

# BIOCOMBUSTIBLES LÍQUIDOS PARA TRANSPORTE EN AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE



NACIONES UNIDAS

CEPAL



SESENTA AÑOS CON AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE



Bundesministerium für  
wirtschaftliche Zusammenarbeit  
und Entwicklung

gtz

# Biocombustibles líquidos para transporte en América Latina y el Caribe

Manlio F. Coviello  
José Javier Gómez  
Carlos Razo  
Adrián Rodríguez



Bundesministerium für  
wirtschaftliche Zusammenarbeit  
und Entwicklung



Este documento ha sido elaborado gracias a las contribuciones sustantivas de Manlio F. Coviello, José Javier Gómez, Carlos Razo y Adrián Rodríguez, todos Oficiales de Asuntos Económicos de CEPAL, bajo la supervisión de Fernando Sánchez-Albavera, Martine Dirven y Joseluis Samaniego, Directores de CEPAL y la de Hugo Altomonte, Jefe de la Unidad Recursos Naturales y Energía de CEPAL.

También se contó con la colaboración y comentarios de Georgina Núñez, de la Oficina CEPAL/Washington, y de los consultores Luiz Augusto Horta y André Furtado

El documento se enmarca entre los productos del plan de actividades del proyecto “Modernización del Estado, Desarrollo Productivo y Uso sostenible de los recursos naturales (GER/05/001)”, ejecutado por CEPAL en conjunto con la *Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit* (GTZ) y financiado por el Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo de Alemania (BMZ).

Las opiniones expresadas en este documento que no ha sido sometido a revisión editorial, son de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a las instituciones involucradas.

Publicación de las Naciones Unidas

LC/W.203

Copyright © Naciones Unidas, diciembre de 2008. Todos los derechos reservados  
Impreso en Naciones Unidas, Santiago de Chile

La autorización para reproducir total o parcialmente esta obra debe solicitarse al Secretario de la Junta de Publicaciones, Sede de las Naciones Unidas, Nueva York, N. Y. 10017, Estados Unidos. Los Estados miembros y sus instituciones gubernamentales pueden reproducir esta obra sin autorización previa. Sólo se les solicita que mencionen la fuente e informen a las Naciones Unidas de tal reproducción.

## Índice

Resumen .....	9
Introducción .....	17
Capítulo 1: ¿Cuáles y cuántos biocombustibles?.....	23
1.1 ¿Cuáles biocombustibles? .....	23
1.2 Prospectiva mundial sobre el uso de biocombustibles .....	29
1.3 El mercado potencial de los biocombustibles en AL y C.....	31
1.4 Significación de los Biocombustibles en el consumo final de AL y C .....	34
Capítulo 2: El potencial de América Latina y el Caribe para producir biocombustibles líquidos a partir de biomasa .....	35
2.1 Introducción .....	35
2.2 América Latina y el Caribe en el contexto internacional .....	36
2.3 Tres escenarios sobre el potencial de biomasa en cultivos bionergéticos .....	41
2.3.1 Cálculo basado en excedentes de producción .....	45
2.3.2 Cálculo basado en el área necesaria para alcanzar mezclas E5 y B5 .....	47
2.3.3 Cálculo basado en la máxima expansión posible de la superficie plantada .....	50
2.4 Disponibilidad de biomasa a partir de la silvicultura .....	52
2.5 Disponibilidad de Biomasa a partir de residuos.....	53
Capítulo 3: Impactos en precios, empleo agrícola y estructura agraria .....	57
3.1 Impactos en precios.....	57
3.1.3 Relación entre los precios de los combustibles fósiles y los precios agrícolas .	57
3.1.3 Impactos en los precios agrícolas .....	58
3.1.3 Vinculación entre los mercados de energía y los mercados agrícolas e impactos en los precios de los alimentos .....	63
3.2 Impactos en el empleo agrícola.....	68
3.3 Impactos en la estructura agraria.....	71
Capítulo 4: Costos de producción .....	75
4.1 Introducción a la problemática.....	75
4.2 Componentes principales de los costos de producción de biocombustibles .....	76
4.3 Costos de producción de bioetanol.....	77
4.4 Costos de producción del Biodiesel .....	79
4.5 Biocombustibles de segunda generación.....	80

4.6	Costo unitario total de producción y umbrales de rentabilidad en relación con el precio del petróleo.....	82
4.7	Necesidad de trascender los análisis convencionales de rentabilidad privada .....	84
4.7.1	Elementos conceptuales de la evaluación económica o social de proyectos.....	86
4.7.2	Generación de empleo y su potencial efecto asociado de erradicación de la pobreza: una reflexión adicional .....	87
4.7.3	Síntesis de los principales beneficios socioeconómicos asociados a la producción de biocombustibles .....	89
Capítulo 5:	Balance energético de los biocombustibles .....	93
5.1	Introducción al análisis de ciclo de vida .....	93
5.2	Indicadores energéticos del ACV .....	94
5.3	Fases del ciclo de vida.....	96
5.4	¿Por qué los resultados son diferentes?.....	97
5.4.1	Discusión con respecto al saldo energético .....	97
5.4.2	Poder calorífico de los biocombustibles.....	98
5.4.3	Consideración de los créditos (energía contenida) en los subproductos .....	99
5.4.4	Límites del sistema.....	99
5.4.5	Factores que afectan a la productividad .....	99
Capítulo 6:	Impactos ambientales .....	101
6.1	Introducción .....	101
6.2	Impactos ambientales en la etapa de producción agrícola.....	103
6.2.1	Uso de la tierra .....	103
6.2.2	Otros impactos: suelos, agua y aire .....	105
6.3	Impactos ambientales en la etapa de transformación industrial .....	109
6.4	Impactos ambientales en la etapa de consumo de los biocombustibles .....	111
6.4.1	La contaminación del aire en las ciudades y el transporte rodado .....	111
6.4.2	Cambios en contaminantes locales asociados a la introducción de biocombustibles.....	112
6.4.3	Cambios en los contaminantes locales asociados al uso de bioetanol.....	114
6.4.4	Cambios en los contaminantes locales asociados al uso de biodiesel.....	115
6.4.5	Biocombustibles, contaminación del aire y crecimiento del parque automotor.....	116
6.5	Biocombustibles y emisiones de gases de efecto invernadero .....	117
6.5.1	El papel de los biocombustibles en la reducción de emisiones de GEI.....	118
6.5.2	Biocombustibles y los costos de reducir emisiones de GEI .....	121
6.5.3	Los proyectos de biocombustibles en el Mecanismo de Desarrollo Limpio ...	124
Capítulo 7:	Estándares Técnicos y Tributación.....	127
7.1	Estandares técnicos .....	127
7.1.1	Biodiesel.....	127
7.1.2	Bioetanol .....	130
7.1.3	Estándares para los “nuevos” biocarburantes.....	132
7.1.4	La estandarización internacional de los biocombustibles.....	132
7.2	Tributación .....	133
7.2.1	Tributación de los biocombustibles en la UE.....	134
7.2.2	BIODIESEL: la tributación en Alemania.....	135
7.2.3	BIOETANOL: la fiscalidad en USA .....	136
7.2.4	Tributación del bioetanol y del biodiesel en algunos países de la Región .....	138
Capítulo 8:	Biocombustibles y comercio internacional.....	139
8.1	Introducción .....	139
8.2	Las barreras comerciales a las exportaciones de biocombustibles .....	140
8.3	Estados Unidos y América Latina: socios en biocombustibles? .....	141

8.4	Negociaciones internacionales .....	143
8.4.1	La ronda de Doha .....	143
8.4.2	Los acuerdos regionales y bilaterales .....	145
8.4.3	Un nuevo ámbito para los Biocombustibles? .....	146
8.5	Perspectivas de expansión de las exportaciones de biocombustibles líquidos de América Latina .....	146
Capítulo 9: Situación y desafíos de los biocombustibles en América Latina y el Caribe .....		149
9.1	Bioetanol: experiencias en países de América Latina y el Caribe.....	150
9.2	Biodiesel: experiencias en países de América Latina y el Caribe .....	158
9.4	Desafíos para el desarrollo sostenible de biocombustibles en América Latina y el Caribe .....	162
9.4.1	Los desafíos para el bioetanol .....	162
9.4.2	Los desafíos para el biodiesel.....	163
9.4.3	Los desafíos para el sector público en la promoción de los biocombustibles .	165
Bibliografía .....		167

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico	3.1	Evolución de los precios de algunos granos y del azúcar .....	64
Gráfico	3.2	Evolución de los precios de algunas oleaginosas .....	65
Gráfico	3.3	Evolución de los precios de la energía, productos agrícolas y grupos de alimentos en países de ingresos medios y bajos .....	67
Gráfico	3.4	Personas ocupadas, permanentes y temporales, en el cultivo de caña en Brasil 1992-2004 .....	70
Gráfico	3.5	Evolución del porcentaje de empleados agrícolas que reciben más de un salario mínimo al mes, por tipo de empleo para la caña de azúcar en Brasil.....	70
Gráfico	4.1	Costos de producción de bioetanol: comparación varios países .....	77
Gráfico	6.1	Impactos Ambientales asociados a la producción de biocombustibles.....	102
Gráfico	6.2	Consumo de H <sub>2</sub> O virtual en la producción agrícola por unidad de energía generada.....	108
Gráfico	6.3	Contribución del transporte rodado a la contaminación del aire en tres ciudades de América Latina.....	112
Gráfico	6.4	Contenido de azufre (ppm) en el diesel oil de países de América Latina y el Caribe.....	114
Gráfico	8.1	Importaciones de Bioetanol a Estados Unidos por país de origen.....	142
Gráfico	9.1	Precios de referencia para el biodiesel de diferentes materias primas y para el Diesel Róterdam.....	164

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	1.1	Biocombustibles convencionales.....	23
Tabla	1.2	Mezclas utilizadas en distintos países.....	24
Tabla	1.3	Biocombustibles como porcentaje del consumo de gasolina y diesel .....	25
Tabla	1.4	Variedad de materias primas.....	27
Tabla	1.5	Biocombustibles avanzados.....	28
Tabla	1.6	Consumo mundial de biocombustibles en ambos escenarios .....	30
Tabla	1.7	América Latina y el Caribe – Año 2005 – Cuanto “pesan” las mezclas al 10%....	34
Tabla	2.1	Proyección del potencial energético técnico de los cultivos energéticos para el año 2050.....	37
Tabla	2.2	Requerimientos de tierra para la producción de biocombustibles en América Latina .....	38

