

Biocombustibles, medio ambiente, tecnología y seguridad alimentaria

Biofuels: Environment, Technology and Food Security

AUTORES

José C. Escobar

Msc. en Eficiencia energética, doctorando en ingeniería mecánica, Núcleo de Excelencia en Generación Térmica y Distribuida (Nest), Universidad Federal de Itajubá (Unifei), Av. BPS 1303, Pinheirinho, 37500 – 903 Itajubá – MG, Caja Postal 50, jocesobar@gmail.com

Electo S. Lora

Ingeniero mecánico, Prof. Dr. en ciencias técnicas por la Universidad Técnica de San Petersburgo (Rusia), Coordinador del Nest, electo@unifei.edu.br

Oswaldo J. Venturini

Ingeniero mecánico, Prof. Dr. en ingeniería mecánica por la Universidad Federal de Itajubá, investigador del Nest, osvaldo@unifei.edu.br

Edgar E. Yáñez

Ingeniero químico, Msc. en ingeniería mecánica. Líder Programa industrial de Cenipalma. edgar.yanez@cenipalma.org

Edgar F. Castillo

Profesor de la Universidad Industrial de Santander (UIS), Departamento de Ingeniería Química efcastillo@cenicana.org

Oscar Almazán

Ingeniero químico, Dr. en ciencias biológicas, investigador titular del Icidca.

Palabras CLAVE

Biocombustibles, Seguridad alimentaria, Medio ambiente. Biofuels, Food Security, Environment.

Recibido: 2 abril 2009

Aceptado: 6 mayo 2009

Artículo publicado en: Renewable and Sustainable Energy Reviews 13 (2009) 1275-1287.

Resumen

La inminente decadencia de la producción mundial de petróleo, aunada al elevado costo de este combustible fósil y a las evidentes amenazas ambientales que trae consigo, han hecho que se intensifique el uso de biocombustibles y en consecuencia su la producción haya alcanzado volúmenes inusitados en los últimos diez años. Lo cual ha generado intensos debates promovidos por organismos internacionales y líderes políticos. Este artículo presenta el estado del arte de la producción actual de biocombustibles en el mundo y evalúa las causas del incremento de su demanda. También discute las opciones existentes de materia prima y rutas tecnológicas, así como aspectos de costo de producción y la relación de su viabilidad económica con los precios internacionales del petróleo. De igual forma, presenta algunos aspectos ambientales, la evaluación de impactos de programas de incentivo para la producción de biocombustibles con la herramienta “análisis de ciclo de vida”, los requerimientos en tierras cultivables y los impactos sobre la producción de alimentos. Se concluye que el aumento de la utilización de biocombustibles es inevitable, y que deben establecerse marcos reguladores nacionales e internacionales que pongan límites a la exploración de tierras y a los impactos consecuentes de la producción de biocombustibles, así como condiciones adecuadas de trabajo y remuneración digna para los trabajadores.

Summary

The imminent decline of the world's oil production, its high market prices and environmental impacts have made the production of biofuels reach unprecedented volumes over the last ten years. This is why there have been intense debates promoted by international organizations and political leaders in order to discuss the impacts of the biofuel



use intensification. Besides assessing the causes of the rise in the demand and production of biofuels, this paper also shows the state of the art of its world's current production. It also discusses different vegetable sources and technological paths to produce biofuels, as well as issues regarding production cost and the relation of its economic feasibility with oil international prices. The environmental impacts of programs that encourage biofuel production, farmland and requirements and the impacts on food production are also discussed, considering the life cycle analysis as a tool. It is concluded that the rise in the use of biofuels is inevitable and that international and national regulations must be established regarding the use of land and the environmental impacts caused by biofuel production. It is also mandatory to establish appropriate working conditions and decent remuneration for workers.



Introducción

Del total de la energía primaria consumida en el mundo, el 80,3% proviene de combustibles fósiles, cifra de la cual 57,7 se utiliza en el sector del transporte (IEA, 2006). Así, se puede concluir que ellos son responsables por la emisión a la atmósfera de grandes cantidades de contaminantes, incluidos los gases de efecto invernadero.

Su uso intensivo y poco eficiente para abastecer las necesidades energéticas de la humanidad en las últimas décadas, llevó a la disminución considerable de las reservas mundiales de petróleo y a pronosticar su agotamiento (teoría del *Peak oil*), que se calcula comenzará definitivamente en el año 2010. Esta situación está provocando la preocupación de los gobiernos de los países consumidores por garantizar su seguridad energética, conflictos bélicos y, por supuesto, el aumento de los precios. Es unánime la opinión de que la era de la energía barata ya está rebasada.

Los cambios climáticos resultado del calentamiento global causado por los gases del efecto invernadero, principalmente del dióxido de carbono (CO₂) producido por la quema de combustibles fósiles, está alterando de manera significativa los ecosistemas, al punto de que hay 150.000 muertes adicionales por año (Teske y Schäfer, 2007). El constante aumento de la temperatura promedio de la Tierra, que se incrementó en aproximadamente 2 °C, amenaza a millones de personas con un riesgo creciente de hambre, inundaciones y escasez de agua, además de graves enfermedades como la malaria.

Es por ello por lo que la utilización de biomasa, en particular de biocombustibles para usos energéticos, se hace cada día más interesante. Los biocombustibles (biodiésel, bioetanol) son sustitutos directos e inmediatos de los combustibles líquidos empleados en el transporte, y pueden ser fácilmente integrados a los sistemas logísticos en operación.

Reemplazar un porcentaje, por ejemplo de gasolina y diésel, por biodiésel o bioetanol, es el camino más fácil para aumentar la disponibilidad de combustibles en el sector del transporte (Camus y Laborda, 2006) y sustituir una parte de la energía de origen fósil en los vehículos. Sin embargo, el uso eficiente de los recursos utilizados en la cadena productiva de los biocombustibles es un aspecto que merece tanta atención como su propio desarrollo alternativo.

Dada las grandes extensiones de tierra que demandan algunos tipos de vegetales utilizados para elaborar biocombustibles, resulta de gran importancia el análisis de los impactos que los programas extensivos para hacerlo puedan tener sobre el abastecimiento de alimentos y el medio ambiente.

Factores que influyen en la producción y utilización de los biocombustibles en el mundo

Estado actual de las reservas mundiales de petróleo

Las reservas mundiales de petróleo están distribuidas de manera extremadamente irregular (Figura 1).

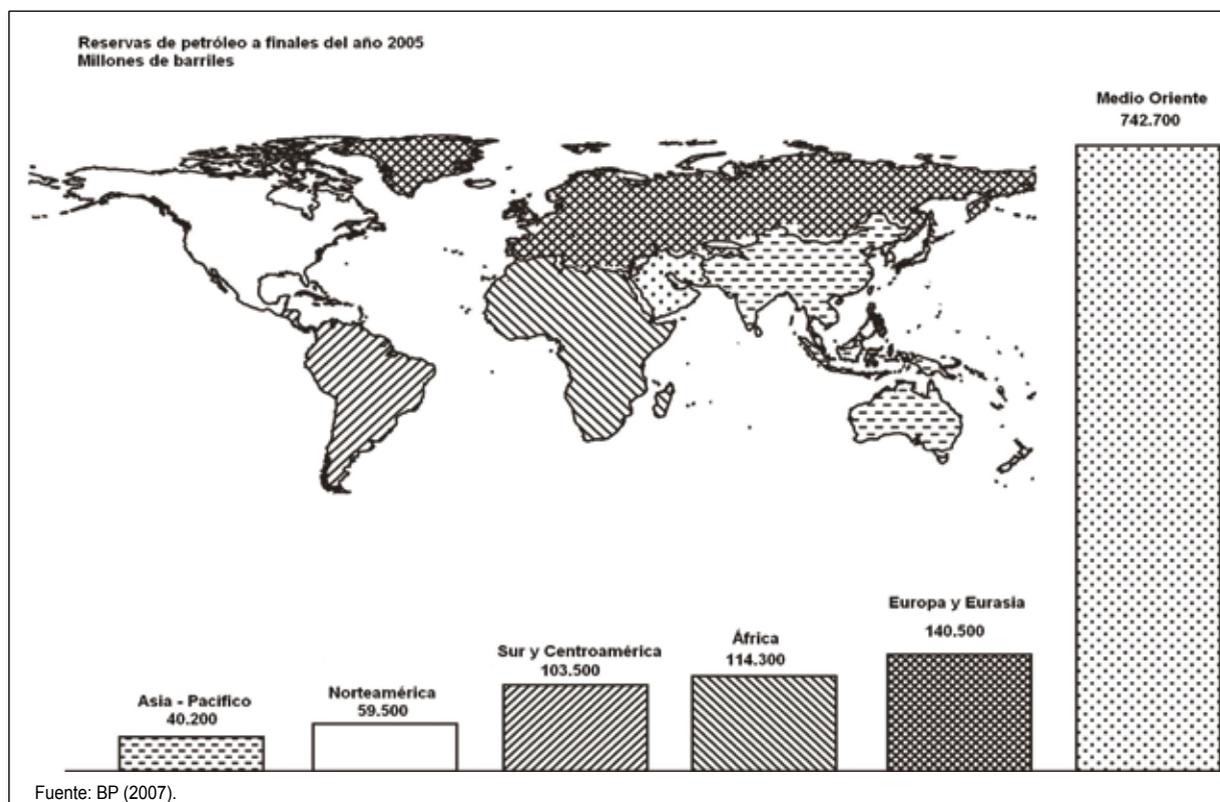


Figura 1. Estado actual y distribución de las reservas de petróleo en el mundo.

Solo algunas áreas reúnen características geológicas excepcionales que permitieron la formación y acumulación de cantidades significativas de él. Oriente Medio concentra cerca del 65% de las reservas mundiales del combustible, mientras que Europa y Eurasia responden por el 11,7%, África por el 9,5 %, Centro y Suramérica por el 8,6%, Norteamérica por el 5%, y Asia y el Pacífico por el 3,4% (BP, 2007).

Un estudio reciente (ExxonMobil, 2004) proyecta la decadencia de la producción mundial de combustibles fósiles, y la necesidad de utilización de nuevas fuentes que contribuyan al abastecimiento de la creciente demanda de energía (Figura 2).

Cambios climáticos

Los cambios climáticos ocurren como resultado de la variabilidad intrínseca de los sistemas climáticos y de la acción de factores externos, tanto naturales como antropogénicos. Las emisiones de gases del efecto invernadero tienden a aumentar la temperatura de la Tierra. El informe 4 del Panel Intergubernamental sobre Cambios Climáticos (IPCC), reconoce como altamente

probable que el calentamiento global sea el resultado líquido de las actividades humanas (IPCC, 2007).

Uno de los principales gases causantes del efecto invernadero es el CO₂. En el último siglo, las concentraciones atmosféricas de este elemento alcanzaron sus niveles más altos, tal como se observa en la Figura 3 (Conn, 2006). Desde la época preindustrial, las concentraciones atmosféricas de los gases del efecto invernadero han aumentado como consecuencia de las actividades humanas, principalmente por el empleo insostenible de los combustibles fósiles y los cambios en el uso de la tierra (IPCC, 2001).

