes opciones de manejo para cultivos y tierras en comparación con una situación donde no se ha formulado un criterio. Esto también es válido para el manejo sostenible de los recursos de agua, biodiversidad, y desarrollo rural. Claramente, el balance de objetivos será diferente para cada situación particular (por ejemplo, África rural y la Unión Europea) y se tendrán que hacer concesiones. Aquí se argumenta que dichas concesiones deben ser explícitas, equilibradas y deben incorporar límites claros que deben ser respetados y utilizados como un punto de partida para el desarrollo de la producción de biomasa en una región dada. Con este fin, también se puede diseñar el manejo y la implementación de incentivos (como por ejemplo subsidios y obligaciones).

Conclusiones

Si el mercado global de bioenergía realmente se va a desarrollar a una magnitud de 200-400 EJ por año en este siglo (comparado con 470 EJ del uso total de energía en el mundo), lo que es muy posible dados los

hallazgos de recientes evaluaciones de potencial mundial, el valor de ese mercado a US$ 4/GJ (considerando biomasa pretratada como peletizados) representaría aproximadamente 1,6 trillones dólares al año.

Lógicamente, no toda la biomasa sería comercializada en mercados internacionales pero esto indica la potencial importancia económica de este mercado para las áreas rurales del mundo, y sus implicaciones en la creación de empleo. Al tomar esto en consideración, aproximadamente una cuarta parte de los 400 EJ mencionados podrían cubrirse con residuos y desechos, otra cuarta parte con sistemas de producción de biomasa en tierras marginales y degradadas.

Por su parte la mitad restante de tierras agrícolas y ganaderas, aproximadamente 1.000 millones de hectáreas en el concierto mundial se pueden involucrar en la producción de biomasa; posiblemente cubriendo cerca de 500 millones de hectáreas de tierras agrícolas y ganaderas de mejor calidad y una cantidad similar de tierras marginales y degradadas. Esto representa aproximadamente el 8% de la superficie mundial y 10% de la tierra actualmente utilizada para producción de alimentos (agricultura y ganadería).

Existe acuerdo general sobre la importancia y el potencial del comercio internacional de bioenergía y mercados de biomasa para el desarrollo de bioenergía moderna a escala mundial. Las oportunidades para las regiones en vía de desarrollo son evidentes. También existe acuerdo sobre la necesidad de salvaguardas para evitar un crecimiento demasiado rápido y prácticas insostenibles. La certificación, preferiblemente a partir de un marco internacional aceptado pero desarrollado, aplicado y verificado en detalle en el ámbito regional con participación activa de los interesados, parece ser vital para lograr el objetivo.

En los países en vía de desarrollo las posibilidades y potenciales para la producción moderna de bioenergía, incluyendo exportaciones, son más grandes y donde al mismo tiempo la necesidad de desarrollar las áreas rurales es mayor. Estos temas cruciales, mercados mundiales de bioenergía y desarrollo rural, se combinan de manera formidable. Esto arroja una nueva luz sobre la opción de la bioenergía; la bioenergía debe verse como un producto básico energético en el ámbito mundial, y el hecho de que estamos viendo un desarrollo real del mercado en esta dirección nos indica que debemos estar preparados.

Dada la escala del mercado, el comercio de bioenergía podría proporcionar una de las vías de desarrollo sostenible más importantes para las próximas décadas. El desarrollo de la bioenergía como la mejor alternativa sostenible y de emisión neutra de carbono para los combustibles fósiles y que al mismo tiempo moviliza las áreas rurales alrededor del mundo a convertirse en productores y exportadores de energía podría contribuir a la disminución de la pobreza y mayor desarrollo.

Aunque se espera que los mercados y el comercio internacional de bioenergía sigan creciendo rápidamente debido a la demanda y al potencial, también existen muchas barreras que podrían interrumpir o por lo menos desacelerar el desarrollo de dichos mercados. Más aún, existen preocupaciones importantes acerca de la competencia por la tierra que puede estar en conflicto con la producción de alimentos, de los recursos de agua y la protección de la biodiversidad.

La biomasa puede ser una opción compleja, pero esto la convierte en un campo aún más desafiante y gratificante para la ciencia y el mercado.

Aunque la producción de biomasa podría proporcionar una estrategia vital para mejorar el uso sostenible de la tierra, se deben evitar desarrollos negativos a través, por ejemplo, de normas claras y pautas de buenas prácticas para los sistemas de producción de biomasa y su integración en las áreas agrícolas. Al ganar experiencia con la certificación, desarrollando los marcos internacionales adecuados, eliminando barreras comerciales y mostrando buenas prácticas en las operaciones a través de proyectos piloto orientados hacia la exportación en diversos países en vía de desarrollo y áreas rurales son temas cruciales en

el corto plazo. Buenos ejemplos, modelos comerciales exitosos y marcos sólidos de sostenibilidad pueden guiar las fuerzas del mercado en una dirección sostenible. Si tenemos éxito, podemos estar mirando a las primeras etapas del "OPEC Verde" (o BIO-PEC) del futuro.