Tabla	2.3	Restricciones en el uso agrícola de la tierra.....	39
Tabla	2.4	Cultivos bioenergéticos para América Latina y el Caribe .....	41
Tabla	2.5	Características generales de los cultivos utilizables para la obtención de bioetanol .....	41
Tabla	2.6	Características generales de los cultivos utilizables para la obtención de biodiesel .....	42
Tabla	2.7	América Latina y el Caribe (2000-2003): rendimientos agrícolas promedio por cultivo y país (en t/ha) para la producción de bioetanol.....	43
Tabla	2.8	América Latina y el Caribe (2000-2003): rendimientos agrícolas promedio por cultivo y país (en t/ha) para la producción de biodiesel .....	44
Tabla	2.9	América Latina y el Caribe (2000-2003) Área Requerida vs. Superficie Potencial de Cultivo para una Mezcla de Bioetanol E5.....	48
Tabla	2.10	Área requerida versus superficie potencial de cultivo para una mezcla de biodiesel B5 .....	49
Tabla	2.11	Composición de los residuos de cultivo y rendimiento de bioetanol.....	54
Tabla	2.12	Fuentes de residuos de cultivo en América Latina y el Caribe .....	55
Tabla	2.13	Potencial de producción de Bioetanol a partir de residuos en América Latina y el Caribe.....	56
Tabla	3.1	Efectos del incremento de demanda por biodiesel en precios y producción (en porcentajes).....	59
Tabla	3.2	Aumento estimado en los precios mundiales de cultivos (en %).....	60
Tabla	3.3	Cambio porcentuales en los precios de los alimentos entre distintos escenarios de desarrollo de la producción de biocombustibles y de precios del petróleo en los Estados Unidos de América .....	66
Tabla	3.4	Nuevos empleos estimados en la industria del Bioetanol.....	68
Tabla	3.5	Tamaño de explotación y cultivo energético .....	71
Tabla	4.1	Síntesis de estimaciones de costos de producción de bioetanol, excluyendo costos de capital (US\$/l).....	78
Tabla	4.2	Costos de producción de biodiesel.....	79
Tabla	4.3	Costos de inversión inicial en función del tamaño de la planta de biodiesel.....	80
Tabla	4.4	Costos de producción de bioetanol lignocelulósico.....	81
Tabla	4.5	Costos estimados de producción de biocombustibles de segunda generación.....	81
Tabla	4.6	Precio del barril del petróleo a partir del cual es rentable la producción de biocombustible .....	82
Tabla	4.7	Costos de producción de bioetanol y biodiesel (por litro de combustible fósil equivalente) y precios de combustibles fósiles.....	83
Tabla	4.8	Comparación de los costos de producción del 2002 y potenciales en Norteamérica (US\$ por litro equivalente de gasolina) .....	84
Tabla	6.1	Extracción de nutrientes por unidad de energía generada según cultivo .....	106
Tabla	6.2	Factores relativos a prácticas de cultivo utilizados en la USLE .....	107
Tabla	6.3	Principales contaminantes del aire locales.....	111
Tabla	6.4	Cambios en emisiones contaminantes de biodiesel B20 y B100 respecto al diesel convencional.....	116
Tabla	6.5	Dimensión y variación del parque automotor en algunos países de América Latina y el Caribe (1995-2003).....	117
Tabla	6.6	Cambios en las emisiones de GEI (en ciclo de vida) por distancia recorrida sustituyendo gasolina convencional por bioetanol .....	119
Tabla	6.7	Cambios en las emisiones de GEI (en ciclo de vida) por distancia recorrida sustituyendo diesel convencional por biodiesel.....	120
Tabla	6.8	Costos actuales y futuros de reducción de emisiones de GEI mediante biocombustibles .....	121

Tabla	6.9	Proyectos MDL de biocombustibles.....	124
Tabla	7.1	Comparación internacional de especificaciones para el Biodiesel .....	128
Tabla	7.2	Especificaciones para el Biodiesel en Brasil .....	130
Tabla	7.3	Especificación para el Bioetanol en Brasil .....	131
Tabla	8.1	Barreras Arancelarias a las Exportaciones Brasileñas (en equivalente ad valorem).....	141
Tabla	9.1	Cultivos oleaginosos de interés inmediato para biodiesel en Brasil .....	160

### ÍNDICE DE RECUADROS

Recuadro 2.1	Progreso tecnológico asociado a los cultivos bioenergéticos .....	35
Recuadro 4.1	Tendencias del transporte .....	86
Recuadro 8.1	Estrategia a largo plazo para el desarrollo del mercado global del bioetanol.....	141
Recuadro 9.1	Rol del Estado y Desarrollo del Potencial de los Biocombustibles: el caso paradigmático del Perú .....	165

## Resumen

La experiencia de Brasil en materia de biocombustibles es sin duda un paradigma relevante para la región de América Latina y el Caribe. En efecto, si bien la producción de bioetanol tiene una larga tradición de producción en numerosos países de la Región, su uso sistemático y articulado (en todos los eslabones de la cadena productiva) como combustible para el transporte automotor sólo se materializó en Brasil a partir de la década de los '70, como consecuencia del lanzamiento del Programa ProAlcool en respuesta al primer shock petrolero. Posteriormente (hasta final del siglo XX) la rápida disminución de los precios del petróleo redujo el atractivo de la producción de ese combustible y se originó una pérdida de confianza en la seguridad de su abastecimiento. A partir de la primera década del 2000, sin embargo, se retomó el interés por el bioetanol, se comenzaron a producir los vehículos “flex-fuel” y ya en 2007 la gasolina sin bioetanol no se vende en el mercado brasileiro.

Las perspectivas respecto a los biocombustibles en los otros países de la Región son muy diferentes, tanto en lo que se refiere al tamaño del mercado potencial como respecto a la dotación de recursos naturales. Sin embargo –y más allá de la diversidad de situaciones nacionales y subregionales con relación a los mercados potenciales de bioetanol y biodiésel– es importante examinar la significación de los biocombustibles con respecto al consumo de energía en el sector de transporte y dentro del consumo final total de la región de América Latina y el Caribe. Tomando como referencia mezclas de 10% para ambos biocombustibles (E10 y B10) y relacionándolas con los consumos en transporte y final total de la Región para el año 2005, el presente trabajo demuestra que la introducción de estos últimos tendría escasa significación dentro del balance energético regional.

El estudio también presenta los resultados de aproximaciones diferentes respecto a la estimación del potencial de producción de biocombustibles líquidos a partir de cultivos energéticos, a saber:

- el porcentaje de mezcla actual de bioetanol y biodiésel obtenible a partir de los excedentes de producción;
- la superficie que habría que cultivar en cada país, para autoabastecer una mezcla del 5% de bioetanol (E5) y de biodiésel (B5) por volumen en el total del consumo de gasolina y diésel del país;

- la superficie que es posible expandir tomando en cuenta las características agro-ecológicas y climáticas de cada país.

El ejercicio demuestra que –en términos absolutos– América Latina y el Caribe tiene disponibilidad de tierra y características climáticas que permiten pensar en una importante producción de cultivos energéticos. Sin embargo, también deben considerarse una serie de restricciones físicas que –en algunos países– podrían limitar la incorporación de esas tierras a la producción.

Con relación a los biocombustibles de II generación (o avanzados), dados los altos costos actuales de la transformación de biomasa lignocelulósica en bioetanol o biodiésel, es poco probable –en el corto plazo– una expansión de su producción en la Región, en especial si existen otros cultivos bioenergéticos más eficientes, como la caña de azúcar.

Sin embargo, el desarrollo de biocombustibles avanzados con costos de producción competitivos a partir de madera y residuos forestales, pueden hacer más atractivo el uso de esta materia prima. De hecho, el potencial energético para América Latina, a partir de residuos al año 2050, podría variar entre 12 y 14 ExaJoules (EJ) por año en residuos usados para alimentación animal. Estas cifras representan entre el 14% y el 15% del total mundial a partir de esta fuente bioenergética.

Aunque no se dispone, por el momento, de cifras exacta de residuos de productos forestales en numerosos países de la Región, es posible afirmar que su potencial es muy significativo. La remoción y utilización de residuos forestales se puede integrar a un manejo forestal sostenible y puede reducir el riesgo de incendios forestales, sin tener un efecto negativo sobre el ecosistema. En cuanto a los residuos lignocelulósicos de la producción agrícola, el potencial de producción de biocombustibles a partir de residuos de maíz, arroz, trigo y bagazo de caña de azúcar es relevante. En términos de potencial técnico, las cifras muestran que, solamente a partir de los residuos de estos cuatro cultivos, se podrían producir alrededor de 4.300 millones de litros de bioetanol por año.

Los biocombustibles representan una oportunidad importante para la diversificación productiva de la región. Sin embargo, el presente estudio muestra que el aumento de la producción de biocombustibles podría tener efectos adversos de no ser acompañado por un paquete adecuado de políticas. En particular, el aumento en la demanda por biocombustibles podría resultar en una mayor concentración de la producción y la tenencia de la tierra.

Por otra parte, es probable que una fuerte expansión en la producción de biocombustibles a nivel mundial genere alzas en los precios de los productos agrícolas, al menos en el corto plazo. La ganadería y la silvicultura podrían verse también afectadas; la ganadería a través de los precios del alimento para animales y de la tierra disponible para el ganado, la silvicultura a través de la expansión de la tierra cultivable que resulte en una reducción de las áreas destinadas a esta actividad.

En la decisión de usar cultivos energéticos para producir biocombustibles es importante considerar el costo de oportunidad para la sociedad en su conjunto. Mientras que puede existir un efecto positivo en la cadena de valor y en el productor al percibir un mayor ingreso, el mercado de alimentos podría experimentar un alza generalizada de precios, que a la vez podría traducirse en una caída del ingreso real de los consumidores. Esta situación es sensible especialmente en el caso de los países de la Región, donde las clases medias y bajas destinan una parte significativa de sus ingresos al consumo de alimentos. Otros efectos negativos pueden darse en términos de seguridad alimentaria y nutrición.

La ganadería y la silvicultura no estarían exentas de ser afectadas por los biocombustibles. El efecto en el sector ganadero puede manifestarse a través de cambios en los precios del alimento para animales; mientras que el precio de los productos derivados del proceso

de producción de biocombustibles (e.g. grano destilado o torta de soya) se reduce, otros como el del maíz aumenta, lo que resulta en cambios en los precios y la oferta de carne. Por otro lado, el aumento de la demanda por biocombustibles puede llevar a una expansión de la tierra cultivable que resulte en una reducción en las áreas destinadas a la ganadería y silvicultura.

Hay un aparente consenso entre expertos sobre el hecho de que el impacto de los biocombustibles sobre el empleo agrícola es ambiguo. El efecto en la calidad o generación de empleo, en términos de dirección o magnitud, depende de varios factores, entre ellos el tipo de cultivo energético, la dotación de factores de la región, la capitalización del agricultor, condiciones edafoclimáticas, la disponibilidad de paquetes tecnológicos y la estructura de tenencia de la tierra. Los datos presentados en el presente trabajo para la caña de azúcar –la principal fuente de bioetanol de Brasil– muestran que las expectativas puestas en los biocombustibles podrían ser muy optimistas. La participación del empleo rural en el cultivo de la caña de azúcar ha decrecido, tiene niveles salariales bajos y los empleados temporales son los más desfavorecidos.

La distribución actual de la superficie destinada a cultivos energéticos en América Latina y el Caribe, según el tamaño de sus explotaciones, varía dependiendo de la dotación de tierra y en general de los procesos históricos a partir de los cuales se han conformado los patrones actuales de uso y tenencia de la tierra. En los países con abundante dotación de tierras (más de 12 has/trabajador agrícola ocupado) o en los que la tenencia de ésta está muy concentrada, predominan los cultivos en explotaciones de mayor tamaño, como en los casos de Argentina, Uruguay, Brasil, Chile y Nicaragua, entre otros. Esto implica menor número relativo de productores, menores costos de transacción y menores problemas logísticos.

Por el contrario, en los países con menor dotación de tierras o su tenencia es menos concentrada, claramente predominan las explotaciones de menor tamaño, como en los casos de Ecuador, Perú y Panamá. En ellos, la oportunidad de los cultivos para biocombustibles pasa por la asociatividad de los diversos agentes, teniendo presente que existirá un mayor número de productores por cultivo, mayores costos de transacción y una tendencia a menores niveles tecnológicos y menor capacitación. Lo anterior implica una menor eficiencia en comparación a estructuras de mercado más concentradas, lo cual da una ventaja competitiva a las explotaciones de mayor tamaño en detrimento de los pequeños productores.

Cualquier programa a gran escala para promover la producción y uso de biocombustibles supone importantes costos económicos y financieros que, en última instancia, debería redundar en una mejora en el bienestar de los ciudadanos, las empresas y la sociedad en su conjunto. Gran parte de las medidas que el sector público debe impulsar para incentivar la producción y uso de estos combustibles alternativos dependerá, en última instancia, de la voluntad de un amplio número de agentes sociales concretos (empresas y consumidores finales), para quienes debe resultar atractivo adelantar las inversiones y los gastos necesarios para conseguir los objetivos propuestos.

El estudio demuestra que en la Región –con la excepción del bioetanol obtenido a partir de caña de azúcar, esencialmente, en Brasil– los biocombustibles tradicionales o disponibles a corto plazo presentan una serie de desventajas relacionadas fundamentalmente con el costo de la materia prima. De modo general, el costo del biodiésel obtenido a partir de aceite refinado de colza o el bioetanol de cereales o remolacha, es más alto que el de la gasolina o el diésel. Es decir, con los precios actuales de producción de combustibles fósiles y los costos de producción de los biocombustibles, a corto plazo parece imprescindible un subsidio u otro tipo de ayuda fiscal para garantizar su competitividad en el mercado.