Las variaciones esperadas en el clima incluyen cambios en la intensidad y distribución de las precipitaciones, elevación del nivel de los océanos, y aumento de frecuencia e intensidad de los fenómenos climáticos extremos.

De acuerdo con el IPCC (2007), la demanda de biocombustibles para el transporte en el año 2030 será de 45-85 EJ de biomasa primaria o 30-50 EJ de biocombustibles fósiles. La misma entidad indica

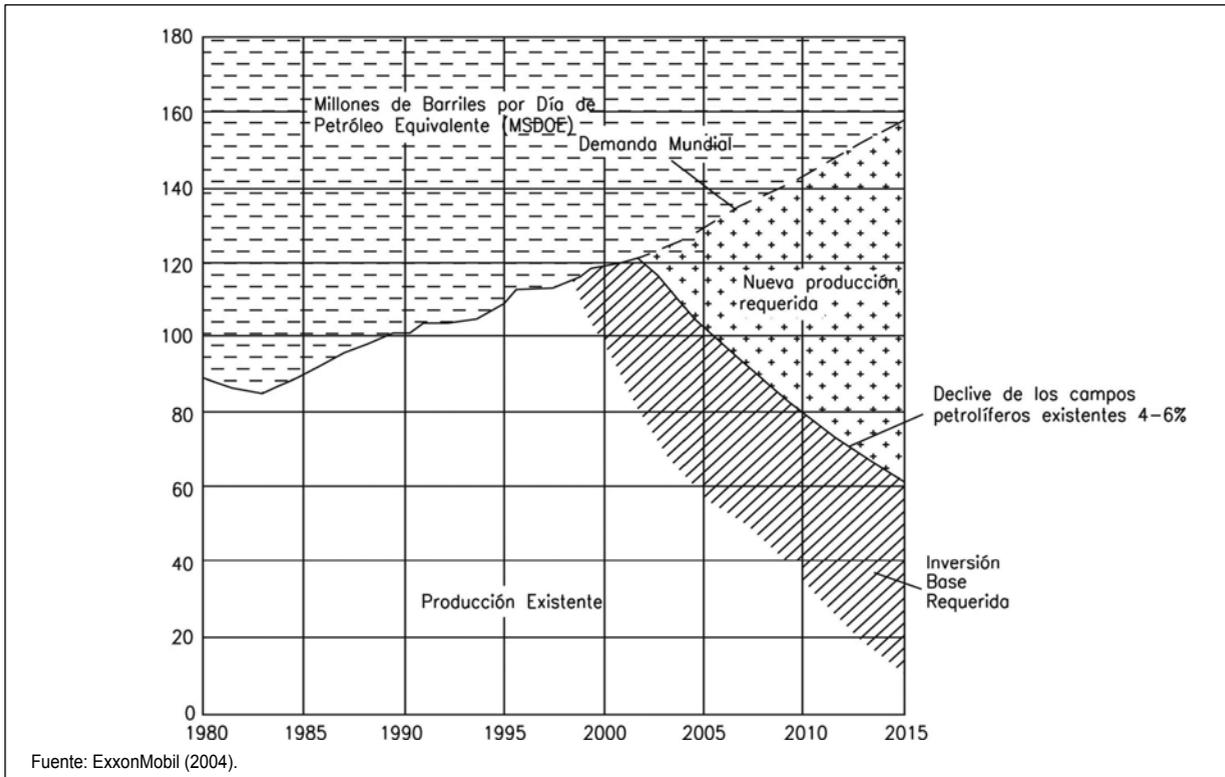


Figura 2. Proyección de la demanda de energía en los próximos años.

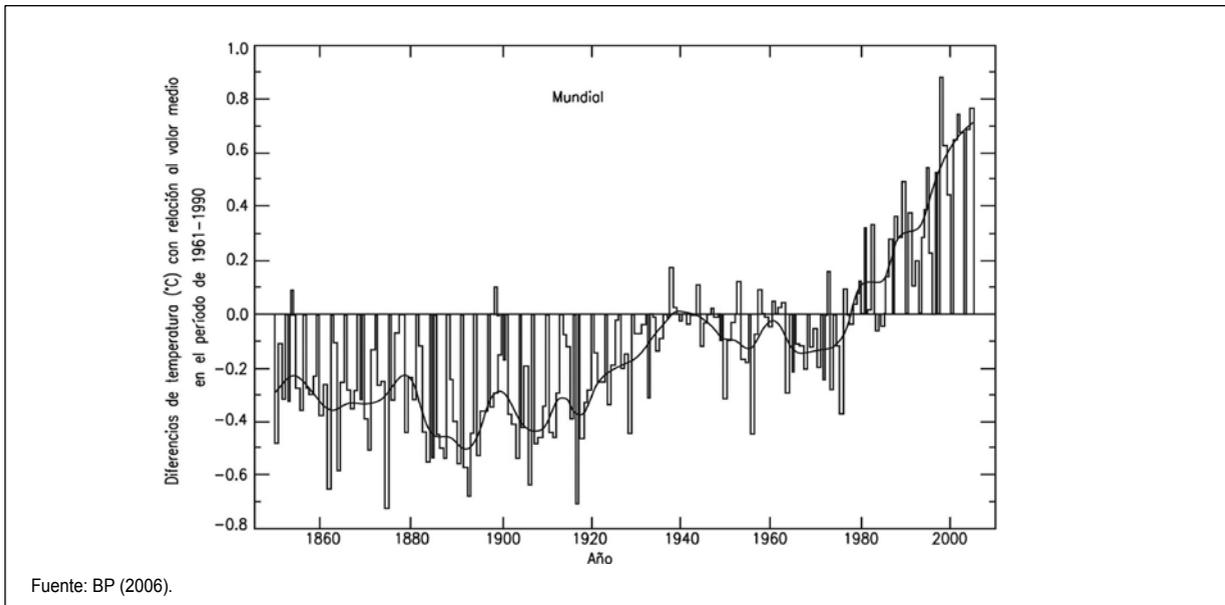


Figura 3. Variaciones en la concentración de CO₂ en la atmósfera y aumento en la temperatura global del planeta.

un potencial global del suministro de biomasa en el año 2050, de 125-760 EJ. Esto resulta en que el uso energético de la biomasa, en sus diferentes formas, deba ser considerado como un elemento importante para la mitigación del efecto invernadero.

De las actuales alternativas para garantizar la seguridad energética y el desarrollo sostenible, los biocombustibles son las mejores conocidas y entre ellos los más utilizados son el biodiésel y el bioetanol, especialmente por el sector del transporte.



De hecho, su uso en motores de combustión interna no es reciente. En el año 1900, el inventor Rudolf Diesel previó la posibilidad de usar aceites vegetales en sus motores (diésel), como el de almendra y el de maní.

Los aceites vegetales, puros o mezclados, llegaron a funcionar como combustibles, pero ciertos problemas técnicos impidieron generalizarlos para el efecto. La mayor dificultad era la formación de residuos, lo que reducía la potencia de los motores y exigía paradas frecuentes para limpiar los inyectores. En 1937 fue patentado el proceso de transesterificación de los aceites vegetales (ruptura de la molécula de aceite que es un triglicérido, para la reacción de los ácidos grasos con alcohol y posterior separación de la glicerina), proceso con el que se resuelve el problema de los depósitos en los motores (Knothe, 2002).

El etanol fue el combustible inicialmente previsto para los primeros motores de ciclo *Otto* desarrollados en los inicios de la industria automotriz (Camus y Laborda, 2006). Pero la amplia oferta de los derivados del petróleo a bajo costo minimizó el interés por esa alternativa. A finales de la década del veinte, la Estación Experimental de Combustibles y Minerales (actual Instituto Nacional de Tecnología –INT–), realizó pruebas con alcohol en un Ford de 4 cilindros (biodieselbr, 2007) con el propósito de promover el alcohol como una alternativa energética atrayente.

Ya muchas de las dificultades técnicas iniciales consecuentes de la quema de biocombustibles en motores de combustión interna han sido resueltas, lo que los convierte en una alternativa viable para la sustitución parcial de los combustibles fósiles en el sector automotor.

Biocombustibles

Por ser derivados de productos agrícolas como la caña de azúcar, plantas oleaginosas, biomasa forestal y otras fuentes de materia orgánica, los biocombustibles son renovables. Pueden ser usados tanto aisladamente, como adicionados a los combustibles convencionales en mezclas. Como ejemplos se pueden citar el biodiésel, el etanol, el metanol, el metano y el carbón vegetal.

Bioetanol

La US DOE (2007) define el bioetanol como un combustible alternativo a base de alcohol, producido por fermentación y destilación de materias primas con alto contenido de azúcares o almidones. También puede ser obtenido a partir de biomasa celulósica, presente en árboles y algunas hierbas.

Cualquier cantidad de etanol puede ser mezclado con la gasolina (American Coalition for Ethanol, 2007), aunque las mezclas más utilizadas son E10 y E85, que contienen una concentración respectiva de 10 y 85% de etanol. Se puede emplear 100% de éste como combustible, pero –como el E85– solo en automóviles multicomcombustibles conocidos como *flex-fuel*, los cuales requieren modificaciones en el sistema de inyección.

En la actualidad el etanol se usa como combustible principalmente en Brasil, y como un aditivo para el aumento del octanaje de la gasolina en países como Estados Unidos, Canadá e India (Agarwal, 2006).

Materia prima para la obtención de bioetanol

El etanol puede ser producido a partir de cualquier materia de origen biológico que contenga cantidades apreciables de azúcar o de materiales que puedan convertirse en ella, como el almidón y la celulosa. La caña de azúcar, la remolacha azucarera y el sorgo azucarero son ejemplos de materias primas que contienen azúcar. El trigo, la cebada y el maíz son materias primas que contienen almidón, el cual, con las tecnologías actualmente disponibles, se puede convertir fácilmente en azúcar. Una fracción significativa de la madera de los árboles y hierbas está compuesta por celulosa, que también puede convertirse en azúcar, pero el proceso es más complicado que el requerido para transformar el almidón.

Biodiésel

De acuerdo con la American Society of Testing and Materials (ASTM) el biodiésel se define técnicamente como: “combustible compuesto de monoalquilésteres de ácidos grasos de cadena larga, derivados de aceites vegetales o de grasas animales” (National Biodiesel Board, 2007).

Hoy día hay una nomenclatura única universal para identificar la concentración del biodiésel en la mezcla. Se trata de la BXX, en la que XX es el porcentaje en volumen del biodiésel en la mezcla diésel/biodiésel. Por ejemplo, B2, B5, B20 y B100 son combustibles con una concentración de 2, 5, 20 y 100% de biodiésel, respectivamente.

El uso del biodiésel en el mercado de combustibles se da en cuatro niveles de concentración:

- Puro (B100)
- Mezclas (B20 – B30)
- Aditivo (B5)
- Aditivo de lubricidad (B2)

Las mezclas en proporciones volumétricas entre 5 y 20% son las más usuales; para la B5 no es necesaria ninguna modificación en los motores. El biodiésel es perfectamente miscible y sus características fisicoquímicas lo asemejan al aceite diésel mineral, debido a lo cual puede usarse en motores de ciclo diésel sin necesidad de hacer significantes u onerosas adaptaciones.