Al volver al dilema con el que comenzó este ensayo: la biomasa y su uso para energía y materiales puede, sin duda, jugar un papel importante en el futuro del suministro mundial de energía. Pero no será fácil. Para varios sectores las complejidades alrededor de la biomasa y la sostenibilidad son una razón para no involucrarse en eso. Pero no podemos darnos ese lujo. El número de problemas que se deben abordar en forma simultánea (cambio climático, uso de la tierra, disminución de la pobreza, desarrollo rural y seguridad energética) es demasiado grande y demasiado amplio y no permite saltarse opciones. Las necesitamos todas. En particular las opciones que pueden ofrecer sinergias para lograr los diferentes objetivos cuando se implementan correctamente.

La biomasa puede ser una opción compleja, pero esto la convierte en un campo aún más desafiante y gratificante para la ciencia y el mercado.

Bibliografía

Best, Gustavo; Earley, Jane C.; Faaij, Andre; Fritsche, Uwe; Hester, Annette; Hunt, Suzanne; Tetsunari Lida, Johnson, Francis; Nastari, Plinio M.; Newman, Douglas E.; Opal, Charlotte A.; Martina Otto, Read, Peter; Sims, Ralph E.H.; Trindade, Sergio C.; Tschirley, Jeffrey Bernard; Zarilli, Simonetta. 2008. *Sustainable Biofuels Consensus.* Bellagio Declaration, prepared with support from the Rockefeller Foundation: 8. April.

Cramer, Jacqueline; Wissema, Erik; De Bruijne, Mariska; Lammers, Ella; Hans Jager, Daan Dijk; Van Bennekom, Sander; Breunesse, Ewald; Horster, Robert; Van Leenders, Caroline; Wonink, Steven; Wolters, Wim; Kip, Helma; Stam, Hugo; Faaij, André; Kwant, Kees; Hamelinck, Carlo; van den Heuvel, Eric; Dehu E., Bart; Bergsma, Geert; Croezen, Harry; Kampman, Bettina; Vroonhof, Jan; Junginger, Martin; Smeets, Edward; Dornburg, Veronika; Maris, Johan; Prose, Mark; Jan; Kessler, Joost; Sielhorst, Sven. 2007. *Eindrapport van de projectgroep Duurzame productie van biomassa.* Ministerie van Economische Zaken: 45 + Appendices. March.

Dornburg, Veronika; Faaij, André; Langeveld, Hans; van de Ven, Gerrie; Wester, Flip; Van Keulen, Herman; Van Diepen, Kees; Ros, Jan; Van Vuuren, Detlef; Van den Born, Gert Jan; Van Oorschot, Mark; Smout, Fleur; Aiking, Harry; Londo, Marc; Mozaffarian, Hamid; Smekens, Koen; Meeusen, Marieke; Banse, Martin; Lysen, Erik; Van Egmond, Sander. 2008. *Biomass Assessment: Assessment of global biomass potentials and their links to food, water, biodiversity, energy demand and economy – Main Report.* Study performed by Copernicus Institute – Utrecht University, MNP, LEI, WUR-PPS, ECN, IVM and the Utrecht Centre for Energy Research, within the framework of the Netherlands Research Programme on Scientific Assessment and Policy Analysis for Climate Change. Reportno: WAB 500102012, January: 85 + Appendices.

Faaij, André. 2006. *Modern biomass conversion technologies*. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change. 11 (2): 335-367. March.

Faaij, André; Domac, Julije. 2006. *Emerging international bio-energy markets and opportunities for socio-economic development.* Energy for Sustainable Development (Special Issue on Emerging International Bio-energy markets and opportunities for socio-economic development). X (1): 7-19. March.

Faaij, André; Wagener, Martijn; Junginger, Martin; Best, Gustavo; Bradley, Douglas; Fritsche, Uwe; Grassi, Angela; Hektor, Bo; Heinimö, Jussi; Klokk, Solvar; Kwant, Kees; Ling, Erik; Ranta, Tapio; Risnes, Havar; Peksa, Malgorzata; Rosillo-Calle, Frank; Ryckmanns, Yves; Utria, Boris; Walter, Arnaldo; Woods, Jeremy. 2005. *Opportunities and barriers for Sustainable International bio-energy Trade; Strategic advice of IEA Task 40.* 14th European Biomass Conference and Exhibition: 17-21. Paris (France). October.