Los costos privados de producción de biocombustibles están altamente correlacionados con el precio del barril de petróleo, dada la presencia de combustibles derivados del petróleo en buena parte de la ruta de conversión (salvo en aquellas plantas donde dichos insumos ya han sido

reemplazados por los residuos de la producción agrícola). Y en efecto, el precio del barril de petróleo constituye “LA” variable crítica en la definición de umbrales de rentabilidad privada de los biocombustibles, hasta el punto de que resulta legítimo cuestionarse sobre si la producción de biocombustibles sería factible de no mantenerse los precios del petróleo de los años recientes.

Los problemas de competitividad económica frente a los derivados del petróleo son básicamente el resultado del bajo rendimiento energético de la mayor parte de los cultivos (100-200 GJ/hectárea/año, a largo plazo) y la alta calidad y, consecuentemente, el alto valor de la tierra agrícola necesaria.

Por otro lado, los cultivos destinados a la obtención de biocombustibles pueden producirse en tierras menos valiosas. En comparación con el azúcar, el almidón y los cultivos oleaginosos, la aplicación de biomasa lignocelulósica de madera o herbáceas, parece mucho más favorable y proporciona mejores perspectivas para los biocombustibles.

El balance o saldo energético es uno de los temas más determinantes cuando se enfrenta, desde una perspectiva analítica, la comparación de combustibles que debe subyacer en toda decisión sobre la sustitución de combustibles convencionales por biocombustibles. En este documento, el análisis del saldo energético se realiza a lo largo del ciclo de vida del biocombustible evitando así la omisión indebida de algunos efectos significativos y permitiendo dividir o desagregar el proceso de producción del biocombustible en fases y analizar su funcionamiento en términos de flujos energéticos, a partir de los cuales es posible construir indicadores o índices agregados.

El presente estudio demuestra que los análisis energéticos de sistemas de producción de biocombustibles muestran con muchísima frecuencia variaciones en los resultados debido a diferentes supuestos sobre variables críticas que tienen un impacto decisivo sobre el balance energético. A su vez, dichas fluctuaciones de resultados sobre eficiencia de producción, saldo energético y rendimiento del cultivo, para diferentes tipologías de biocombustibles, tanto de primera como de segunda generación, demuestran, por un lado, la complejidad y diversificación de los supuestos tecnológicos de base y, por el otro, la relativa falta de madurez de la “ciencia” relacionada con los biocombustibles.

En cuanto a los impactos ambientales, en el documento se desarrolla un análisis siguiendo un enfoque analítico de ciclo de vida (ACV) de los biocombustibles, en el que se identifican tres etapas: a) la producción agrícola, b) la transformación industrial en combustibles líquidos, y c) el consumo como combustible en el sector transporte.

Cuando el cultivo se asocia a la deforestación, se producen impactos ambientales negativos de pérdida de biodiversidad, afectación de ciclos hídricos y erosión. La gravedad de estos impactos depende de la magnitud de la expansión de los cultivos y de los bienes y servicios ambientales que proveen los ecosistemas afectados. En ciertos casos los daños pueden tener dimensión regional e incluso global.

En Brasil la expansión de las plantaciones de caña de azúcar en los últimos tiempos ha tenido lugar principalmente por sustitución de otros cultivos, en el centro-sur del país, sin afectar directa y significativamente las áreas ambientalmente más sensibles. La ocupación de nuevos territorios (“cerrados”) fue relativamente pequeña, salvo a través de la presión originada por las actividades agropecuarias desplazadas. Actualmente existe un área potencial de expansión del cultivo que no afectaría áreas naturales. En otras condiciones de desarrollo, un impulso a la producción de caña de azúcar en algunos países de la región podría implicar la pérdida de bosques y otros hábitat naturales.

Por lo que se refiere al recurso hídrico, los desequilibrios entre la disponibilidad, por un lado, y la demanda por otro (en contextos institucionales determinados) resultan en escasez y

competencia por el agua. Como consecuencia, resulta difícil evaluar los efectos que el impulso a la producción de biocombustibles puede tener sobre la disponibilidad de recursos hídricos en la fase agrícola.

Es relevante notar que el desarrollo comercial de tecnologías para la producción de biocombustibles de II generación a partir de lignocelulosa (biomasa procedente de pastos, árboles, residuos forestales, agrícolas y agroindustriales) disminuiría sensiblemente los problemas ambientales relativos al suelo, agua y aire, en comparación con los cultivos energéticos actuales.

Si bien en términos generales los biocombustibles presentan menores emisiones contaminantes que los combustibles fósiles, estos efectos positivos se ven rápidamente neutralizados por el crecimiento del parque automotor. Por ello, la mejora en la calidad del aire de las ciudades seguirá dependiendo principalmente de otras medidas como la mejora en la calidad de los combustibles fósiles, normas más estrictas para las emisiones de los vehículos y fiscalización de su cumplimiento, así como mejoras en las modalidades y calidad del transporte público.

En términos generales los biocombustibles emiten menos contaminantes que los combustibles convencionales, tanto en lo que se refiere a los contaminantes que afectan a la calidad del aire de las ciudades, como a los gases de efecto invernadero, es decir, contaminantes globales. Sin embargo, el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) no ha tenido un papel relevante en la promoción del uso de los biocombustibles. De hecho, son pocas las metodologías propuestas que han sido aprobadas.

Una primera reflexión sobre la relación biocombustibles-reducción de emisiones de GEI es que la inversión en biocombustibles, en las condiciones actuales, no es la manera más eficiente de reducir emisiones. La alta relación de costo-efectividad de los biocombustibles se debe a los altos costos de producción para reducciones relativamente modestas de GEI. Las reducciones de los costos unitarios en el futuro estarán vinculadas a la mejora en los procesos de producción de los biocombustibles actuales y al desarrollo de biocombustibles a partir de celulosa, que generan mayores reducciones de emisiones de GEI.

Con el incremento de la producción de biocombustibles, también crece la necesidad de estandarización de la calidad de los productos. La normalización es esencial para asegurar el comercio de los biocombustibles y de las tecnologías asociadas, tanto a nivel regional (Europa, América Latina) como mundial. Un mercado en crecimiento necesita reglas comunes; y en el caso de los biocombustibles, los estándares de calidad son necesarios por numerosas razones: a) para evitar daños en los motores; b) para unificar las características de los combustibles, con el objeto de que el contenido energético y otras propiedades sean iguales; c) para asegurar el funcionamiento del motor en el largo plazo, reduciendo el mantenimiento.

América Latina y el Caribe se presenta a nivel mundial como una región que tiene una clara vocación hacia exportaciones agrícolas. En el contexto de una creciente difusión internacional del uso de biomasa en el sector transportes, el continente latinoamericano se antepone como un potencial exportador de biocombustibles. Sin embargo son pocos los países de la Región que tienen en la actualidad potencial para las exportaciones de biocombustibles. Más precisamente, sólo Brasil y Argentina, que son en la actualidad los dos grandes exportadores de productos agrícolas, ofrecen condiciones favorables para la expansión de biocombustibles. El potencial de Argentina está concentrado en las exportaciones de aceites vegetales, mientras que Brasil hoy se presenta como el país que domina la cadena productiva más eficiente y más sostenible ambientalmente de producción de bioetanol.

Además, Brasil –por su gran extensión territorial– tiene una capacidad de expansión de la producción de bioetanol a partir de la caña que es considerable. Estaría en condiciones de

incrementar sus exportaciones como para cubrir una proporción del 5 al 10% del consumo mundial de gasolina sin comprometer el dinamismo de su agricultura.

Sin embargo, alcanzar esa meta requiere de un planeamiento más dirigido de esa expansión y un compromiso mayor del Estado, sea en la organización de la expansión, sea en el financiamiento y el apoyo al desarrollo tecnológico; todo esto tomando en debida consideración que la postura de los países desarrollados es mucho más defensiva con relación al mercado del bioetanol. Previendo que las barreras no serán sólo arancelarias, el gobierno brasileño está desarrollando un programa para la certificación de los biocombustibles. Sin embargo no hay todavía evidencia por parte de los países europeos que la certificación sea una garantía de supresión de las barreras arancelarias.

Pocas regiones del planeta conjugan de forma tan favorable como América Latina el potencial para la producción de bioetanol de caña, por sus disponibilidades de suelo y clima, o por su larga tradición cañera, con la necesidad de reducir las tasas de dependencia energética, introducir combustibles renovables y menos contaminantes y, al mismo tiempo, dinamizar el medio rural. En términos generales, no se puede afirmar que existan barreras relevantes al desarrollo del bioetanol en la región, a no ser por la debilidad de la base de información sobre las ventajas, desventajas y bases de sustentabilidad de la producción de dicho biocombustible.

Por eso, uno de los desafíos para el bioetanol es superar la escasez de información sobre sistemas bioenergéticos y la relevancia de los requisitos de productividad agroindustrial y de un saldo energético netamente positivo explican porqué siguen adelante —algunas veces sin la justificación exigible— algunas propuestas para ejecutar programas de bioetanol basados en cultivos de bajo rendimiento energético.

En consecuencia, es crucial elegir cultivos y tecnologías de conversión bajo criterios de sustentabilidad económica y ambiental y, en ese sentido, la utilización, por ejemplo, del maíz debe ser cuidadosamente considerada en América Latina y Caribe. En el contexto norteamericano, la insistencia en producir biocombustible por vías de baja productividad energética ha costado al Tesoro de los Estados Unidos 3.300 millones de dólares en subsidios directos en 2004 para viabilizar la producción

Es relevante, por tanto, impulsar programas informativos que apunten a la difusión de las ventajas y desventajas ligadas a la producción y uso eficiente del bioetanol, reconociendo la diversidad de visiones y objetivos de los agentes sociales y económicos, de modo que pueda alcanzarse el consenso esencial para lograr una progresiva transición de recursos energéticos primarios de origen fósil hacia recursos renovables.

Por su parte, el biodiésel puede constituirse en un efectivo sustituto del diésel derivado de petróleo, pero debe comprobar todavía fehacientemente su factibilidad real, sobre todo en términos de balance energético y productividad. La experiencia europea con biodiésel se basa en políticas agrícolas difícilmente replicables en la región, con altos niveles de subsidios y barreras aduaneras elevadas. Por tanto, el desafío para determinar espacios de mejor factibilidad para el biodiésel es tratar de identificar usos de mayor valor agregado. En ese sentido, la defensa del biodiésel se centra generalmente en sus potenciales ventajas ambientales en la reducción de emisiones, apuntando a la sustitución de diésel importado, o su capacidad para dinamizar el sector agroindustrial, entre otros objetivos.

El papel del sector público en el sector de los biocombustibles parece tener sentido en diferentes ámbitos: i) la eliminación de barreras normativas para la inversión en biocombustibles, ii) la sensibilización de los ciudadanos frente al uso adecuado de los mismos; iii) la incorporación de los costes externos que esta producción podría imponer sobre la sociedad en su conjunto; y finalmente iv) el desarrollo de análisis económicos complejos para evaluar la rentabilidad

financiera, económica y social de la producción de biocombustibles y analizar el eventual apoyo gubernamental.

Eso implica atender a consideraciones climáticas y decidir –de manera óptima– sobre la materia prima a emplear en cada caso, la estructura de transportes y comunicaciones, la capacidad de investigación aplicada y desarrollo tecnológico de cada país, los niveles educativos de la mano de obra contratada en la producción agrícola de las materias primas del bioetanol, la fortaleza del sistema crediticio, la solvencia de los cuadros de gestión (tanto en la fase agrícola como agroindustrial) y los mecanismos de internalización de algunas externalidades ambientales.

Resulta evidente que el desarrollo sostenible de los biocombustibles, tanto bioetanol como biodiésel, en América Latina y el Caribe deberá presuponer un importante y articulado esfuerzo analítico y multisectorial por parte de los Gobiernos de la región; dicho esfuerzo deberá apuntar a sentar bases sólidas para el diseño de planes nacionales para la promoción de la producción y uso sostenibles de los biocombustibles.

## Introducción

Los países de América Latina y el Caribe vienen registrando un crecimiento más dinámico en los últimos años, revitalizado por la recuperación de sus términos de intercambio y estimulado por la mayor demanda mundial de los recursos naturales disponibles en la región. Sin embargo, este nuevo ciclo de crecimiento ha coincidido también con una fuerte elevación de los precios del petróleo.