Materia prima para la obtención del biodiésel

El biodiésel puede ser obtenido básicamente a partir de aceites y grasas provenientes de:

- Plantas oleaginosas: higuera, palma de aceite, soya, colza, girasol, *Jatropha curcas*, semilla de cardo, etc.
- Aceites vegetales usados, procedentes de la industria alimenticia y hotelera.
- Grasas animales procedentes de los mataderos.

De manera que en lo fundamental la producción de biocombustibles está basada en materia prima agrícola y, por tanto, muchos países pueden elaborarlos fácilmente y obtener diversos beneficios, como: mayor seguridad energética, diversificación de las fuentes de energía y de la agricultura, desarrollo acelerado de áreas rurales y aumento en las oportunidades de empleo en las mismas. Además, los países productores de grandes cantidades de biomasa no son los mismos productores de combustibles fósiles. En consecuencia, nuevos países incursionarán en el mercado global de

la energía, lo que reducirá la dependencia mundial de los pocos que tienen grandes reservas petroleras.

Aun así, es preciso tomar en cuenta que no todas las naciones reúnen las condiciones climatológicas, topográficas, edafológicas y otras necesarias para la producción de biocombustibles a gran escala, ya que la viabilidad económica de estos combustibles depende de los cultivos empleados para su obtención y de la eficiencia de su procesamiento (Tabla 1) (UN, 2007 y Mathews, 2007).

Estado del arte y pronósticos del uso de biocombustibles en el mundo

Por las razones expuestas en los acápites anteriores, hay una tendencia mundial a aumentar la producción de biocombustibles, lo que supone una demanda de mercado igualmente creciente. Las figuras 4 y 5 evidencian tal comportamiento durante el período comprendido entre 1991 y 2005 para el biodiésel, y entre 1975 y 2005 para el bioetanol. Entre 2000 y 2005 se observa un mayor incremento en la producción de ambos: el biodiésel pasó de 893 a 3.762 millones de litros, y el etanol de 17.300 a 44.800 millones de litros (Earth Police Institute, 2007).

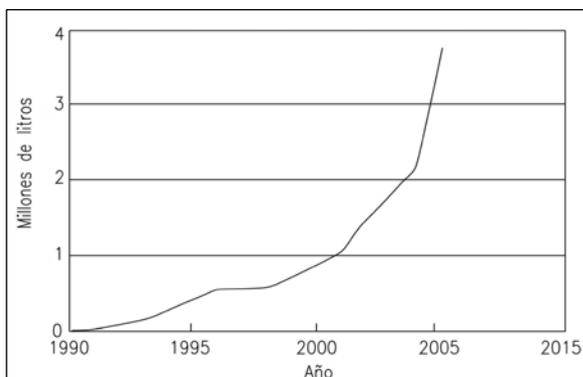
La Tabla 2 muestra los cinco mayores productores de etanol y biodiésel en el mundo, y las principales materias primas empleadas para su fabricación. Como se ve, casi toda la producción comercial de biodiésel ocurre en Europa, en particular en Alemania, Francia e Italia. Los países europeos producen más biodiésel que etanol, pero la producción total de los dos combustibles es pequeña comparada con la de bioetanol en Brasil y en Estados Unidos.

Según datos de la IEA (2007), se espera que la participación de los biocombustibles en el sector automotor se incremente del actual 1% hasta valores cercanos al 7% en el año 2030. Esto representa un aumento de un valor equivalente a 15,5 MTEP (millones de toneladas equivalentes de petróleo) en el año 2004, hasta 146,7 MTEP en el año 2030. El mayor incremento del consumo de biocombustibles ocurrirá en Estados Unidos, Europa, Asia y Brasil. En las demás regiones será modesto.

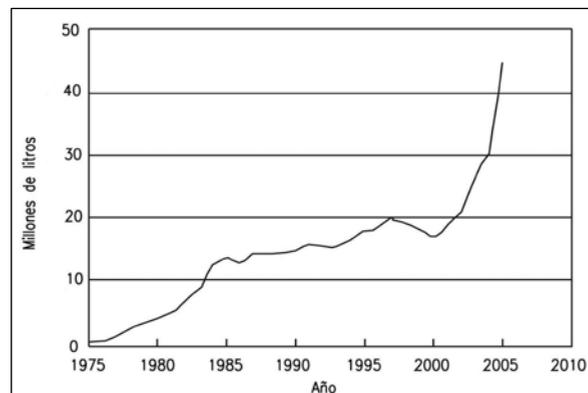

Tabla 1. Requerimientos preliminares de algunas materias primas empleadas para la obtención de biocombustibles

Requerimientos de los cultivos				
Tipo de cultivo	Suelo	Agua	Nutrientes	Clima
Cereales		---	Medio.	Moderado.
Maíz	Suelo bien aireado y bien drenado.	Uso eficiente.	Alta fertilidad.	Condiciones tropicales.
Palma de aceite	Buen drenaje, pH entre 4 y 7, superficie plana, rica y profunda.	Lluvia uniforme de 1.800 y 5.000 mm por año.	Bajo.	Tropical y subtropical con temperatura de 25-32° C.
Colza	Suave, arcilloso, textura media, bien drenado.	Mínimo de 600 mm de precipitación por año.	Semejante al trigo.	Sensible a altas temperaturas, mejor crecimiento entre 15 y 20° C.
Soya	Suelo aluvial húmedo con buen contenido orgánico, alta capacidad de agua, buena estructura.	Alto.	Óptimo pH de 6 a 6,5	Tropical, subtropical y clima moderado.
Remolacha	Media a baja textura pesada, buen drenaje, tolerante a la salinidad.	Moderado, en el rango de 550 a 750 mm. de lluvia en el período de crecimiento.	Alta demanda de fertilizantes. Cantidades adecuadas de nitrógeno.	Variación de climas moderados.
Caña de azúcar	Preferiblemente bien aireado con buena cantidad de agua (15% o más).	Lluvia alta e igualmente distribuida en el transcurso de las estaciones.	Alto nitrógeno y potasio.	Tropical o subtropical.
Trigo	Textura media.	Alto.	Alto.	Climas moderados, en el subtropical con inviernos lluviosos, en los trópicos en regiones montañosas.
Higuerilla	pH entre 5,0 y 6,5	Por lo menos, 400 mm. de lluvia en los períodos de brotación y florecimiento.	Demanda razonable de nutrientes esenciales, especialmente nitrógeno, potasio, fósforo, calcio y magnesio.	Tropical, con temperatura de 20-30° C.
Jatropha curcas	Suelo semiárido.	Por lo menos 400 mm. de lluvia durante el año.	---	---

Fuente: United Nations (2007); Embrapa (2007).



Fuente: Earth Police Institute (2007).

Figura 4. Producción mundial de biodiésel entre 1991 y 2005.


Fuente: Earth Police Institute (2007).

Figura 5. Producción mundial de etanol entre 1975 y 2005.

Superficie cultivable necesaria para los biocombustibles

Según la FAO (2003), la cantidad de tierra dedicada en el mundo a la agricultura y a la producción de alimentos es de aproximadamente 1.500 millones de hectáreas (el

11% de la superficie del planeta), y 2.800 millones de hectáreas tienen potencial para destinarse a las mismas labores. Sin embargo, en la práctica una fracción de esta superficie no está disponible o está ocupada con otros usos: cerca del 45% está cubierta por bosques, 12% co-

Tabla 2. Principales productores de etanol y biodiésel en el año 2005

Bioetanol			Biodiésel		
País	Millones de litros	Materia prima	País	Millones de litros	Materia prima
Brasil	16.489	Caña de azúcar	Alemania	1.919	Colza
Estados Unidos	16.217	Maíz	Francia	511	Soya
China	1.998	Maíz, trigo	E. U.	291	Colza
Unión Europea	950	Remolacha, trigo, sorgo	Italia	227	Colza
India	299	Caña de azúcar	Austria	83	Colza

Fuente: Earth Trends (2007).

responde a zonas protegidas y 3% tiene asentamientos humanos. Latinoamérica, el Caribe y África Subsahariana poseen las mayores superficies de tierras disponibles.

En la actualidad, cerca de 14 millones de hectáreas de tierra cultivable están siendo utilizadas para la producción de biocombustibles, lo que representa alrededor del 1% del total de tierras cultivadas en el mundo (IEA, 2007).

Se espera que el etanol sea el mayor responsable por el incremento en el uso de biocombustibles en todo el mundo, dado que los costos de producirlo deben bajar más rápidamente que los del biodiésel. No obstante, a pesar del aumento del comercio de los biocombustibles, su contribución al abastecimiento de energéticos para el sector del transporte continúa siendo pequeña (IEA, 2007) (Tabla 3).

En los escenarios de ocupación de tierras proyectados por la Agencia Internacional de Energía (IEA, 2004) para

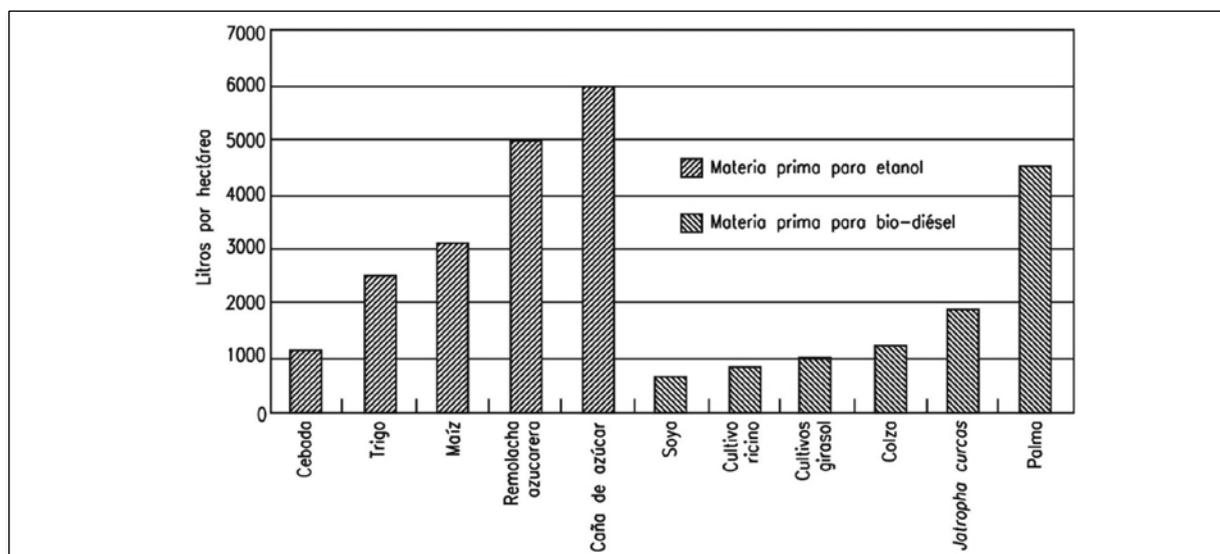
Estados Unidos y Europa, se observa que el objetivo de sustituir en el corto plazo el 6% de los derivados del petróleo por biocombustibles, es compatible con la cantidad actual de tierras disponibles. Para sustituir el 5% de la gasolina en la Unión Europea se requiere de la utilización de alrededor del 5% del total de tierras cultivables, mientras que Estados Unidos necesita del 8%. Para diésel, los requerimientos de tierra son mayores, principalmente porque el rendimiento promedio de la materia prima utilizada es menor que el del bioetanol (Figura 6). En este sentido, Estados Unidos necesitaría el 13% de sus tierras disponibles para sustituir el 5% del diésel utilizado en transporte, mientras que Europa necesitaría el 15%.