Fresco, Louise O. 2006. The Duisenberg Lecture, Singapore, September 17. Biomass, food and sustainability: Is there a dilemma? Universiteit van Amsterdam.

Hamelinck, C.; Faaij, A. 2006. *Outlook for advanced biofuels*. Energy Policy: 34, Issue 17: 3268-3283. November.

Hoogwijk, M.; Faaij, A.; de Vries, B.; Turkenburg, W. 2005b. Global potential of biomass for energy from energy crops under four GHG emission scenarios Part B: the economic potential. (In Press: Biomass & Bioenergy).

Hoogwijk, M.; Faaij, A.; Eickhout, B.; de Vries, B.; Turkenburg, W. 2005a. Potential of biomass energy out to 2100, for four IPCC SRES land-use scenarios. *Biomass & Bioenergy*. 29, Issue 4: 225-257. October.

Hoogwijk, M.; Faaij, A.; van den Broek, R.; Berndes, G.; Gielen, D.; Turkenburg, W. 2003. Exploration of the ranges of the global potential of biomass for energy. *Biomass and Bioenergy*. 25 (2): 119-133.

International Energy Agency (IEA). 2006. World Energy Outlook. 2006. OECD/IEA, Paris (France).

International Energy Agency. (IEA). 2004. *Biofuels for transport – an international perspective*, Office of Energy Efficiency. Technology and R&D, OECD/IEA. Paris.

IPCC. 2000. Special report on emission scenarios. Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge.

IPCC. 2007. IPCC Fourth Assessment Report, Working Group III, Available from http://www.ipcc.ch

IUCN & UNEP/WCMC. 2003. United Nations List of Protected Areas Report, The World Conservation Union (IUCN) and World Conservation Monitoring Centre (UNEP/WCMC). Gland, Switzerland and Cambridge (UK).

Junginger, Martin; Bolkesjø, Torjus; Bradley, Douglas; Dolzan, Paulo; Faaij, André; Heinimö, Jussi; Hektor, Bo; Leistad, Øyvind; Ling, Erik; Perry, Miles; Piacente, Erik; Rosillo-Calle, Frank; Ryckmans, Yves; Schouwenberg, Peter-Paul; Solberg, Birger; Trømborg, Erik; da Silva Walter, Arnaldo; de Wit, Marc. 2008. Developments in international bioenergy trade. Biomass & Bioenergy. (In press).

Larson, E.D. 2007. A review of LCA studies on liquid biofuel systems for the transport sector. *Energy for sustainable development* X (2): 109-126.

Lewandowski, A. Faaij. 2006. Steps towards the development of a certification system for sustainable bio-energy trade. *Biomass & Bio-energy*. 30, Issue 2: 83-104. February.

Nap, Stiekema. (sf). NWO Essays: The relevance of genomics for the biobased economy.

OECD. 2008. OECD Environmental Outlook to 2030. Report, OECD - Organisation for Economic Co-Operation and Development. Paris.

PGG. 2007. *Roadmap duurzame biomassa import – achtergrondrapport van het platform groene grondstoffen*. Published by: Senter Novem, Sittard: 28 + Appendices.

Schmidhuber, Josef. 2006. Impact of an increased biomass use on agricultural markets, prices and food security: A longer-term perspective Global Perspective Studies Unit of FAO. This paper for the "International symposium of Notre Europe". Paris: 27-29. November.

Smeets, Edward M.W.; Faaij, André P.C.; Lewandowski, Iris M.; Turkenburg, Wim C.A. 2007. Quickscan of global bio-energy potentials to 2050. *Progress in Energy and Combustion Science*. 33, Issue 1: 56-106. February.

Van Dam, Jinke; Junginger, Martin; Faaij, André; Jürgens, Ingmar; Best, Gustavo; Fritsche, Uwe. 2008. Overview of recent developments in sustainable biomass certification. Biomass & Bioenergy. In Press.

van Sark, W.; Patel, M.; Faaij, A. 2006. *The potential of renewables as a feedstock for Chemistry and Industry*. Chapter 2 in: Renewable-Based Technology: Sustainability Assessment, Jo Dewulf and Herman van Langenhove (eds.). Published by: John Wiley & Sons: 19-37. March.

World Energy Assessment of the United Nations, UNDP, UNDESA/WEC. 2000. Published by UNDP. New York. September.

World Energy Assessment Overview. 2004. Update, UNDP, UN-DESA and the World Energy Council.

WorldWatch Institute. 2007. *Biofuels for Transport: Global Potential and Implications for Energy and Agriculture.* Published by EarthScan/ James & James: 336. April.

Zarrilli, S. 2006. The emerging biofuels market: regulatory, trade and development implications. United Nations Conference on Trade and Development (UNCTAD). Geneva.