Este fenómeno, junto a problemas vinculados a la seguridad del abastecimiento, han puesto en evidencia los problemas que podría ocasionar la dependencia energética sobre las opciones de crecimiento y equidad social en el futuro. Sin embargo, el cambio de los precios relativos entre las fuentes energéticas y las nuevas tecnologías disponibles, han revalorizado las ventajas competitivas del patrimonio natural y han mejorado la factibilidad económica de introducir fuentes alternativas y renovables de energía.

Las circunstancias internacionales y las previsiones sobre el futuro comportamiento alcista de los precios del petróleo junto con las preocupaciones sobre el impacto del consumo energético sobre el cambio climático, han hecho tomar conciencia a las autoridades de gobierno sobre dos aspectos que son centrales para garantizar una política energética sostenible: renovabilidad de las fuentes y eficiencia energética. De lo que se trata es de reducir la intensidad energética, es decir de crecer más con menos energía pero generada por fuentes más renovables.

En este contexto, y dado que los combustibles para el transporte representan alrededor del 27% de la demanda mundial de petróleo, viene promoviéndose, a nivel mundial, un mayor consumo de biocombustibles. Estos son una fuente renovable pero que tiene como límite el impacto de los precios relativos sobre la seguridad alimentaria del planeta.

El crecimiento de la demanda de combustible para el transporte tiene estrecha relación con tres fenómenos asociados a la globalización: la gran movilidad de las personas y su cada vez mayor interés por interactuar con otras culturas; y el dinámico crecimiento del comercio internacional de mercancías.

El problema radica en que sin energía para el transporte no hay globalización. Si en 1970 el consumo diario de petróleo para estos efectos era de alrededor de unos 18 millones de barriles diarios, en la actualidad está ya superando los 40 millones y se espera que llegue a casi 60 millones de barriles diarios en el 2030. De allí la importancia que los líderes del denominado Grupo de los Ocho (G8) vienen otorgando al cambio tecnológico y a la necesidad de promover la diversificación de las fuentes energéticas para el transporte.

Los biocombustibles son una alternativa que ya se está combinando, en el mundo desarrollado, con otras opciones como son los cambios tecnológicos relacionados con el menor

consumo de los vehículos por kilómetro recorrido; calidad menos contaminante de los combustibles; y filtros más eficaces para controlar las emisiones.

En el caso de los países de la región las principales razones de interés público que se encuentran en los dispositivos legales correspondientes tienen que ver con el impacto que viene teniendo el aumento de los precios del petróleo.

Algunos países promueven los biocombustibles como respuesta a los problemas de la dependencia externa de su abastecimiento energético y otros ven en ellos una nueva oportunidad para la especialización productiva. En éste último caso, la disponibilidad de tierras, de recursos hídricos y las ventajas comparativas en clima y biodiversidad son ventajas naturales muy importantes para las materias primas que tienen un mayor rendimiento energético.

Se alude también, al impacto positivo que la introducción de los biocombustibles puede tener en la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) pero la verdad es que un exagerado optimismo está conspirando contra la comprensión de la verdadera naturaleza de los problemas medio ambientales ya que no sólo se trata de sustituir combustibles sino de fomentar una demanda sostenible.

Dado el fuerte crecimiento que viene experimentando la demanda de combustibles para el transporte, la contribución de los biocombustibles será bienvenida pero está muy lejos de constituir una alternativa contundente a los problemas que generan los actuales patrones de consumo de energía.

En muchos países de la región el problema de las emisiones contaminantes del transporte podrá enfrentarse adecuadamente mejorando la calidad de los combustibles, no sólo mezclándolos con bioetanol o biodiesel sino reduciendo, por ejemplo, el contenido de azufre del diesel convencional, si es que no se toman medidas sobre el parque automotor disponible. Ello tendría que estar asociado además, a la mejora progresiva de la calidad del parque automotor, al reordenamiento del transporte urbano, a una evaluación de las externalidades del transporte y a claras señales de precios que las incluyan, sobre todo en el caso del transporte individual.

En este documento se privilegia por tanto, la opción de los biocombustibles como una nueva oportunidad de especialización productiva dadas las ventajas comparativas actuales y potenciales que tienen algunos países de la región. Se pone énfasis en los biocombustibles de primera generación, basados en cultivos como la caña de azúcar y oleaginosas como la palma aceitera pero se destaca la importancia de contar con una visión de más largo plazo que permita prepararse para una segunda generación que se sustentará en la lignocelulosa y que por tanto tiene menos límites a su renovabilidad, considerando la seguridad alimentaria.

Lo que se pretende es presentar una visión panorámica de las oportunidades y restricciones que se presentan para los países de la región sin emitir juicios de valor sobre la orientación que debería tener las políticas públicas. Se asume que la problemática del desarrollo del mercado de biocombustibles es muy diferente en cada uno de los países de la región y que por tanto las experiencias son un referente pero difícilmente replicables, dado que están en juego la disponibilidad de tierras y los recursos hídricos que podrían tener usos más rentables socialmente hablando, a pesar que la rentabilidad económica pueda ser una tentación difícil de desatender. Resulta evidente que, si se contraponen ambos elementos para decidir sobre la factibilidad del desarrollo de los biocombustibles, se requieren de dosis de mercado y de regulación. Tanto mercado como sea posible pero también tanta regulación como sea necesaria, considerando que los asuntos de la seguridad alimentaria requieren de un ordenamiento de las opciones para el uso de los suelos y el agua.

Los mecanismos de mercado son insuficientes. Hay tareas ineludibles para las autoridades regulatorias que tienen relación con las opciones técnicas que orientarán la demanda

de combustibles (combustibles puros y mezclas) y la compatibilidad existente entre las metas y plazos para las mezclas y el potencial de producción de biocombustibles. Estas decisiones tienen que estar respaldadas por indicadores cuantitativos que permitan apreciar la relación entre la demanda de biocombustibles y los impactos en los precios relativos de los usos no energéticos de las materias primas involucradas, los efectos en los usos de los suelos y el agua así como las externalidades previsibles.

Corresponde, por tanto, al Estado definir la trayectoria que debería tener el proceso de introducción de los biocombustibles en el mercado interno; la prioridad o no del abastecimiento del mercado local vs. las oportunidades del comercio internacional; el carácter competitivo de la oferta de biocombustibles; las condiciones técnicas en que deben realizarse las mezclas; el tipo de especificaciones que deben tener el almacenaje; las relaciones logísticas entre mayoristas y minoristas; y la certificación de la calidad de las mezclas. A esto se sumarían dos tareas adicionales como son el establecimiento de indicadores de desempeño y la fijación de mecanismos de identificación de externalidades que se vean reflejadas en los precios relativos de los combustibles.

La experiencia internacional, y particularmente de los países de la región, viene demostrando que la regulación juega un papel central en la conformación del mercado de biocombustibles. Dicho mercado surge por una decisión de política energética que establece una mezcla obligatoria, con los combustibles convencionales, que debe alcanzarse en un determinado plazo.

Esta decisión, por cierto, no es arbitraria, ya que implica un minucioso análisis entre el potencial de producción y la demanda de combustibles para el transporte. Para su aplicación se establecen metas progresivas y se fijan las pautas que deben seguirse en el proceso de incorporación y los vehículos tienen que adaptarse a las normas técnicas.

Lo que debe quedar claro es que objetivo central se persigue, siendo necesario que resulte muy claro que las políticas sectoriales tienen que conducir hacia él. Definido el objetivo central deberían estimarse los costos fiscales que podría generar su consecución.

Ello es importante por cuanto las materias primas de mayor rendimiento energético y de menor costo de procesamiento no están necesariamente disponibles en todos los países de la región, sea por la disponibilidad de tierras o por que no existen ventajas naturales para su cultivo. Puede existir la posibilidad, por ejemplo, que por razones sociales pueda desarrollarse una producción con fines de consumo local o regional que requiera de algún tipo de subsidio fiscal.

El desarrollo del mercado de biocombustibles requiere de una visión integral que haga sostenible la articulación de las políticas sectoriales involucradas, tanto en su gestación como en su desarrollo. Es importante por ello definir indicadores de desempeño por los cuales se verifiquen los aportes de cada sector al desarrollo del mercado pero también los costos en que eventualmente pudiera incurrirse.

No debe olvidarse que la factibilidad económica de los biocombustibles está muy ligada a los precios del petróleo aunque todo parece indicar que una baja hasta los 40 dólares, que es el precio mínimo del barril que, en líneas generales, se establece para la competitividad del bioetanol de caña de azúcar parece ser bastante improbable que se produzca, no debería dejarse de tener en cuenta que la competitividad del biodiesel requiere de precios mucho mayores.

Este documento constituye una primera entrega dentro del programa de trabajo que se ha fijado el Proyecto CEPAL/GTZ sobre “Modernización del Estado y gestión sostenible de los recursos naturales” y busca presentar una visión panorámica de las implicancias energéticas, agrícolas y ambientales, y en menor medida económicas y sociales, sobre los desafíos de la gestión pública en el desarrollo del mercado de biocombustibles en la región de América Latina y el Caribe.

En el trabajo, se privilegia la opción de los biocombustibles como una nueva oportunidad de especialización productiva dadas las ventajas comparativas actuales y potenciales que tienen algunos países de la región. Se pone énfasis en los biocombustibles de primera generación, basados en cultivos como la caña de azúcar y oleaginosas como la palma aceitera pero se destaca la importancia de contar con una visión de más largo plazo que permita prepararse para una segunda generación que se sustentará en la lignocelulosa y que por tanto tiene menos límites a su renovabilidad, considerando la seguridad alimentaria.

Lo que se pretende es presentar una visión panorámica de las oportunidades y restricciones que se presentan para los países de la región sin emitir juicios de valor sobre la orientación que debería tener las políticas públicas. Se asume que la problemática del desarrollo del mercado de biocombustibles es muy diferente en cada uno de los países de la región y que por tanto las experiencias son un referente pero difícilmente replicables, dado que están en juego la disponibilidad de tierras y los recursos hídricos que podrían tener usos más rentables socialmente hablando, a pesar que la rentabilidad económica pueda ser una tentación difícil de desatender.

En este documento se intenta proveer respuestas a algunas de esas preguntas.

En el Capítulo 1 se presenta una introducción general a los biocombustibles, analizando su papel y desempeño para actividades de transporte y proponiendo escenarios sobre su mercado potencial en la Región

El Capítulo 2 analiza el potencial de los países de América Latina y el Caribe para producir biocombustibles líquidos a partir de biomasa. El análisis considera varios escenarios de mezclas entre combustibles fósiles y biocombustibles. También se presenta información sobre el potencial de la silvicultura y de los desechos agrícolas y forestales.

El Capítulo 3 muestra que aumentar la producción de biocombustibles podría tener efectos adversos de no ser acompañado por un paquete adecuado de políticas. En particular, el aumento en la demanda por biocombustibles podría resultar en una mayor concentración de la producción y la tenencia de la tierra

El objetivo del Capítulo 4 es analizar –de una manera transversal e integral– las cuestiones sobre costos (privados) unitarios de producción de biocombustibles y de los combustibles derivados del petróleo, a partir de la información disponible.

En el Capítulo 5 se profundiza la discusión sobre el saldo energético, como uno de los temas determinantes cuando uno se enfrenta, desde una perspectiva analítica, a la comparación que debe subyacer en toda decisión sobre la sustitución de combustibles convencionales por otro (i.e. biocombustibles). En este sentido, el Análisis de Ciclo de Vida (ACV) se propone como un instrumento importante.

El Capítulo 6 da cuenta de los principales impactos ambientales que se pueden identificar en las etapas de producción y uso de biocombustibles. El análisis se desarrolla siguiendo un enfoque analítico de ciclo de vida (ACV), en el que se identifican tres etapas: a) la producción agrícola, b) la transformación industrial en combustibles líquidos, y c) el consumo como combustible en el sector transporte.