En el caso de Brasil, hoy día las plantaciones de caña de azúcar ocupan 6,2 millones de hectáreas. Otros 200 millones de hectáreas corresponden a áreas de pastaje. Una ganancia del 20% de productividad en el uso de estas últimas, liberaría 20 millones de hectáreas para la

Tabla 3. Proyección en el consumo de biocombustibles en el sector del transporte

	2004		2030	
	Demanda (Mtep)	% en transporte por carreteras	Demanda (Mtep)	% en transporte por carreteras
Oecd	8,9	0,9	84,2	7,2
Norteamérica	7	1,1	45,7	6,4
Estados Unidos	6,8	1,3	42,9	7,3
Europa	2	0,7	35,6	11,8
Pacífico	0	0	2,9	1,9
Economías en transición	0	0	0,5	0,6
Países desarrollados	6,5	1,5	62	6,9
China	0	0	13	4,5
India	0	0	4,5	8
Otros países desarrollados en Asia	0,1	0	21,5	4,6
Brasil	6,4	13,7	23	30,2
Mundo	15,5	1	146,7	6,8
Unión Europea	2	0,7	35,6	11,8

Fuente: World Energy Outlook 2006, Oecd/IEA 2006



Fuente: Earth Trends (2007).

Figura 6. Rendimientos por hectárea de diferentes materias primas utilizadas para la obtención de bioetanol y biodiésel.

expansión de los cañaverales. Para atender la demanda mundial de alcohol, en caso de que en el mundo se decida adicionar 5% de alcohol a la gasolina, serían necesarias un poco más de 10 millones de hectáreas (Clemente, 2007). Algunas oleaginosas, como la higuera, pueden ser cultivadas en tierras degradadas y así contribuir a su recuperación y al desarrollo de las regiones donde se haga. Se observa la tendencia a la sustitución de las áreas de soya y pastaje por caña de azúcar, con el peligro de que las primeras comiencen a ocupar tierras pertenecientes a la floresta amazónica.

Otro aspecto importante en el cultivo y producción de biocombustibles es el rendimiento energético (GJ/ha) y la obtención de toneladas equivalentes de petróleo por hectárea (TEP/ha). Estos índices permiten obtener referencias en cuanto al potencial de sustitución de un combustible fósil dado, así como la posibilidad de expansión que tiene cada una de las materias primas utilizadas actualmente. La Tabla 4 presenta el promedio o valores mínimos y máximos de la producción de biocombustibles por hectárea (GJ/ha) y las necesidades correspondientes de tierra (ha/TEP).

Tecnologías para la obtención de biocombustibles

Rutas tecnológicas:

Las rutas tecnológicas para la fabricación de los biocombustibles son generalmente clasificadas por

los especialistas en: de primera, de segunda y de tercera generación.

Rutas de primera generación

El biodiésel obtenido a partir de aceites provenientes de plantas oleaginosas (colza, girasol, palma, higuera), utiliza procesos de transesterificación o craqueo para la conversión de los aceites vegetales

Tabla 4. Producción de biocombustibles por hectárea (GJ/ha) y necesidades correspondientes de tierra (ha/TEP)

Gen	Biocombustibles	GJ/ha	Ha/1tep
	Biodiésel de girasol	36	1,17
	Biodiésel de soya	18-25	2,35-1,67
	Biodiésel de palma*	158,4	0,285
1°	Etanol de trigo	53-84	0,79-0,50
	Etanol de maíz	63-76	0,66-0,55
	Etanol de azúcar de remolacha	117	0,36
	Etanol de caña de azúcar	110-140	0,38-0,30
	Etanol de Panicum virgatum	228-407 (futuro)	0,18-0,10
	Plantación de eucalipto-biodiésel ft	460-620	0,08
2°	Plantación de eucalipto-Metanol	800-1.000	0,04
	Plantación de eucalipto-dme	850-1.100	0,04

Fuente: Fallot y Girard (2007), y Yáñez et al. (2008*).

en un combustible apto para motores. Los aceites vegetales pueden ser y son utilizados directamente como combustibles.

La transesterificación, a su vez, puede emplear catalizadores alcalinos, ácidos o enzimáticos, y etanol o metanol, produciendo glicerina y ésteres de los ácidos grasos y glicerina como residuo.

El bioetanol producido empleando materia de base biológica, con cantidades apreciables de azúcares, es por lo general obtenido por la fermentación del azúcar utilizando enzimas de levaduras y otros microorganismos. Inicialmente la materia prima es sometida a un proceso de remoción del azúcar contenido en ella (trituration, impregnación y tratamiento químico). Los procesos de fermentación utilizan las levaduras para convertir la glucosa en etanol. La destilación y deshidratación son empleadas como último paso en la fabricación de etanol para alcanzar la concentración deseada: etanol hidratado o anhídrido, que puede ser mezclado con la gasolina o ser utilizado directamente como combustible en los automóviles multicomcombustibles.

Cuando la materia prima empleada son granos, generalmente se utiliza la hidrólisis para la conversión de los almidones en glucosa. Debido a que convertir almidón en glucosa es mucho más fácil que convertirlo en celulosa, la producción de etanol en Estados Unidos se realiza principalmente a partir de maíz y trigo, y en Europa a partir de cebada y remolacha (IEA, 2004). En los procesos convencionales de obtención de etanol a partir de granos, solo se utiliza la parte que contiene almidón. En este caso se emplean únicamente los núcleos del maíz y de la cebada, que representan un porcentaje pequeño de la masa total de la planta, lo que origina una gran cantidad de residuos de fibra.

Como el maíz, otros almidones y demás materias primas para la obtención de azúcares son una fracción pequeña de la biomasa que puede ser utilizada para la fabricación del etanol, es preciso desarrollar tecnologías más eficientes que permitan el empleo de nuevas fuentes de materia prima, como la biomasa celulósica de las fibras de las plantas, presente en residuos agrícolas de la silvicultura, árboles y hierbas. Ello ofrecería mayor rendimiento que las tecnologías de primera generación.

La celulosa y la hemicelulosa son los dos componentes principales de las plantas, y las que definen su estructura; como están compuestas de azúcares, en teoría es posible obtener etanol a partir suyo. El principal problema es que estos azúcares están presentes en cadenas largas que es necesario romper para obtener azúcares simples, de manera que puedan ser fermentados para dar paso al etanol.

Rutas de segunda generación

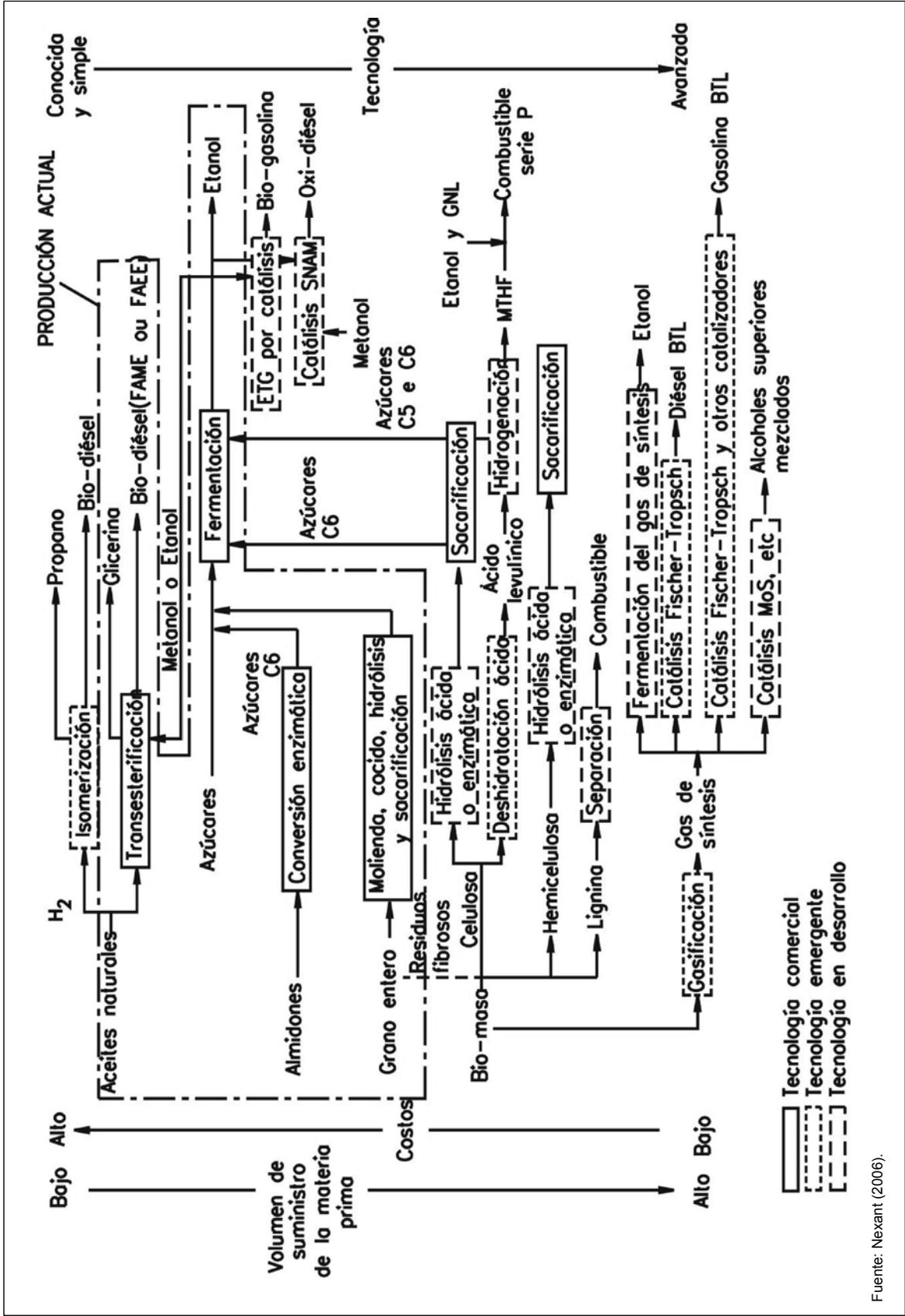
En este caso, los biocombustibles pueden ser obtenidos mediante los siguientes procesos:

- Pirólisis de materiales biológicos compuestos principalmente de celulosa, proteínas o aceites para la obtención de un "bioaceite", que puede ser utilizado como una mezcla de diésel o alguno de sus sustitutos.
- Gasificación de diferentes materiales biológicos para la producción de gas de síntesis, el cual permite obtener biocombustibles líquidos por varios procesos catalíticos. En la actualidad esta tecnología se encuentra en proceso de desarrollo y comercialización, e incluye: tecnologías Fischer-Tropsch (GTL) para la producción de biodiésel o biogolina a partir de la conversión del gas de síntesis; tecnologías para la obtención de biometanol con alto contenido de alcoholes y alcoholes mezclados, como mezcla de gasolina o sustitutos, y tecnologías desarrolladas para fermentar el gas de síntesis para etanol, con un co-producto del hidrógeno.
- Digestión anaeróbica de celulosa proveniente de residuos agrícolas o cultivos para la obtención de metano, el cual puede ser gasificado.
- Transesterificación de la glicerina para la producción del hidrógeno (bio-H₂).