En el Capítulo 7, se subraya la importancia de los estándares técnicos en un mercado –como el de los biocombustibles– en rápido crecimiento, ya que la uniformización es esencial

para asegurar el comercio de los biocombustibles y de las tecnologías asociadas, tanto a nivel regional (ejemplo: Europa, América Latina, etc.) como mundial. También se profundiza la importancia de los esquemas tributarios y el papel “promotor” que han jugado en muchos casos prácticos a nivel mundial.

El Capítulo 8 profundiza la discusión sobre el rol primario que el continente latinoamericano –en el contexto de una creciente difusión internacional del uso de biomasa en el sector transportes– podría jugar como gran exportador mundial de biocombustibles, al mismo tiempo que se analizan los obstáculos que se vislumbran en el camino para alcanzar dicho rol.

Finalmente, en el Capítulo 9 se proporciona un panorama de la situación de entorno relativa al desarrollo del bioetanol y el biodiesel en los diferentes países de América Latina y el Caribe, identificando los desafíos que se existen para un desarrollo sostenibles de los dos tipos insumos. Se concluye subrayando la importancia del papel del sector público y afirmando que los países de la Región deberán presuponer un importante y articulado esfuerzo analítico y multisectorial por parte de sus Gobiernos, si quieren aprovechar en forma adecuada las ventajas de producir y utilizar eficazmente sus biocombustibles.

# Capítulo 1: ¿Cuáles y cuántos biocombustibles?

## 1.1 ¿Cuáles biocombustibles?

En este documento el término biocombustible es utilizado para referirse a un combustible obtenido a partir de materia orgánica (biomasa). Más específicamente, se analizará el papel de los biocombustibles líquidos (también los hay en estado gaseoso o sólido) para actividades de transporte.

El trabajo se centra en el bioetanol y el biodiesel, por ser los más importantes en la actualidad y previsiblemente en un futuro cercano. Desde un punto de vista tecnológico las posibilidades son más amplias, como se puede observar en la Tabla 1.1, a partir del listado de la Directiva 2003/30/CE de la Unión Europea.

**TABLA 1.1**  
**BIOCOMBUSTIBLES CONVENCIONALES**

Nombre del biocombustible	Nombre en la Directiva UE	Proceso de producción
Aceite vegetal no modificado (SVO)	Aceite vegetal puro	Prensado en frío, extracción y refinado
Biodiesel a partir de semillas	Biodiesel	Transesterificación del SVO
Biodiesel a partir de residuos (aceites o grasas)	Biodiesel	Refinado y transesterificación
Bioetanol de cultivos con azúcares	Bioetanol	Fermentación y destilado
Bioetanol de cultivos con almidón	Bioetanol	Hidrólisis, fermentación y destilado
ETBE (etil ter-butil éter)	Bio-ETBE	Fermentación y síntesis
SNG (GN sintético) de biogás	Biogás	Digestión, eliminación de CO <sub>2</sub> /H <sub>2</sub> O
Hidrógeno a partir de biogás	Biohidrógeno	Digestión, WGS y eliminación del CO <sub>2</sub>

Fuente: Directiva 2003/30/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 8 de mayo de 2003, relativa al fomento del uso de biocarburantes u otros combustibles renovables en el transporte [Diario Oficial L 123 de 17.5.2003].

Los biocombustibles líquidos generalmente se utilizan en el transporte, mezclados con combustibles fósiles (ver Tabla 1.2). Las mezclas de etanol con gasolina se identifican como E5, E10, E100, dependiendo del contenido de etanol; similarmente, las mezclas de biodiesel con diesel se identifican como B2, B5, B100, dependiendo del contenido de biodiesel. De hecho,

salvo en Brasil (ver Tabla 1.2), es difícil encontrar el etanol en estado puro en usos como combustible. Además, el etanol se emplea crecientemente como aditivo para oxigenar la gasolina estándar, en sustitución del metil ter-butil éter (MTBE), responsable de contaminación de suelos y aguas subterráneas (USDA, 2006).

**TABLA 1.2**  
**MEZCLAS UTILIZADAS EN DISTINTOS PAÍSES**

<b>País</b>	<b>Tipo de mezcla empleada/permitida</b>	<b>Materia prima</b>
Brasil	E22 E25 E26 E100 Cualquier mezcla para FFV <sup>1</sup> B2 B5	Caña de azúcar     Soja, aceite de ricino, Palma de aceite
Estados Unidos  -Hawaii/Minnessota/Montana  -Minnessota (2013)	E3 (permitidas) E5 (permitidas) Gasolina reformulada (5,7%) E10 (permitidas) E85 B20 (de aceite de soja) B2	Maíz (95), sorgo, trigo    Soja
Canadá -Columbia  -Ontario (en 2007)	E10 E85 E5	Trigo, maíz y paja
Europa  -Francia  -España -Suecia  -Alemania	E3 (permitidas) E5 (permitidas) ETBE (3,7%) B5 ETBE (hasta 4%) E5 E85 B100 B5	Remolacha azucarera, Trigo Soja  Residuos forestales, trigo  Centeno, trigo, soja
Sudáfrica (en 2006)	B1 B3	Caña de azúcar, jatropha
Japón - Kioto	E3 (permitidas) B20	
China	E10 (en 5 ciudades, experimentalmente, y 4 provincias)	Maíz, mandioca, caña de azúcar, arroz dulce, patata, jatropha y otros
Australia	E3 (permitidas) E5 (permitidas) E10 (permitidas) B20 y menores	Caña de azúcar, trigo  Soja

<sup>1</sup> FFV: flex-fuel vehicle (vehículo que admite cualquier mezcla de combustible).

**TABLA 1.2 (CONCLUSIÓN)**

País	Tipo de mezcla empleada/permitida	Materia prima
Tailandia -año 2011	E10 B2	Caña de azúcar, tapioca, mandioca  Aceites de: palma, cacahuete, soja, coco. Jatropha.
India	E5 E10 (en 9 de 28 estados y en 4 de 7 territorios federales)	Caña de azúcar, jatropha
Argentina (año 2010)	E5 B5	Aceite de soja
Colombia	E10 B5	Caña de azúcar Aceite de palma
Perú	E10	Caña de azúcar
Paraguay	E7	
República Dominicana (año 2015)	E15/ B2	

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Dufey (2006), Worldwatch Institute (2005), Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (2005) y Novem (2003a).

**TABLA 1.3**  
**BIOCOMBUSTIBLES COMO PORCENTAJE DEL CONSUMO DE GASOLINA Y DIESEL**  
*(Miles de barriles por día)*

	2004		2002		Bioetanol como % del total de gasolina y bioetanol	% de biocombustibles en combustible utilizado para transporte (c)
	Producción		Consumo			
	Biocombustibles		Motor	Diesel		
	Bioetanol (a)	Biodiesel	Gasolina	Gasóleo		
Brasil	260,2		279,1	666,8	48,24	21,57
Cuba	1,1		8,1	26,7	12,01	3,06
Nicaragua	0,5		4,1	7,2	10,95	4,24
Guatemala	1,1		18,9	20,2	5,51	2,74
Argentina	2,7		62,1	176,4	4,17	1,12
Ecuador	0,8		40,6	45,7	1,93	0,92
México	0,6		550,6	282,0	0,11	0,07
Islas Mauricio	0,4		1,9	7,1	17,39	4,26
India	30,1		176,9	791,6	14,54	3,01
Swazilandia	0,2		1,6	1,4	11,11	6,25
China	62,9		876,3	1568,0	6,70	2,51
Pakistán	1,7		25,5	147,9	6,25	0,97
Zimbabwe	0,4		7,1	11,4	5,35	2,12
Francia	14,3	6,8	299,4	960,6	4,56	1,65
Sudáfrica	7,2		174,7	126,8	3,96	2,33

TABLA 1.3 (CONCLUSIÓN)

	2004		2002		Bioetanol como % del total de gasolina y bioetanol	% de biocombustibles en combustible utilizado para transporte (c)
	Producción		Consumo			
	Biocombustibles		Motor	Diesel		
	Bioetanol (a)	Biodiesel	Gasolina	Gasóleo		
Ucrania	4,3		107,7	100,1	3,84	2,03
Tailandia	4,8		126,2	277,2	3,66	1,18
Polonia	3,5		97,8	151,5	3,45	1,38
España	5,2	0,3	190,0	587,1	2,66	0,70
EE.UU.	230,6	1,6	8847,8	3775,9	2,54	1,81
Kenia	0,2		9,0	12,9	2,19	0,91
Filipinas	1,4		64,1	118,6	2,14	0,7
Rusia	12,9		600,1	492,1	2,10	1,17
Arabia Saudita	5,2		256,2	402,1	1,99	0,78
Suecia	1,7		94,6	95,9	1,76	0,88
Indonesia	2,9		255,2	445,2	1,12	0,41
Corea del sur	1,4		175,6	402,8	0,79	0,24
Alemania	4,6	20,3	629,6	1179,1	0,73	1,36
Australia	2,2		324,1	243,1	0,67	0,39
Italia	2,6	6,3	385,1	599,7	0,67	0,90
Canadá	4,0		680,2	484,4	0,58	0,34
Japón	2,0		1027,9	1212,5	0,19	0,09
República Checa		1,2	44,6	60,1	0,00	1,13
Dinamarca		1,4	45,2	85,8	0,00	1,06
Eslovaquia		0,3	17,0	21,4	0,00	0,78
Austria		1,1	49,6	141,5	0,00	0,57
Lituania		0,1	16,9	36,6	0,00	0,19
Reino Unido		0,2	488,9	509,7	0,00	0,02

Fuente: Worldwatch Institute (2006) sobre la base de U.S. DOE (datos sobre petróleo) y F.O. Licht (2005)

Notas sobre la tabla: La producción de bioetanol incluye combustible, uso industrial y para bebidas. La utilización del combustible para el transporte incluye el uso de gasolina y diesel más la producción de bioetanol y biodiesel.

El bioetanol se produce a partir de *azúcares o almidones* contenidos en diferentes materias primas vegetales, tales como caña de azúcar, maíz, remolacha azucarena, trigo, sorgo y yuca. El biodiesel se produce a partir de oleaginosas, tales como la colza (raps), la soya, la palma africana y la jatrofa (ver Tabla 1.4 para observar el rango de posibilidades). El proceso para transformar esas materias primas vegetales en combustibles líquidos se denomina **ruta de conversión**. El lector interesado en los aspectos técnicos de las diferentes rutas de conversi[on puede consultar Hamelinck y Faaij (2006).

**TABLA 1.4**  
**VARIEDAD DE MATERIAS PRIMAS**

<b>Para BIOETANOL</b>	<b>Para BIODIESEL</b>
Algodón	Aceite vegetal residual
Bagazo	Aceites usados y grasas residuales
Caña de azúcar	Algas
Cáñamo	Algodón
Cebada	Cacahuete / Maní
Desechos celulósicos	Cáñamo
Frutas	Cártamo
Girasol	Coco
Grano del sorgo	Colza
Kenaf	Copra
Leche entera	Girasol
Maíz	Jatrofa
Melaza	Lino
Mijo perenne	Maíz
Miscanthus	Manteca de cerdo
Otra biomasa	Mostaza
Otros granos	Palma
Paja	Rábano
Papel	Ramtil
Patata	Ricino
Patata dulce (batata, boniato, camote)	Salvado de arroz
Remolacha	Sebo
Sorgo	Soja
Stover (todo excepto la espiga del maíz)	Subproductos de la producción de ácidos grasos Omega-3 (de aceite de pescado)
Suero	Tung
Trigo	
Yuca	

Fuente: Elaboración propia.

Nota: Estos listados no pretenden ser una revisión exhaustiva (nuevas experiencias surgen cada día, lo que conduciría sistemáticamente a un listado obsoleto); su objetivo es ofrecer una idea de la amplitud de la gama de materias primas.

Los biocombustibles obtenidos a partir de oleaginosas y de la transformación de azúcares y almidones se suelen denominar biocombustibles tradicionales o de primera generación. En general, se trata de biocombustibles cuyas tecnologías están disponibles comercialmente, para diferentes escalas de producción.

También se puede obtener bioetanol de los tallos, la paja, la parte menos aprovechable de la planta de maíz y productos de desecho de la actividad agrícola que actualmente se emplean para hacer piensos, fertilizantes o como biocombustible sólido (e.g. bagazo) en plantas de energía eléctrica. En este caso la materia prima es la celulosa contenida en la materia vegetal.

De manera creciente se habla de biocombustibles avanzados o de segunda generación, para referirse a aquellos que todavía no están disponibles a escala comercial (ver Tabla 1.5). Los más importantes son aquellos que se pueden obtener a partir del procesamiento de especies vegetales en las que la celulosa aparece combinada con lignina (del latín *lignus*, que significa madera). La lignina es una sustancia constituyente de la madera que actúa como aglomerante de las fibras de celulosa. Por lo tanto, puede encontrarse en especies forestales, en arbustos y cultivos leñosos menores (i.e. que contienen lignina) que crecen en praderas y sotobosques. Estos biocombustibles se les denominan como lignocelulósicos.

Aunque no están disponibles en escalas comerciales en la actualidad, se considera que los biocombustibles de segunda generación definen el futuro tecnológico hacia el que se avanza en la producción de biocombustibles.

**TABLA 1.5**  
**BIOCOMBUSTIBLES AVANZADOS**

Nombre del biocombustible	Nombre en la Directiva UE	Proceso de producción
Diesel Fischer-Tropsch	Biocombustible sintético	Gasificación, WGS, síntesis e hidroconversión o conversión catalítica
Metanol	Biometanol	Gasificación, WGS, síntesis
MTBE (metil ter-butil éter)	Bio-MTBE	Síntesis de metanol e isobutileno
DME (di-metil éter)	Bio-DME	Gasificación, WGS, síntesis
Alcoholes a partir de singas	Biocombustible sintético	Gasificación, síntesis (“Ecalene”)
SNG de singas	Biogás, biocombustible sintético	Gasificación, WGS, síntesis, eliminación de CO <sub>2</sub> /H <sub>2</sub> O
Hidrógeno de singas	Biohidrógeno	Gasificación, WGS y eliminación de CO <sub>2</sub>
Bioetanol de celulosas	Bioetanol	Hidrólisis avanzada, fermentación y destilado
Diesel HTU (hydrothermal upgrading)	Biocombustible sintético	HTU, HDO, refinado
Diesel a partir de pirólisis	Biocombustible sintético	Pirólisis, hydro-de-oxygenation (HDO), refinado
SNG a partir de materias húmedos	Biogás, biocombustible sintético	Gasificación super / subcrítica
Hidrógeno a partir de materiales húmedos	Biohidrógeno	Gasificación supercrítica
Hidrógeno a partir de materiales húmedos	Biohidrógeno	Fermentación opaca y fotofermentación

Fuente: Directiva 2003/30/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 8 de mayo de 2003, relativa al fomento del uso de biocarburantes u otros combustibles renovables en el transporte [Diario Oficial L 123 de 17.5.2003].

Hamelinck y Faaij (2006) analizan qué biocombustibles tienen mayor potencial a corto y largo plazo, así como las mejoras que serían necesarias para mejorar el desempeño de los mismos desde diferentes puntos de vista. Para ello se analiza sistemáticamente la producción de cuatro biocombustibles (metanol, bioetanol lignocelulósico, hidrógeno y biodiesel sintético), así como y las tecnologías clave para su producción (e.g. gasificación, procesamiento de gas, síntesis, hidrólisis y fermentación). Además, se evalúan diferentes opciones de distribución (incluyendo la distribución minorista en estaciones de servicio y el uso final), en función del costo por kilómetro recorrido.

Con la excepción del bioetanol obtenido de la caña de azúcar (y no en cualquier lugar del planeta, como se analizará más adelante), los biocombustibles tradicionales presentan una serie de desventajas fundamentalmente relacionadas con sus respectivas materias primas. Por ejemplo, el coste del biodiesel obtenido a partir de aceite de colza o el bioetanol producido a partir de cereales o remolacha, es más alto que el de la gasolina o el diesel que pretenden sustituir.

## 1.2 Prospectiva mundial sobre el uso de biocombustibles

El mercado potencial de los biocombustibles depende por una parte de la magnitud de la demanda de los combustibles fósiles que serán requeridos en el transporte (gasolina, GNC, GLP y diesel) y de las posibilidades tecnológicas de los motores para admitir las mezclas con tales combustibles.

En 2005 el bioetanol representaba alrededor del 2% del mercado mundial de gasolinas y el biodiesel sólo el 0,2 % del mercado del diesel.<sup>2</sup> Sin embargo estos mercados, especialmente el del bioetanol, se encuentran en rápida expansión. De acuerdo a información de la Agencia Internacional de Energía,<sup>3</sup> se espera que la demanda de combustibles para el transporte se incremente fuertemente en las próximas décadas, especialmente en las regiones en desarrollo; para 2030, el consumo de ese sector será un 55% más alto que en 2004, en el Escenario de Referencia y un 38% mayor de acuerdo con el Escenario Alternativo (de Política).

A su vez la expansión prevista para la porción mercado de los biocombustibles en el transporte automotor se expandiría desde el 1% actual hasta un 4% en 2030, de acuerdo con el prime escenario, y hasta un 7% en el mismo horizonte, en el Escenario de Política.

De acuerdo con este análisis prospectivo, los ritmos de expansión anual promedio serían de 7% y 9% respectivamente en los escenarios de Referencia y Alternativo respectivamente. El mayor incremento en el consumo de biocombustibles se prevé, de acuerdo con ese análisis, se daría en Estados Unidos, el mayor mercado actual para tales combustibles.

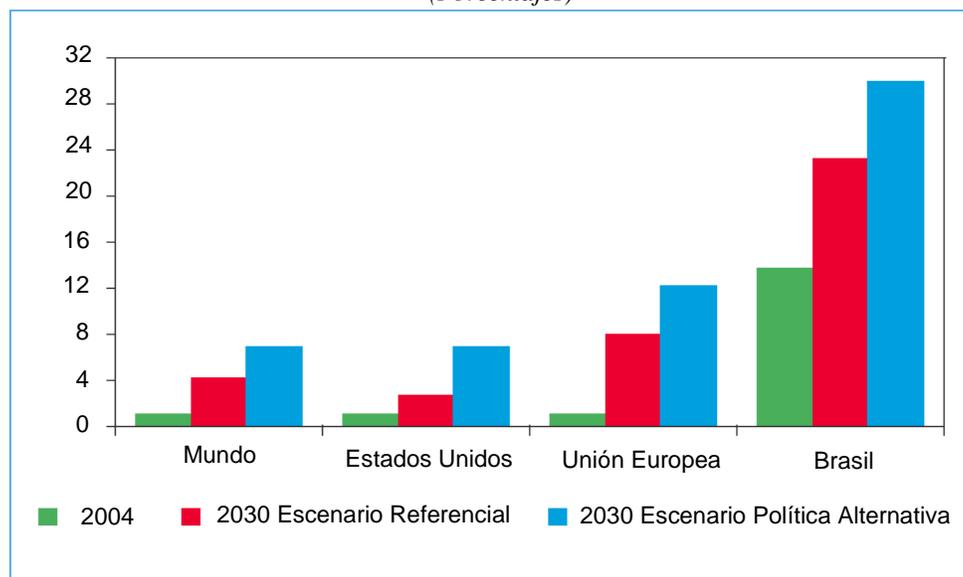
Europa constituye el segundo mercado en importancia relativa, superando al Brasil a partir del 2010. Aunque la porción de mercado de los biocombustibles permanece alta en este país, se espera que la tasa de penetración en la Unión Europea se mayor en ambos escenarios (Gráfico 1.1).

---

<sup>2</sup> G. Simbolotti, "Focus sui bio-carburanti" IEA-OCDE, Paris 2006.

<sup>3</sup> IEA, World Energy Outlook 2006.

**GRÁFICO 1.1**  
**PARTICIPACIÓN DE LOS BIOCOMBUSTIBLE EN TRANSPORTE CARRETERO**  
*(Porcentajes)*



Fuente: IEA, World Energy Outlook 2006.

Como puede apreciarse en la Tabla 1.6, entre las regiones de los países en desarrollo, es en Asia (China, India e Indonesia) donde se espera una más rápida expansión, especialmente en el Escenario de Política. En dicho escenario, su consumo superaría en conjunto al del Brasil.

**TABLA 1.6**  
**CONSUMO MUNDIAL DE BIOCOMBUSTIBLES EN AMBOS ESCENARIOS**

	2004	2010		2015		2030	
		ER	EPA	ER	EPA	ER	EPA
OECD	8,9	30,5	34,7	39,0	51,6	51,8	84,2
Norteamérica	7,0	15,4	17,4	20,5	28,8	24,2	45,7
Estados Unidos	6,8	14,9	16,4	19,8	27,5	22,8	42,9
Canadá	0,1	0,6	1,0	0,7	1,3	1,3	2,8
Europa	2,0	14,8	16,4	18,0	21,5	26,6	35,6
Pacífico	0,0	0,3	0,8	0,4	1,4	1,0	2,9
Economías de Transición	0,0	0,1	0,1	0,1	0,2	0,3	0,5
Rusia	0,0	0,1	0,1	0,1	0,2	0,3	0,5
Países en Desarrollo	6,5	10,9	14,0	15,3	21,1	40,4	62,0
Asia en desarrollo	0,0	1,9	4,6	3,7	8,5	16,1	32,8
China	0,0	0,7	1,2	1,5	2,7	7,9	13,0
India	0,0	0,1	0,1	0,2	0,3	2,4	4,5
Indonesia	0,0	0,2	0,3	0,4	0,6	1,5	2,3
Medio Oriente	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,5	0,6
África	0,0	0,6	0,7	1,1	1,2	3,4	3,5
África Norte	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,6	0,5
América Latina	6,4	8,4	8,6	10,4	11,2	20,3	25,1
Brasil	6,4	8,3	8,6	10,4	11,0	20,3	23,0
Mundo	15,5	41,5	48,8	54,4	73,0	92,4	146,7
Unión Europea	2,0	14,8	16,4	18,0	21,5	26,6	35,6

Fuente: IEA, World Energy Outlook 2006.

Nota: ER=Escenario Referencial EPA= Escenario Política Alternativa.

Se espera que el bioetanol represente la mayor parte del incremento en el uso de los biocombustibles en el plano mundial, especialmente debido a que su costo de producción tiende a disminuir más que el correspondiente al biodiesel.

Aunque se prevé que el biodiesel incrementa su participación dentro de los biocombustibles, debido principalmente al crecimiento de su producción en EEUU y el Brasil, en la Unión Europea se prevé que esa participación descenderá del actual 50% a alrededor de un tercio.<sup>4</sup>

### 1.3 El mercado potencial de los biocombustibles en AL y C

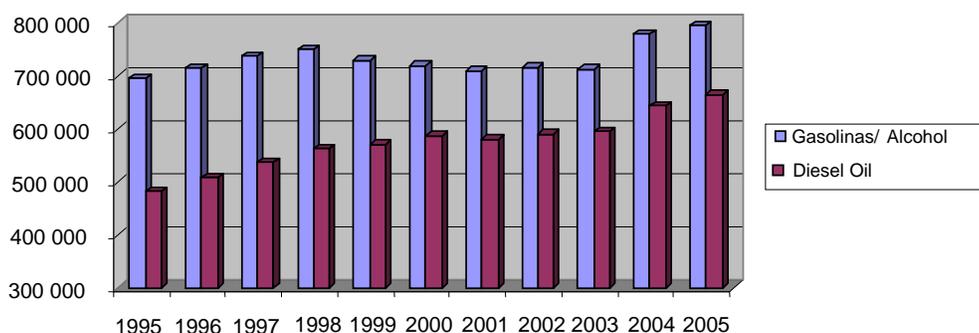
La producción de bioetanol tiene una larga tradición de producción y uso como combustible para el transporte automotor en Brasil, como consecuencia del lanzamiento del Programa ProAlcool a mediados de la década del 70 como respuesta al primer shock petrolero. Hacia mediados de los 80 alrededor del 90% de los nuevos automóviles consumían alcohol hidratado. Este programa significó una combinación de medidas de subsidio, incentivos impositivos y disposiciones regulatorias. La rápida disminución de los precios del petróleo redujo el atractivo de la producción de ese combustible y se originó una pérdida de confianza en la seguridad de su abastecimiento.