El bio-H₂ es considerado por algunos autores como un combustible de tercera generación.

No todas las rutas de segunda generación están disponibles en el comercio, debido a que sus altos costos de producción las hacen inviables; se espera que en los próximos años estas tecnologías alcancen la escala industrial.

La Figura 7 presenta el estado actual de desarrollo de las rutas tecnológicas para la obtención de los biocombustibles.



Fuente: Nexant (2006).

Figura 7. Rutas tecnológicas en la producción de los biocombustibles.

La principal ventaja de la producción de los biocombustibles a partir de las rutas tecnológicas de segunda generación, es que éstas permiten el uso de materias primas no alimenticias, muchas de ellas consideradas residuos y, por tanto, no compiten con la producción de alimentos, además de estar disponibles en mayor cantidad.

Costos en la producción de los biocombustibles

El costo del biodiésel depende en lo fundamental de la materia prima utilizada para su fabricación (Knothe et al., 1997). El obtenido a partir de grasas animales y aceites reciclados de cocina tiene un costo menor que el obtenido de aceites vegetales como la soya y la colza, e inclusive que el mismo diésel. La Figura 8 presenta una comparación de los costos de producción del biodiésel con diferentes materias primas utilizadas en Estados Unidos y Europa, con el diésel de petróleo.

Hoy día la obtención de etanol a partir de materiales lignocelulósicos no es viable económicamente a escala industrial (Davis, 2007). La solución a este problema en los próximos años está en determinar cuál es la mejor opción para disponer de glucosa a partir de la hidrólisis de la celulosa, en términos de costo global, rendimiento glucosídico y fermentación del hidrolizado (Baudel, 2006).

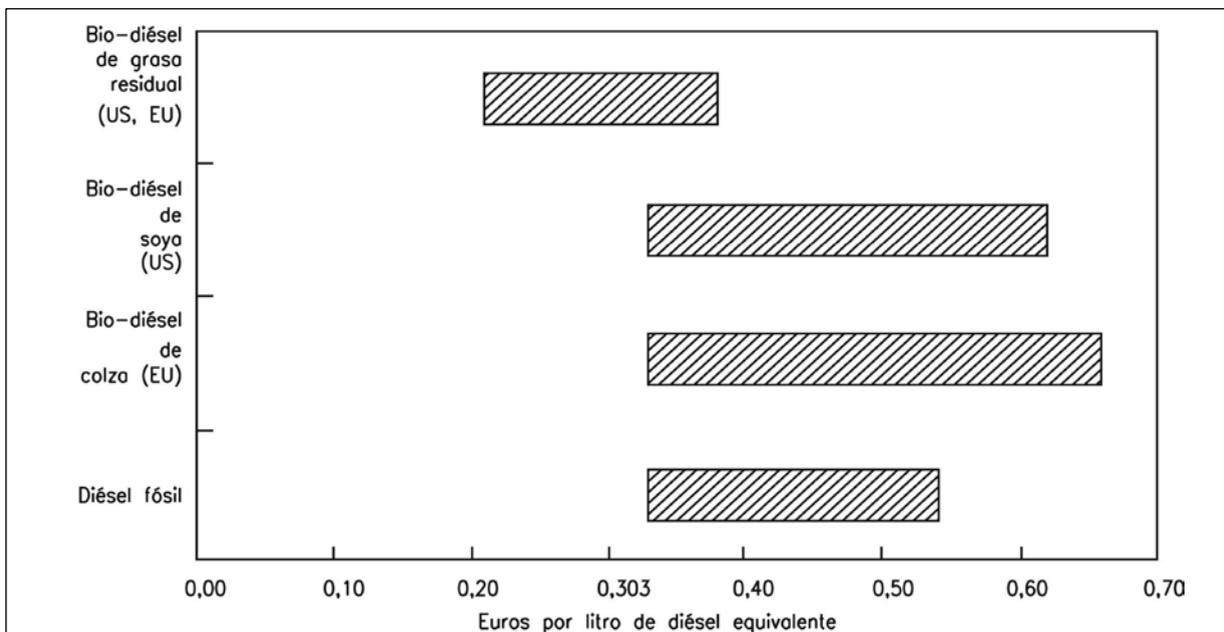
La Figura 9 representa de forma gráfica el rango de costos de producción del etanol y de la gasolina en el año 2006.

Los costos del petróleo influyen de forma directa en la viabilidad económica de la fabricación de los biocombustibles. Así, en la medida en que el costo internacional del petróleo continúe aumentando, la competitividad de la producción de biodiésel y bioetanol a partir de diferentes materias primas, será mucho mayor.

Con el propósito de determinar cuál es el precio del petróleo en el mercado mundial a partir del cual comienza a ser rentable la producción de los biocombustibles, se utiliza un indicador conocido como *Break Even Point* o punto de inflexión.

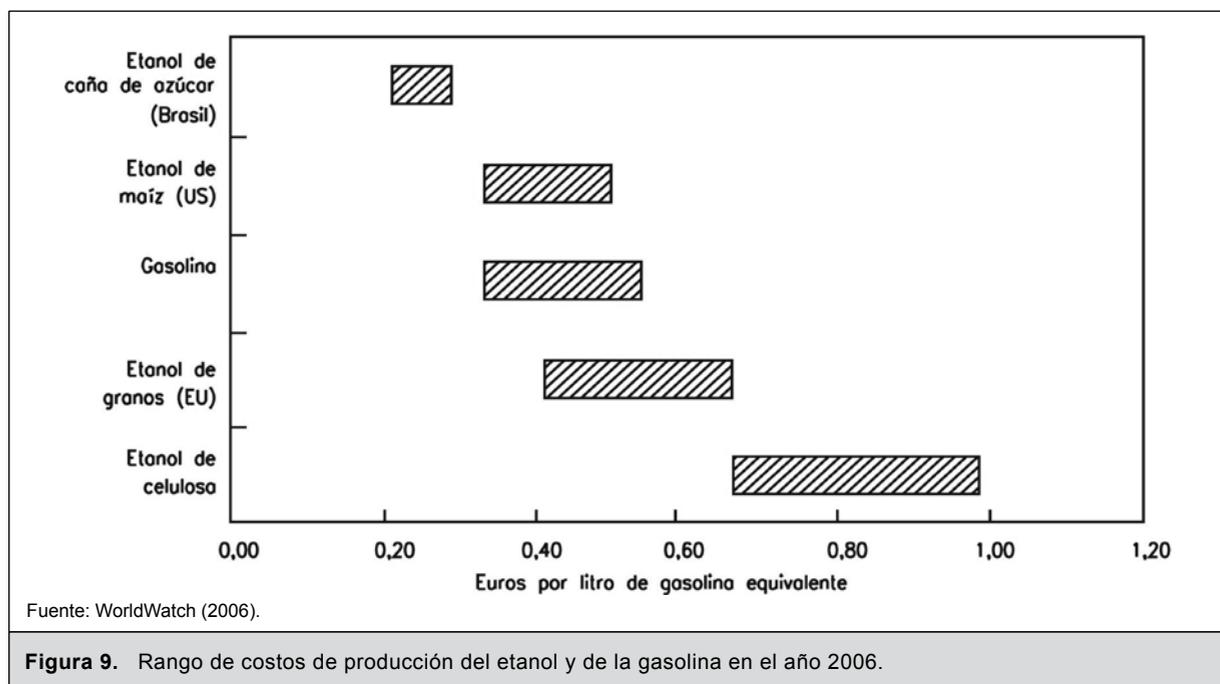
En la Unión Europea, se puede alcanzar el punto de equilibrio para diferentes biocombustibles a partir de US\$75-80/barril de petróleo para el aceite de colza, US\$90/barril para el bioetanol, US\$100/barril para el biodiésel y US\$155-160/barril para los obtenidos mediante tecnologías de segunda generación (European Commission, 2006 a).

En Estados Unidos, el punto de equilibrio para el bioetanol corresponde a un precio ubicado entre US\$40-50/barril de petróleo; precios por debajo de ese rango lo desfavorecen (Johnson, 2007).



Fuente: WorldWatch (2006).

Figura 8. Rango de costos de producción de biodiésel y diésel en el año 2006.



En Brasil, por su parte, el punto de equilibrio para el alcohol oscila entre US\$30-35. Para biocombustibles derivados del aceite vegetal, por ser una tecnología todavía incipiente, este indicador es estimado alrededor de US\$60 (Embrapa, 2006).

Es notable la necesidad de disminuir los costos de producción en los biocombustibles durante los próximos años, para que puedan ser económicamente viables, pues en la actualidad sus precios dependen en gran medida de los subsidios gubernamentales.

Los biocombustibles y el medio ambiente

Los biocombustibles provenientes de la caña de azúcar, el maíz, la palma de aceite y otros cultivos están siendo vistos por muchos como una forma más limpia de abastecer las necesidades energéticas de la industria automotriz. Según Puppán (2001), sus beneficios ambientales aparecen durante la combustión en los motores, ya que el CO₂ que emiten corresponde al que fue “secuestrado” de la atmósfera durante el cultivo de estas plantas, resultando en un ciclo cerrado de carbono. La Figura 10 representa de forma gráfica el ciclo de carbono para los biocombustibles.

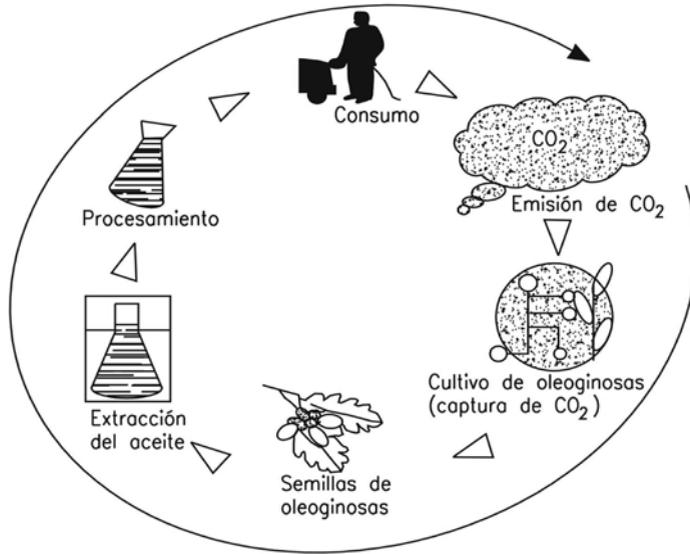
Es importante tener en cuenta que, a pesar de las ventajas ambientales de utilizar biocombustibles, su

producción y uso final pueden tener impactos ambientales graves, tales como la utilización de grandes cantidades de agua, desaparición de bosques y reducción de la producción y cultivo de alimentos (WWF, 2006), además de la degradación de los suelos.

Una herramienta útil para determinar el impacto ambiental de los biocombustibles sobre el medio ambiente es el análisis del ciclo de vida (ACV), o sea, la evaluación de los consumos e impactos en todas las etapas vitales del producto.

En el caso del bioetanol, los resultados de las investigaciones utilizando el ACV como herramienta integral son contradictorios; en algunos casos presentan impactos negativos y en otros, favorables. Blotnitz y Curran (2006) evaluaron 47 análisis publicados en los últimos años, que comparan el bioetanol con un combustible convencional utilizando ACV. La mayoría evalúa la energía líquida necesaria para la obtención del biocombustible y la emisión de gases de efecto invernadero. Aunque existan diferencias en las consideraciones y límites de los sistemas, es posible llegar a las siguientes conclusiones:

Obtener el etanol de cultivos ricos en azúcares en países tropicales es mucho más viable que a partir de granos en regiones templadas, pero tomando las debidas precauciones en el uso y extensión de la región agrícola que se ha de utilizar



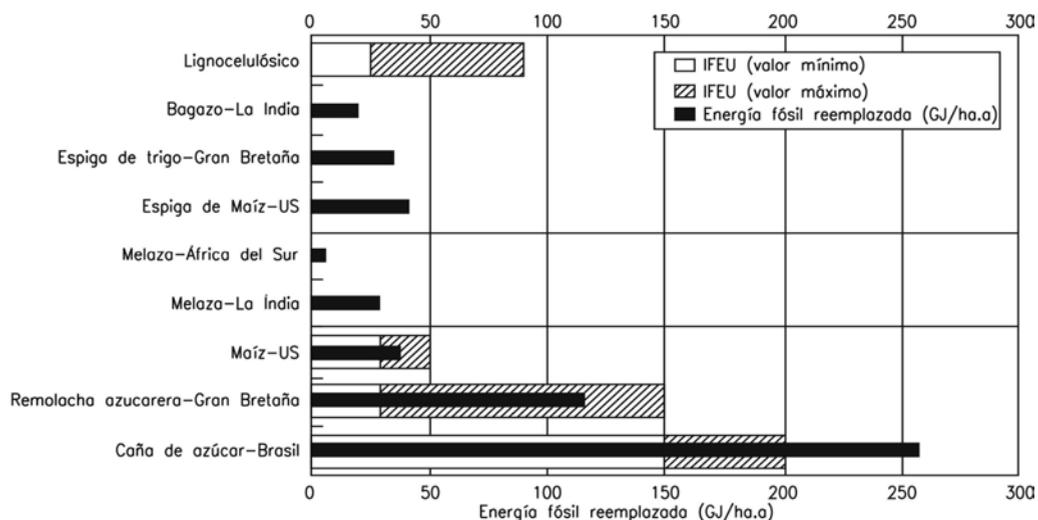
Fuente: MME (2006)

Figura 10. Ciclo cerrado del carbono en la producción de biocombustibles.

Se debe considerar la obtención del etanol a partir de la hidrólisis y fermentación de residuos lignocelulósicos.

Diferentes indicadores son utilizados para evaluar las ventajas que un determinado tipo de materia prima tiene en relación con otra. Uno de ellos es el potencial de sustitución de energía fósil, en GJ/ha.año, dependiendo del tipo de material agrícola empleado en la producción de etanol (Figura 11).

Otro es el de la relación energía renovable/fósil (*output/input*) para diferentes materias primas. Se calcula como la relación entre cantidad de energía renovable obtenida y la de energía fósil consumida en todo el ciclo de vida de obtención y uso del biocombustible, por unidad de producto. Indica si un combustible puede o no ser considerado renovable. Si el índice es igual a cero, entonces el combustible no es renovable, pero tampoco produce energía útil. Si es igual



Fuente: Blottnitz y Curran (2006)

Figura 11. Eficiencia energética de la producción de bioetanol a partir de diferentes materias primas y en diferentes regiones agrícolas del mundo.



a 1, también se le considera no renovable. Un índice infinito indica que el combustible es completamente renovable, y cualquier valor mayor que 1, que es renovable en cierto grado.

Pimentel y Patzek (2005) muestran que en el caso de Estados Unidos, el indicador de la relación energía renovable/fósil para el etanol proveniente de maíz, hierba y madera es negativo; de manera que la energía renovable obtenida en el etanol a partir de esas materias primas es menor que la energía suministrada por los combustibles fósiles durante su producción. En su estudio, que consideró etanol producido a partir de maíz, Hill *et al.* (2006) presentan un valor positivo del indicador (1,25).

La Tabla 5 muestra los valores de la relación energía renovable/fósil, obtenidos para materia prima utilizada en la producción de etanol en diferentes países.

Como se ve, el etanol producido de la caña de azúcar en Brasil presenta el mejor rendimiento –cuando se hace a gran escala–, en comparación con la materia prima utilizada en otros países para el mismo fin. En el futuro, el aprovechamiento de los residuos lignocelulósicos permitirá el aumento de la relación energía renovable/energía fósil.

En relación con el impacto ambiental del biodiésel, existen también diferencias en los resultados obtenidos por los distintos estudios, referentes a la ganancia energética del biocombustible.

Pimentel y Patzek (2005) presentan resultados desfavorables cuando se obtiene de girasol y de soya. En lo fundamental, por el bajo rendimiento agrícola y el alto consumo de energía del proceso de obtención del aceite de esas oleaginosas. Weseler (2006) sugiere

Tabla 5. Relación energía renovable/fósil para diferentes materias primas empleadas en la obtención del bioetanol

Materia prima	País	Relación energía renovable/fósil
Caña de azúcar	Brasil	7,9
Remolacha	Inglaterra	2,0
Maíz	Estados Unidos	1,3
Melaza	Suráfrica	1,1
Espiga de trigo	Inglaterra	5,2
Espiga de maíz	Estados Unidos	5,2

Fuente: Blottnitz y Curran, 2006.

considerar en el estudio de Pimentel y Patzek el costo de oportunidad en el procesamiento de esas materias primas, para posibilitar resultados positivos de los balances energéticos.

Los estudios analizados muestran que, dependiendo del tipo y del método de cultivo y cosecha, se pueden obtener efectos positivos o negativos en el uso del suelo, la calidad del agua y la cantidad de emisiones líquidas hacia el medio ambiente.

La Tabla 6 presenta un resumen de los valores de la relación energía renovable/fósil para el ciclo de vida del biodiésel a partir de materia prima diferente en varios países.

Se observa que la relación energía renovable/fósil para el biodiésel de palma de aceite es mayor que la de las demás materias primas consideradas. Esto se debe principalmente a la alta productividad del cultivo, que es alrededor de ocho veces superior a la de las otras oleaginosas. La palma aceitera también produce una mayor cantidad de biomasa que agrega valor al proceso industrial y a la producción agrícola, y puede ser usada como combustible en la generación de vapor y electricidad.

El mayor consumo de energía en el ciclo de vida corresponde al metanol utilizado en el proceso de transesterificación. La sustitución por bioetanol de la caña de azúcar permitiría obtener valores de la relación energía renovable/fósil superiores a 9 (Yáñez *et al.*, 2007).

De acuerdo con lo anterior, la selección del tipo adecuado de cultivo para una determinada región puede disminuir el impacto ambiental asociado, en la medi-

Tabla 6. Comparación de la relación energía renovable/fósil para el biodiésel obtenido a partir de diferentes oleaginosas

Biodiésel	País/Región	Relación energía renovable / energía fósil
Colza	Europa	1,7
Soya	Estados Unidos	3,2 – 3,4
Girasol y colza	Europa	2,4 – 5,23
Higuerilla	Brasil	2 – 2,9
Palma	Brasil	4,70
Palma	Colombia	4,86 - 5,95

Fuente: Yáñez *et al.* (2008).

da en que disminuye la necesidad de fertilizantes, el agua y la contaminación relacionada con el proceso. Combustibles fósiles se utilizan principalmente en la producción de materia prima, transporte y procesos de conversión de los cultivos bioenergéticos.

Biocombustibles y seguridad alimentaria

La pobreza es la mayor causa de inseguridad alimentaria, pero temas como conflictos bélicos, terrorismo, corrupción y degradación del medio ambiente también contribuyen de forma significativa (FAO, 1998). La producción de alimentos en el mundo aumentó sustancialmente, aun así, la insuficiencia de renta familiar y nacional, así como las catástrofes naturales o las causadas por el hombre, han impedido la satisfacción de las necesidades alimentarias básicas de toda la población.

Si se toma en cuenta el crecimiento esperado de la población, que para el año 2050 sería de 9.191,3 millones de habitantes (UN, 2007 b), los problemas de hambre y de inseguridad alimentaria podrían persistir o aumentar dramáticamente en algunas regiones (Figura 13), a menos que se adopten medidas urgentes.

En 1992 se llevó a cabo en Roma una reunión de los gobiernos de 180 países y la World Food Summit (WFS), durante la cual los asistentes manifestaron el propósito de disminuir la cantidad de personas desnutridas en el mundo para el año 2015, a un valor igual a la mitad de los niveles presentados en 1990. Un análisis realizado diez años después mostró resultados no muy satisfactorios.

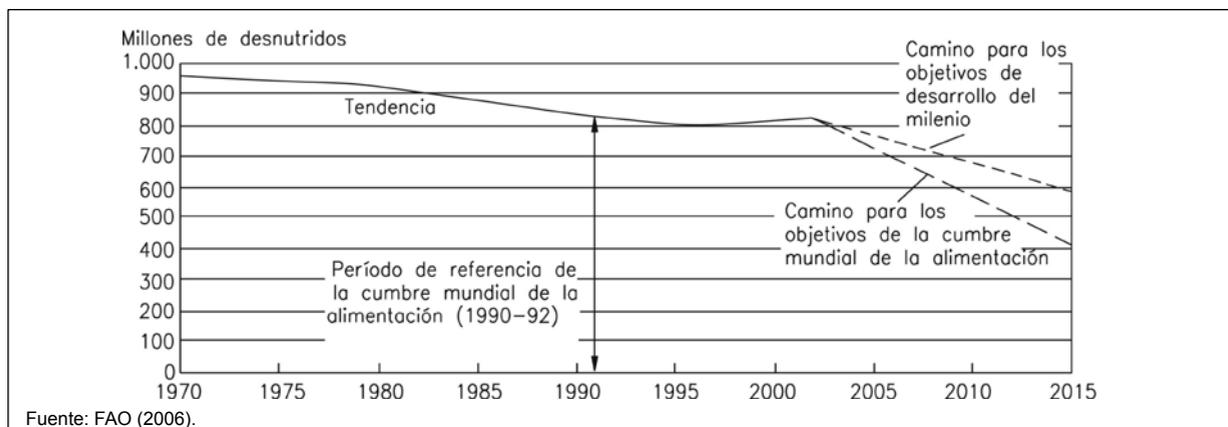
Entre 2001 y 2003, la FAO estimaba un total de 854 millones de personas desnutridas en el mundo, de las cuales 820 millones vivían en países en desarrollo, 25 millones en países en transición y 9 millones en países industrializados. En el año 2006, en comparación con el período comprendido entre 1990 y 1992 (Figura 12), el número de personas desnutridas en los países en vía de desarrollo había disminuido en 3 millones, número que queda dentro de los niveles de error estadístico del cálculo y no refleja una disminución de la población con desnutrición y hambre en el mundo (FAO, 2006).