Pero a partir de los años 2000 se ha retomado el interés por el bioetanol, se comenzaron a producir los vehículos flex-fuel y actualmente gasolina sin bioetanol no es ya vendida en el mercado brasilero. La experiencia del Brasil resulta paradigmática dentro de la región de América Latina y el Caribe.

Las perspectivas respecto a los biocombustibles en los países de la Región son muy diferentes, tanto por lo que se refiere al tamaño del mercado potencial como respecto de la dotación de recursos naturales.

La evolución de los consumos de combustibles para el transporte en América Latina y Caribe ha mostrado en la última década una participación creciente del diesel, aunque en el conjunto de la región sigue siendo predominante el consumo de Gasolinas/Alcohol (Gráfico 1.2).

**GRÁFICO 1.2**  
**EVOLUCIÓN RECIENTE DE LOS CONSUMOS DE GASOLINA Y DIESEL EN AL y C**

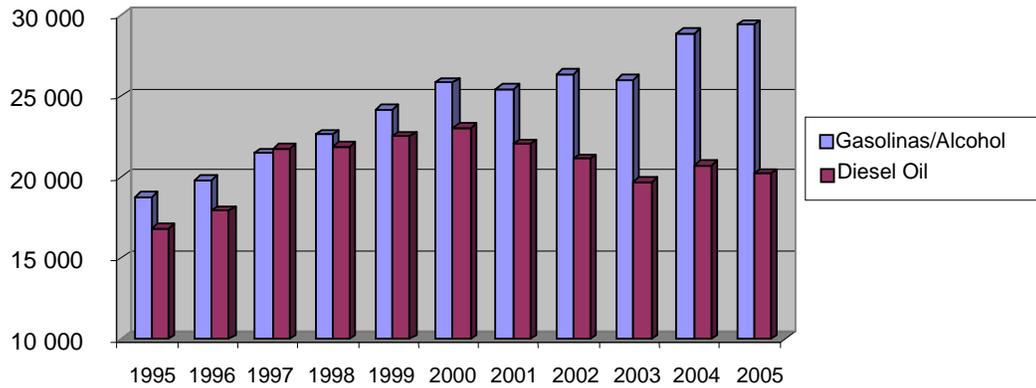


Fuente: elaborado sobre la base de información del SIEE de OLADE.

<sup>4</sup> IEA, World Energy Outlook 2006.

Sin embargo, dicha evolución muestra fuertes discrepancias entre las diferentes subregiones de América Latina y el Caribe. En efecto, en el conjunto de los países del Caribe, se observa un predominio creciente del consumo de Gasolina/Alcohol a partir de fines de la década del 90, dando así lugar a un mercado potencial creciente para el bioetanol (Gráfico 1.3).

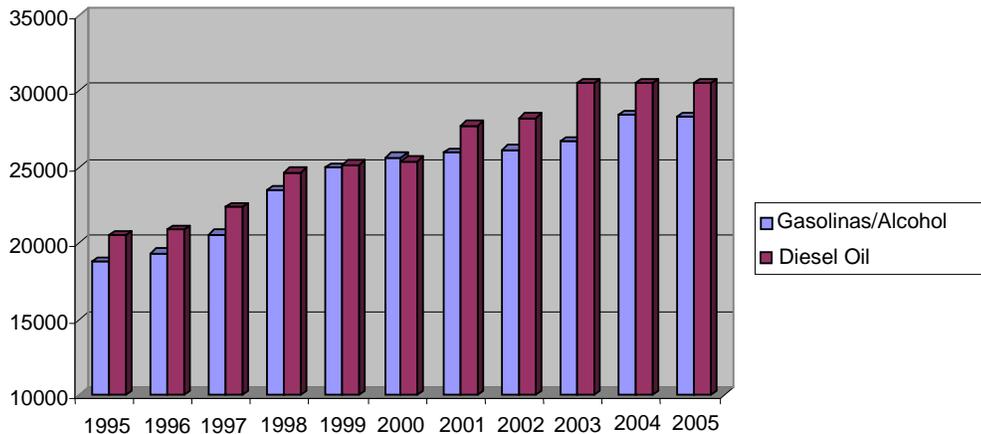
**GRÁFICO 1.3**  
**EVOLUCIÓN RECIENTE DE LOS CONSUMOS DE GASOLINA Y DIESEL EN EL CARIBE**



Fuente: elaborado sobre la base de información del SIEE de OLADE.

En cambio, en el conjunto de los países de América Central, las Gasolinas y el Diesel se reparten casi por mitades la demanda de combustibles en el transporte, con un leve predominio de diesel oil (Gráfico 1.4).

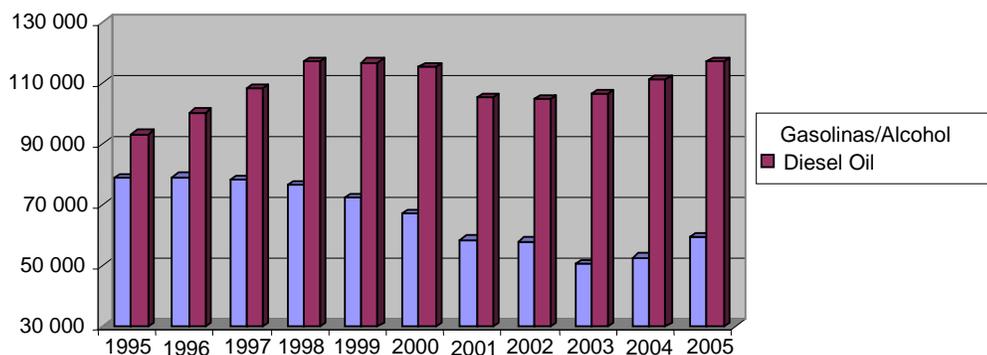
**GRÁFICO 1.4**  
**EVOLUCIÓN DE LOS CONSUMOS DE GASOLINA Y DIESEL EN CENTROAMÉRICA**



Fuente: elaborado sobre la base de información del SIEE de OLADE.

En el Cono Sur se registra una evolución mucho más marcada hacia la dieselización de parque automotor, especialmente entre 1995 y 2004 (Gráfico 1.5). A pesar de una leve recuperación de las gasolinas/alcohol en 2005, en este último año el diesel representaba más del 66% de los combustibles líquidos utilizados en el transporte.

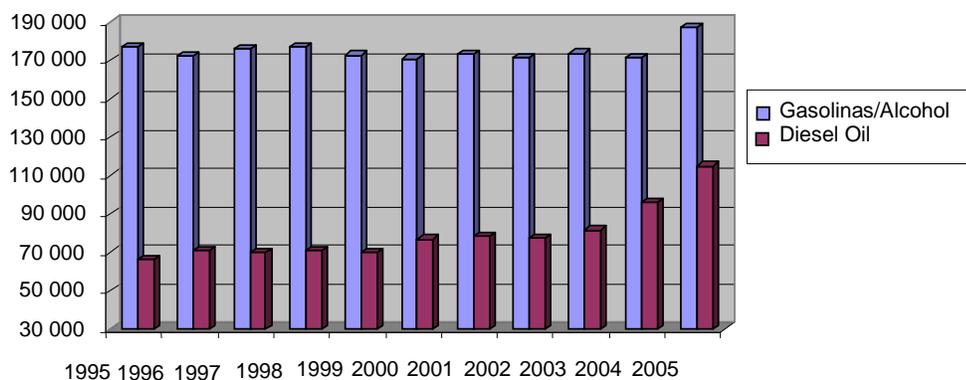
**GRÁFICO 1.5**  
**EVOLUCIÓN DE LOS CONSUMOS DE GASOLINA Y DIESEL EN EL CONO SUR**



Fuente: elaborado sobre la base de información del SIEE de OLADE.

También en la Zona Andina se observa una penetración del diesel desde el año 2000 en adelante; sin embargo, en este caso la estructura de participación de gasolinas/alcohol y diesel como combustibles para el transporte automotor es completamente distinta. En efecto, en el año 2005, las gasolinas/alcohol todavía representaban más del 60% de total de los combustibles líquidos utilizados en ese sector de consumo final (Gráfico 1.6).

**GRÁFICO 1.6**  
**EVOLUCIÓN DE LOS CONSUMOS DE GASOLINA Y DIESEL EN LA ZONA ANDINA**



Fuente: elaborado sobre la base de información del SIEE de OLADE.

En México es aún más marcada la participación de las gasolinas/alcohol; en 2005 dicha participación se ubicaba en alrededor del 71%, una estructura muy semejante a la de los EE.UU.

## 1.4 Significación de los Biocombustibles en el consumo final de AL y C

Más allá de la diversidad de las situaciones subregionales con relación a los mercados potenciales de bioetanol y biodiesel, es importante examinar la significación de los biocombustibles con respecto al consumo final de energía en el sector de transporte y dentro del consumo final total de la región de América Lactina y el Caribe.

Para ello se tomaron como referencia mezclas de 10% para ambos biocombustibles (E10 y B10) y se las relacionó con los consumos en transporte y final total de la Región para el año 2005. Tal como se indica en la Tabla 1.7, aún considerando metas ambiciosas de sustitución de los combustibles fósiles para el transporte por biocombustibles (excepto para Brasil que ya ha superado esa meta en el caso del bioetanol), la introducción de estos últimos tendría escasa significación dentro del balance energético regional.

**TABLA 1.7**  
**AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE – AÑO 2005 –**  
**CUANTO “PESAN” LAS MEZCLAS AL 10%**

	<b>Bioetanol 10% (E10)</b>	<b>Biodiesel 10% (B10)</b>
Mercado Potencial para E10 y B10 (en kBep).	49 788	47 906
Participación % de E10 y B10 en el total del consumo del transporte.	4,2	4,0
Participación % de E10 y B10 en el consumo energético final total.	1,2	1,1

Fuente: elaborado sobre la base de información del SIEE de OLADE.

## Capítulo 2: El potencial de América Latina y el Caribe para producir biocombustibles líquidos a partir de biomasa

### 2.1 Introducción

En este capítulo se analiza el potencial de América Latina para producir biocombustibles líquidos a partir de biomasa. El análisis considera varios escenarios de mezclas entre combustibles fósiles y biocombustibles. También se presenta información sobre el potencial de la silvicultura y de los desechos agrícolas y forestales.

#### RECUADRO 2.1 PROGRESO TECNOLÓGICO ASOCIADO A LOS CULTIVOS BIOENERGÉTICOS

El desarrollo de variedades fitomejoradas de cultivos bioenergéticos podría tener un efecto positivo al permitir un mayor volumen de biocombustibles por unidad de superficie y por lo tanto reducir la presión sobre la tierra.

Según Cap y González (2002), el rendimiento actual de trigo y maíz en Argentina podría aumentar en 28% y 32% respectivamente, el de soja podría aumentar en 19% (2,6 a 3,1 ton/ha.) y el del girasol en 35%. Estos aumentos se podrían conseguir sin un cambio tecnológico intrínseco, ya que la tecnología necesaria adaptada a las condiciones del país ya existe, pero acelerando los procesos de aprendizaje de los agricultores y removiendo algunas de las barreras existentes, por ejemplo la falta de acceso al crédito.

En relación al maíz hay diferentes líneas de investigación, principalmente en EE.UU., orientadas al desarrollo de variedades con mayores rendimientos en campo y con mayores rendimientos de azúcares, las cuales permitirían incrementar el rendimiento en litros de bioetanol por hectárea, así como variedades de maíz altamente fermentables, con mayor rendimiento en la producción de bioetanol. Otras áreas de investigación incluyen una mayor tolerancia a la sequía y la mejora de las propiedades nutritivas de los subproductos de la producción de bioetanol.

Debido al hecho que la producción de caña de azúcar representa dos tercios del costo final del bioetanol, Brasil ha hecho esfuerzos en la producción de nuevas variedades de caña que sean altas en rendimiento, altas en contenido de azúcar, con mayor resistencia a plagas y enfermedades y con una mayor flexibilidad de adaptación a diferentes condiciones de producción. También se ha enfatizado la introducción de mejores prácticas de producción, con avances notables en fertilización, mejora del sistema de transporte, etc. Todo ello ha ayudado a la reducción de costos. Adicionalmente, el Proyecto del Genoma de la caña de Azúcar ha logrado codificar más de 40.000 genes, lo que permitirá el desarrollo de variedades transgénicas.