Entre las causas que dificultan el alcance de la meta propuesta por el WFS están los conflictos bélicos y los desastres naturales. En algunos países libres de conflictos se observa un desarrollo agrícola y económico pobre, con altos índices de crecimiento de la población.

La Figura 13 presenta datos sobre la cantidad de personas desnutridas por países y continentes en el período 2001-2003.

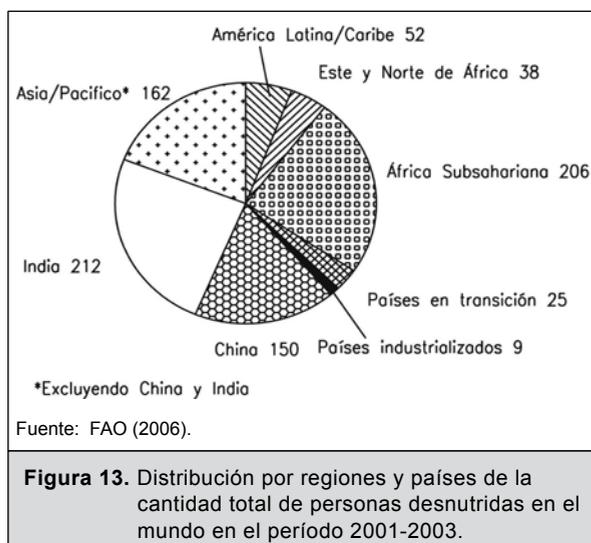
Se puede concluir que el problema de la desnutrición y de la seguridad alimentaria en el mundo está a la orden del día y es grave, y su relación con la producción de biocombustibles debe ser estudiada cuidadosamente.

La inseguridad alimentaria tiene como causas principales la pobreza en términos de renta, acceso a la educación, disponibilidad de recursos agrícolas, tecnología, crédito, etc., para la producción de los alimentos. En la mayoría de los países con problemas



Fuente: FAO (2006).

Figura 12. Cantidad de personas desnutridas en los países en desarrollo, en el período 1990-2002 y proyecciones hasta 2015.



de seguridad alimentaria, la población más vulnerable depende principalmente de la agricultura local (Alexandratos, 1998). Por tanto, el desarrollo rural es un camino importante para la reducción de la pobreza y de la inseguridad alimentaria.

Así, países con un mayor potencial climático y de tierras para la producción de biocombustibles, tienen una gran posibilidad de desarrollo de las regiones agrícolas, lo que puede mejorar sustancialmente las condiciones de vida de la población, aumentar su nivel de vida y contrarrestar la falta de alimentos.

En este sentido, el papel de los gobiernos en la elaboración de marcos reguladores para el uso y distribución de las tierras es fundamental, ya que una de las posibles desventajas de los programas de biocombustibles puede ser la concentración de la propiedad de las tierras, lo que puede originar más pobreza, monocultura, destrucción de bosques e incremento de los impactos ambientales.

De otro lado, tomando en cuenta que en el mundo la cantidad de tierras disponibles para la agricultura es limitada, es preciso definir la fracción del suelo agro-cultivable que podría ser utilizada para la producción de biocombustibles.

Los cereales son la fuente de alimentos más importante del mundo (FAO, 2003), tanto para el consumo humano directo como, de manera indirecta, para la producción pecuaria. Por tanto, variaciones en su disponibilidad y precios pueden ser cruciales en el abastecimiento mundial de alimentos. La utilización

de tierras cultivables y de granos aptos para el consumo humano en la producción de biocombustibles, ya está causando señales de alerta en algunos lugares del mundo.

Estados Unidos responde por el 70% de las exportaciones mundiales de maíz. El crecimiento de la construcción de destilerías para la producción de etanol a partir de este cereal preocupa tanto a los productores de alimentos que dependen del grano, como a los principales países importadores de petróleo. Esto es así, pues, en la medida en que el precio del petróleo aumenta, es más competitiva la producción de los biocombustibles provenientes de productos agrícolas, lo que genera una competencia entre las dos industrias para la utilización de la materia prima. En Europa, la producción de biodiésel a partir de aceite vegetal llevó a los fabricantes de margarina a pedir ayuda al Parlamento Europeo, dada la desigualdad de los precios con los que compiten con las refinerías de biodiésel (Brown, 2006).

El área dedicada al cultivo de maíz en Estados Unidos en el período 2007-2008 fue la mayor desde 1944 (FT, 2007). Su crecimiento ha desplazando cultivos como la soya y el trigo. Como más granos se dedican a fines energéticos, los inventarios disponibles para alimentos disminuyen y el precio de las materias primas aumenta, lo que ha originado alerta mundial. Así, el incremento en la producción de biocombustibles en Estados Unidos tuvo una influencia directa en los costos de los cereales y otros productos alimenticios relacionados (Wahenga, 2007). En 2006, los precios del trigo y del maíz alcanzaron los niveles más altos de los últimos diez años.

En México existe una gran preocupación por los costos del maíz, ya que la producción de tortillas –el principal alimento de la población con menos recursos–, depende del grano producido en Estados Unidos.

Colombia, por su parte, observó incrementos considerables en los precios del azúcar por la mayor producción de etanol (Finagro, 2007).

Según el informe presentado por Wahenga (2007a), “se puede esperar un aumento en los costos de los alimentos por dos razones principales: los altos costos de producción agrícola (principalmente por ser la agricultura una gran consumidora de energía fósil en

la actualidad), y la influencia que tienen los biocombustibles en el precio mundial de los granos”.

Hace poco tiempo, el Programa Mundial de Alimentos de la ONU (PMA) expresó su preocupación por el incremento del precio de los alimentos durante los últimos cinco años (BBC, 2007). Entre las causas de la situación encontraba: afectación de los cultivos en algunas áreas por condiciones climáticas; disminución de algunas reservas de alimentos, como el trigo; incremento de la demanda de alimentos por parte de China e India; aumento en el precio del petróleo y, finalmente, el creciente uso de biocombustibles producidos a partir de maíz y caña de azúcar.

En relación con este tema, expertos de las Naciones Unidas afirman que los biocombustibles como el etanol pueden ayudar a reducir el calentamiento global y crear nuevos empleos para las personas carentes en las regiones rurales, pero advierten que los beneficios podrían ser eliminados por problemas ambientales graves y por el incremento en el precio de los alimentos, en caso de que esta industria crezca desordenadamente.

Es de gran importancia la formulación y el establecimiento de políticas regulatorias que garanticen la protección de los suelos dedicados a la producción de biocombustibles, con lo que se evitaría un mayor incremento en la degradación del medio ambiente por el crecimiento acelerado de este mercado. Cada año, 100.000 km² de tierras pierden su vegetación, se degradan o se convierten en desiertos. Estos cambios tienen consecuencias directas en la alteración del medio ambiente y en las condiciones climáticas del planeta (Leahy, 2007).

Dadas las crecientes preocupaciones de la sociedad en relación con los impactos sobre el medio ambiente y la seguridad alimentaria, organizaciones no gubernamentales como la WWF, algunos países europeos y sectores del gobierno brasileño están sugiriendo la adopción de una serie de medidas.

Una de ellas es crear un sello ecológico para las empresas dedicadas a la producción de biocombustibles en Brasil, que permitiría la reglamentación adecuada en el crecimiento del sector, ya que sólo podrán ser comercializados

en el mercado aquellos combustibles que tengan la certificación ambiental.

Conclusiones

- Desde una perspectiva global, es erróneo calificar y juzgar de manera generalizada la producción, el mercadeo y el consumo de los biocombustibles. Las posibilidades de uso de tierras en cada país, la evaluación de la seguridad alimentaria para la población, los objetivos para la mejora de la calidad del aire en las principales ciudades y la determinación de los costos de las materias primas depende, entre otros factores, de las economías regionales, las limitaciones políticas y principalmente de su nivel de desarrollo. Además, no todos los lugares tienen el potencial ambiental requerido (radiación solar, suelo fertilización, abastecimiento de agua), disponible en función de la escala de costos.
- El agotamiento inminente de los combustibles fósiles y los altos precios del petróleo, además de la necesidad de mitigar el efecto invernadero, han originado el uso masivo de biocombustibles en el mundo entero, los cuales se han convertido en una alternativa providencial que puede conjugar la seguridad energética con la conservación del medio ambiente, sin comprometer necesariamente la alimentación de la humanidad. Sin embargo, es preciso considerar que los biocombustibles son apenas una solución parcial al problema de disponibilidad de combustibles para los automotores. La solución global va desde la electrificación del transporte, la producción de combustibles líquidos a partir de carbón mineral y de hidrógeno, utilizando fuentes renovables de energía, hasta la utilización de automóviles movidos con energía solar y el cambio radical hacia los hábitos de consumo, que deben orientarse al uso eficiente de la energía.
- El desarrollo tecnológico permitirá pasar de la opción actual, limitada al biodiésel y bioetanol (biocombustibles de primera generación), al etanol celulósico, al metanol, al DME y al biohidrógeno, todos obtenidos a partir de las



plataformas termoquímica y biológica de conversión de residuos lignocelulósicos (biocombustibles de segunda y tercera generación). Esto permitirá disponer de enormes cantidades de materia prima y reducir el impacto sobre la producción de alimentos. Son necesarias mayores inversiones en programas de investigación y desarrollo para que las tecnologías de producción de biocombustibles de segunda y tercera generación alcancen su etapa comercial en un período de 10 a 15 años.

- El análisis de ciclo de vida (ACV) y los indicadores de sustentabilidad asociados constituyen una herramienta importante para la toma de decisiones en programas de producción de biocombustibles. Resultados contradictorios de la aplicación del ACV muestran la necesidad de rigor en la definición del objetivo y límites geográficos del estudio.
- La lucha contra el hambre en el mundo pasa por el desarrollo sostenible de las regiones rurales, que permitiría el acceso al empleo y renta a millones de personas. Programas de cultivo de oleaginosas y producción de biocombustibles podrían contribuir en este sentido, principalmente en áreas degradadas.
- Al evaluar el impacto de los biocombustibles sobre la seguridad alimentaria, se debe distinguir entre su producción a partir de cereales y caña de azúcar, y de oleaginosas no adecuadas

para el consumo humano. Se impone un análisis internacional y regional del problema, con el fin de definir si existen condiciones locales para la implementación de programas semejantes. También es preciso considerar el impacto de otros factores, como los altos precios del petróleo, los conflictos bélicos, los desastres naturales y la degradación de los suelos.

- Se necesita de un marco regulatorio que establezca límites al uso de la tierra y a los impactos ambientales, y que incentive la mejoría de las condiciones de vida de los trabajadores rurales implicados en programas de biocombustibles.
- Brasil posee condiciones climatológicas, además de suelo y agua, excepcionales para el desarrollo de programas de producción de biocombustibles. Otro factor importante es la experiencia de producción, distribución y consumo a gran escala del etanol obtenido a partir de la caña de azúcar. Sin embargo, son necesarias las inversiones privadas en investigación y desarrollo, y en infraestructura, así como un marco regulatorio apropiado.
- La obtención de un subproducto para consumo animal en la producción de etanol a partir del bagazo de caña, significaría un gran aporte al sector pecuario de los países que lo utilizan como materia prima, y reduciría la necesidad de emplear grandes extensiones de tierra para la alimentación animal.



Referencias

- Agarwal, A. K. 2006. Biofuels (alcohols and biodiesel) applications as fuels for internal combustion engines. *Progress in Energy and Combustion Science*, 33: 233–271.
- Alexandratos, N. 1998. World food agriculture: outlook for the medium and longer term. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* (en línea) <http://www.pnas.org> (consulta: 1º de junio de 2007).
- American Coalition for Ethanol. 2007. What is ethanol? (en línea) <http://www.ethanol.org/index.php?id=34&parentid=8> (consulta: 5 de junio).
- Baudel, M, H. 2006. Pré-Tratamento e Hidrólise do Bagaço de Cana de Açúcar para a produção de etanol. III Workshop Tecnológico sobre Hidrólise para Produção de Etanol (en línea) <http://www.inovacao.unicamp.br/etanol/report/Hidrolise%20Baudel%20Pr%E9%20Tratamento%20e%20Hidr%F3lise.pdf> (consulta: 18 de agosto de 2007).
- BBC. 2007. Inflación en alimentos limita a la ONU (en línea) http://news.bbc.co.uk/hi/spanish/business/newsid_6901000/6901555.stm (consulta: 16 de julio).
- Biodieselbr. 2007. ProÁlcool – História da indústria sucroalcooleira (en línea) <http://www.biodieselbr.com/proalcool/historia/proalcool-industria-sucroalcooleira.htm> (consulta: 21 de septiembre).
- Blottnitz, H. V; Curran, M. A. 2006. A review of assessments conducted on bio-ethanol as a transportation fuel from a net energy, green-

- house gas, and environmental life cycle perspective. *Journal of Cleaner Production*, 15: 607-619.
- BP. 2007. Statistical Review of World Energy (en línea) www.bp.com (consulta: 14 de mayo).
- Brawn, L. R. 2006. Supermarkets and service stations now competing for grain – Earth Policy Institute (en línea) <http://www.earth-policy.org/Updates/2006/Update55.htm> (consulta: 6 de junio de 2007).
- Camus, J. M.; Laborda, J.A. 2006. Biocarburantes líquidos: biodiésel y bioetanol. Informe de vigilancia tecnológica (en línea) www.madrimasd.org (consulta: 18 de mayo de 2007).
- Clemente, I; Mansur, A; Leal, R. 2007. O que o país precisa fazer para aproveitar o ciclo do álcool e dar um salto de desenvolvimento. *Época*. Editora Globo, p. 86-94.
- Conn, I. 2007. Energy trends and technologies for the coming decades. Address to the Harvard University Center for the Environment.
- Davis, C. 2007. Global Biofuels Trends - Monthly Update - Earth Trends (en línea) <http://earthtrends.wri.org/updates/node/180> (consulta: 5 de junio).
- Earth Policy Institute. 2007. World biodiesel production 1991-2005 (en línea) http://www.earth-policy.org/Updates/2006/Update55_data.htm (consulta 7 de mayo).
- Earth Trends (2007) Global Biofuel Trends - March 2007 Monthly Update (en línea) <http://earthtrends.wri.org/updates/node/180> (consulta: 7 de mayo).
- Embrapa. 2006. Plano Nacional de Agroenergia 2006-2011 / Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Secretaria de Produção e Agroenergia. 2. ed. rev. - Brasília, D.F. 110 p.
- Embrapa. 2007. Sistema de produção de mamona (en línea) <http://www.cpact.embrapa.br/publicacoes/catalogo/tipo/sistemas/mamona/expediente.htm> (consulta: 5 de septiembre).
- European Commission. 2006. Biofuels in the European Union – A Vision for 2030 and beyond (en línea) http://bookshop.europa.eu/eubookshop/FileCache/PUBPDF/KINA22066ENC/KINA22066ENC_002.pdf (consulta: 7 de mayo de 2007).
- European Commission. 2006a. Review of EU biofuels directive-Public consultation exercise (en línea) <http://ec.europa.eu/energy/res/legislation/doc/biofuels/contributions/ngos/fnr.pdf> (consulta: 7 de mayo de 2007).
- Exxon Mobil. 2004. A report in energy trends greenhouse gas emissions and alternative energy (en línea) www.esd.lbl.gov (consulta: 7 de mayo de 2007).
- Finagro. 2007. El etanol dispara el precio del azúcar (en línea) <http://www.finagro.com.co/@noticias/index.asp?idnoticia=919> (consulta: 8 de septiembre de 2007).
- Financial Times*. 2007. Ethanol drawback's (en línea) http://us.ft.com/ftgateway/superpage.ft?news_id=fto040220070907560683&page=2. (consulta: 5 de julio de 2007).
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 1998. Declaração de Roma sobre a segurança alimentar mundial e plano de ação da cimeira mundial da alimentação (en línea) <http://www.fao.org/docrep/003/w3613p/w3613p00.htm> (consulta: 5 de julio de 2007).
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 2003. World Agriculture: Towards 2015/2030. A FAO perspective (en línea) <http://www.fao.org/docrep/005/y4252e/y4252e00.htm> (consulta: 1º de julio de 2007).
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 2006. The State of Food Insecurity in the World (en línea) www.fao.org (consulta: 6 de julio de 2007).
- Hill, J; Nelson, E; Tilman, D; Polasky, S; Tiffany, D. 2006. Environmental, economic, and energetic costs and benefits of biodiesel and ethanol biofuels. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America (en línea) <http://www.pnas.org/cgi/reprint/103/30/11206> (consulta: 1º de julio de 2007).
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2007. "The physical science basis". Working Group I Report (en línea) www.ipcc.ch (consulta: 20 de septiembre de 2007).
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2007a. Mitigation from a cross – sectorial perspective. Working Group III Report, Mitigation of Climate Change – Chapter 11 (en línea) www.ipcc.ch (consulta: 20 de septiembre de 2007).
- International Energy Agency (IEA). 2004. Biofuels for Transport - An international perspective (en línea) www.iea.org (consulta: 7 de mayo de 2007).
- International Energy Agency (IEA). 2006. Key world energy statistics (en línea) <http://www.iea.org/Textbase/nppdf/free/2006/Key2006.pdf> (consulta: 7 de junio de 2007).
- International Energy Agency (IEA). 2007. Renewables in global energy supply-An IEA Fact Sheet (en línea) www.iea.org (consulta: 8 de mayo de 2007).
- Jhonson, C. A. 2007. Pressure Point – Ethanol Producer Magazine (en línea) http://www.ethanol-producer.com/article.jsp?article_id=2801&q=&page=1 (consulta: 8 de julio de 2007).
- Knothe, G. 2002. Perspectivas históricas dos combustíveis diesel baseados em óleos vegetais. *Revista A&G*, 47: 222-226.
- Knothe, G; Dunn, R. O; Bagby, M.O. 1997. Biodiesel: The use of vegetable oils and their derivatives as alternative diesel fuels (en línea) <http://www.biodieselgear.com/documentation/VegetableOilsAsAlternativeDieselFuels.pdf>. (consulta: 7 de junio de 2007).
- Leahy, S. (2007) Environment: dirt isn't so cheap after all (en línea) <http://www.ipsnews.net/news.asp?idnews=39083> (consulta: 8 de septiembre de 2007).
- Marshall, L; Greenhalgh, S. 2006. Beyond the RFS: The environmental and economic impacts of increased grain ethanol production in the U.S.
- Mathews, J.A. 2007. Biofuels: What a biopact between north and south could achieve. *Energy Police* 35: 3550-3570.
- National Biodiesel Board. 2007. What is Biodiésel? (en línea) www.nbb.org/resources/definitions/default.shtm (consulta: 6 de mayo de 2007)
- Nexant. 2006. Prospectus liquid biofuels: substituting for petroleum – A global techno economic and market evaluation (en línea) www.chemsystems.com (consulta: 6 de junio de 2007).
- Pimentel, D; Patzek, T.W. 2005. Ethanol production using corn, switch-Grass, and wood; biodiesel production using soybean, and sunflower. *Natural Resources Research*, 14(1): 65-76.
- Puppán, D. 2001. Environmental evaluation of biofuels. *Periodica Polytechnica Ser. Soc. Man. SCI*. 10(1): 95-116.



- Souto, J. J. 2006. Política nacional de biocombustíveis - Ministério de Minas e Energia (en línea) www.mme.gov.br (consulta: 8 de junio de 2007).
- Teske, S., Schäfer, O. 2007. Energy revolution: a sustainable world energy outlook. *Renewable Energy World* (en línea) <http://www.renewable-energy-world.com> (consulta: 15 de marzo).
- U.S Department of Energy (US DOE). 2007. Alternative fuels – ethanol (en línea) <http://www.eere.energy.gov/afdc/altfuel/ethanol.html> (consulta: 25 de mayo).
- United Nations (UN). 2007. Biofuels. United Nations Conference on Trade and Development-press release (en línea) <http://www.unctad.org/templates/Webflyer.asp?docID=8315&intItemID=1634&lang=1> (consulta: 25 de mayo).
- United Nations (UN). 2007b. World Population Prospects: The 2006 Revision and World Urbanization Prospects (en línea) <http://esa.un.org/unpp/p2k0data.asp> (consulta: 25 de mayo).
- United Nations (UN). 2007a. Sustainable bioenergy: a framework for decisions markets (en línea) www.un.org (consulta: 25 de mayo).
- Wahenga. 2007a. Biofuel production and the threat to South Africa's food security (en línea) http://www.wahenga.net/uploads/documents/briefs/Brief_11.pdf (consulta: 14 de julio).
- Wahenga. 2007. Bio-fuels and Food Aid: The Impact on Southern Africa (en línea) <http://www.wahenga.net/> (consulta: 15 de julio).
- Wesseler, J. 2006. Communication: Opportunities ('costs) matter: A comment on Pimentel and Patzek "Ethanol production using corn, switchgrass, and wood; biodiesel production using soybean and sunflower". *Energy Police* 35: 1414-1416.
- WorldWatch. 2006. Biofuels for transportation: global potential and implications for sustainable agriculture and energy in the 21st century (en línea) <http://www.worldwatch.org/system/files/EBF038.pdf> (consulta: 7 de julio de 2006).
- WWF. 2007. WWF Position on Biofuels in the EU (en línea) www.wwf.org (consulta: 15 de mayo).
- Yáñez, E. E.; Lora, E. E.; Da Costa, R. E.; Lamônica, H. M.; Finguerut, J.; Sierra, G. A.; Nascimento, M.A. 2007. Capítulo biodiésel: tecnologia e análise do ciclo de vida. Livro, Tecnologias de Conversão da Biomassa. Coordinadores: Cortez, L. A., Lora, E. E. S., Gómez, E. O. Editora da Unicamp, 2008.
- Yáñez, E. E.; Lora, E. E.; Ugaya, C.; Venturini, O. 2008. Sensibility analysis of the cogeneration using biomass on life cycle assessment for palm oil biodiesel. 21st International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems (Ecos) June 24-27 2008, Poland.