Entre 1975 y 2000 Brasil logró incrementar los rendimientos de caña en un 33% y el contenido de azúcares se incrementó en un 8,5%. El crecimiento de los rendimientos se aceleró, ya que se registró en 2005 un incremento de un 20% comparado con los valores de principios de la década de los noventa (IICA, 2005). Proyectando el incremento de los rendimientos de los últimos 15 años, se podrían lograr rendimientos de cerca de 84 ton/ha en el año 2015.

La perspectiva del capítulo es fundamentalmente física. Esto es, no se consideran factores que podrían limitar la posibilidad el uso de las tierras disponibles (i.e. disponibilidad físicas), ya sea porque están dedicadas a otros usos (e.g. producción de alimentos o de servicios ambientales), o porque presentan restricciones que limitan su rentabilidad en la producción de biocombustibles.

## 2.2 América Latina y el Caribe en el contexto internacional

Diversos estudios a nivel mundial señalan que América Latina y el Caribe (ALC) disponen de una notable cantidad de tierras que podrían incorporarse a la producción de biomasa para la conversión en biocombustibles. A continuación se presentan los principales resultados de algunos de esos estudios, en los que se analiza el potencial de los cultivos energéticos, residuos agrícolas y forestales, y la importancia relativa que América Latina tiene respecto a otras regiones del mundo. Sin embargo, es importante tener en cuenta que estas cifras sobre disponibilidad de tierras para la producción de bioenergía en ALC deben considerarse con cautela. Primero, porque generalmente no se analizan los costos de oportunidad que implicaría convertir a cultivos bioenergéticos tierras actualmente dedicadas a otros usos. Y en segundo lugar, por limitaciones físicas de la tierra para su incorporación a los procesos productivos.

Smeets et al. (2004) estiman que el potencial energético de biomasa de ALC para el año 2050, a partir de tierras agrícolas excedentarias, puede variar entre 47 y 221 exajoule (EJ)<sup>5</sup> por año, dependiendo del sistema de producción. Estas cifras representan entre 11% y 51% del consumo mundial de energía primaria en 2003, cifra que es mayor que la correspondiente a cualquier otra región del mundo, con excepción de África Sub-Sahariana. Esas cifras incluyen todo tipo de usos energéticos y no sólo biocombustibles para transporte. Estos autores prevén que en ALC la bioenergía podría cubrir más del 100% de la demanda de energía, con rangos que varían entre 120% y 580%.

De Vries et al. (2007) estimaron que en el año 2000 el potencial mundial de biocombustibles líquidos era de 30-40 EJ por año. Los autores prevén que para el año 2050 el potencial se expanda entre 75 y 300 EJ por año, basados en los cuatro escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) del IPCC. El estudio considera que América Latina es una de las regiones con mayor potencial. En un escenario con alto crecimiento y alta tecnología, el potencial de ALC es de más de 65 EJ por año, es decir, un poco más del 20% de la producción mundial de 300 EJ por año.

Comparando el potencial de combustibles para transporte con la demanda global para el año 2050 (80-250 EJ por año), los autores prevén que se podría cubrir en 100% esta demanda en 3 de los 4 escenarios que ellos consideran, si toda la tierra considerada apta/disponible para plantaciones de biomasa fuera usada para la producción de combustibles para transporte.

---

<sup>5</sup> Un joule es el trabajo realizado, o energía gastada, por la fuerza de un newton al mover un objeto un metro en la dirección de la fuerza. Un exajoule (EJ) es igual a 10<sup>18</sup>J. Equivale a la energía contenida en 172 millones de barriles de petróleo, aproximadamente el consumo mundial de petróleo de 2 días en 2005. Ese año el consumo mundial de petróleo diario fue de 82,5 millones de barriles; lo que representa un consumo anual de petróleo de 177 EJ.

Sims et al. (2006) destacan que América del Sur es la región del planeta con mayor potencial para la producción de bioenergía (ver Tabla 2.1), con base en la diferencia entre la tierra con potencial para la producción de cultivos (columna 2) y la suma de la superficie cultivada (columna 3) y la superficie adicional necesaria en el 2050 (columna 4). Ello resulta en una superficie de 630 millones de hectáreas (columna 5), capaces de producir 189 EJ/año (columna 6), que representan un 48% del potencial mundial (excluyendo la biomasa tradicional).

**TABLA 2.1**  
**PROYECCIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO TÉCNICO DE LOS CULTIVOS**  
**ENERGÉTICOS PARA EL AÑO 2050 (IPCC, 2001)**

Región	Población en 2050 (Miles de millones) [1]	Superficie total con potencial para la producción de cultivos (Gha) [2]	Superficie cultivada en 1990 (Gha) [3]	Superficie cultivada adicional necesaria en 2050 (Gha) [4]	Superficie disponible para la producción de biomasa en 2050 (Gha) [5]	Cantidad adicional máxima de energía de biomasa (EJ/año) [6]
Países OECD y en transición	0,750	0,820	0,670	0,050	0,100	30
América Central y Caribe	0,286	0,087	0,037	0,015	0,035	11
América del Sur	0,524	0,865	0,153	0,082	0,630	189
África	2,044	0,978	0,252	0,242	0,484	145
China	5,442	0,565	0,455	0,077	0,033	19
Total regiones	9,046	3,315	1,567	0,466	1,282	394
Energía potencial de la biomasa total (incluye 45 EJ/año de biomasa tradicional).						439

Fuente: Sims et al. (2006)

1 Giga Hectárea (Gha) = mil millones de hectáreas.

1 Exajoule (EJ) = 172 millones de barriles equivalentes de petróleo.

La Agencia Internacional de la Energía (OECD/IEA, 2006) ha estimado tres escenarios de requerimientos de tierra para la producción de biocombustibles en América Latina en el año 2030 (ver Tabla 2.2): a) 3,5 millones de hectáreas, en un escenario tendencial de referencia; b) 4,3 millones, en un escenario caracterizado por una serie de políticas activas de fomento; y c) 5,0 millones, en un escenario con integración de biocombustibles avanzados. En el último escenario, algunos tipos de biomasa para la producción de biocombustibles provendrían de tierras no cultivables y residuos (lo que implica menores requerimientos de tierra cultivable).

**TABLA 2.2**  
**REQUERIMIENTOS DE TIERRA PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOCOMBUSTIBLES EN AMÉRICA LATINA**

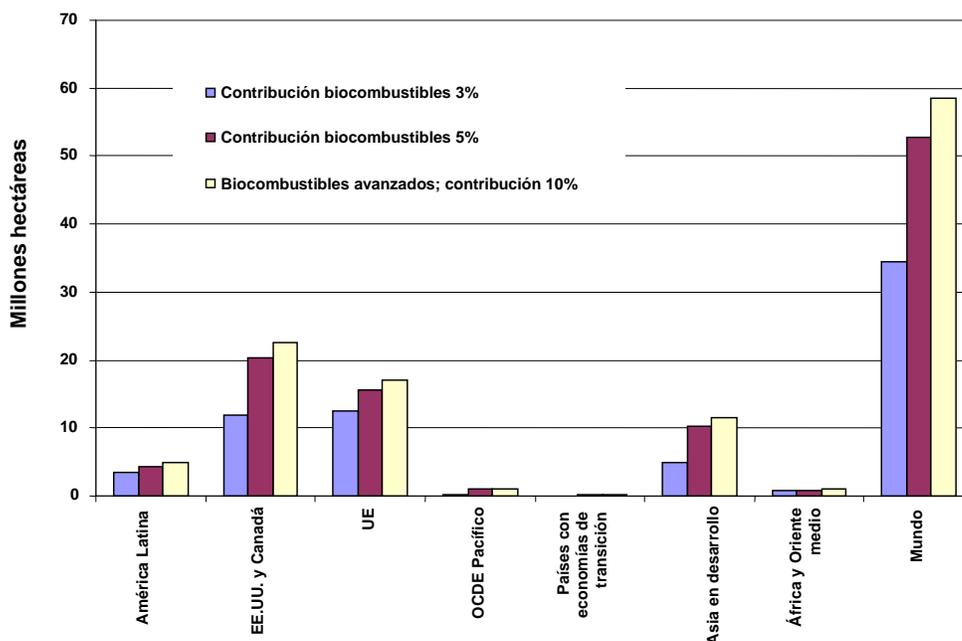
	2004		2030: escenario de referencia (mezcla = 3%)		2030: escenario de política alternativa (mezcla = 5%)		2030: supuesto de biocombustibles avanzados (mezcla = 10%)	
	106 ha	% cultivable	106 ha	% cultivable	106 ha	% cultivable	106 ha	% cultivable
América Latina	2,7	0,9	3,5	2,4	4,3	2,9	5,0	3,4
EE.UU. y Canadá	8,4	1,9	12,0	5,4	20,4	9,2	22,6	10,2
UE	2,6	1,2	12,6	11,6	15,7	14,5	17,1	15,7
OECD Pacífico	Ins.	Ins.	0,3	0,7	1,0	2,1	1,0	2,0
Países con economías de transición	Ins.	Ins.	0,1	0,1	0,2	0,1	0,2	0,1
Asia en desarrollo	Ins.	Ins.	5,0	1,2	10,2	2,5	11,5	2,8
África y Oriente medio	Ins.	Ins.	0,8	0,3	0,9	0,3	1,1	0,4
Mundo	13,8	1,0	34,5	2,5	52,8	3,8	58,5	4,2

Fuente: OECD/IEA (2006) sobre la base de datos de FAO sobre tierra agrícola y análisis de la IEA.

Notas: "Ins." son valores insignificantes.

En esas estimaciones se asume que los biocombustibles derivan exclusivamente de cultivos tradicionales, excepto en el último escenario, en el cual se considera la introducción a gran escala de tecnologías basadas en biomasa lignocelulósica, impulsando la contribución de los biocombustibles al transporte de forma global a un 10% vs. el 5% en escenario de política alternativa y el 3% en el escenario de referencia (ver Gráfico 2.1). En el escenario de biocombustibles avanzados sólo se requeriría medio punto porcentual más de tierra que en el escenario de política alternativa, debido a que una parte importante de la biomasa adicional necesaria podría provenir de tierras regeneradas y marginales no utilizadas para pastos o cultivos, así como de residuos agrícolas, forestales y de otro tipo.

**GRÁFICO 2.1**  
**REQUERIMIENTO DE TIERRA PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOCOMBUSTIBLES**



Fuente: OECD/IEA (2006) sobre la base de datos de FAO sobre tierra agrícola y análisis de la IEA.

Los datos presentados en los estudios arriba mencionados deben ser tomados con cautela, pues existe una serie de restricciones a la utilización de las tierras potencialmente aptas identificadas en los mismos. La Tabla 2.3 muestra que en ALC el 70,9% de la tierra tiene serias limitaciones para la producción. Ese dato alcanza casi el 75% en América Central. Los factores más restrictivos son la calidad de los suelos y el estrés hídrico.

**TABLA 2.3**  
**RESTRICCIONES EN EL USO AGRÍCOLA DE LA TIERRA**

Subregión	Superficie total	Tierra con restricciones agrícolas severas					
		Total con restricciones		Muy fría	Muy seca	Con pendientes muy fuertes	Con suelos pobres
		(106 ha)	%	%	%	%	%
Caribe	23,4	15,7	67	0	0	15,8	65,8
Centroamérica	248,4	184,8	74,4	0	31,5	26,3	59,7
América del Sur	1 777,6	1 251,8	70,4	0,5	10,6	7,5	63,6
América Latina y Caribe	2 049,4	1 452,3	70,9	0,4	13,0	9,9	63,2
Países en desarrollo	8 171,5	6 235,5	76,3	2,7	34,4	12,8	60,9
Países desarrollados	5 228,0	4 231,8	80,9	29,6	15,8	10,2	70,7
Total mundo	13 399,5	10 467,3	78,1	13,2	27,1	11,8	64,7

Fuente: UNEP (2003) sobre la base de FAO (2002).

Bot et al. (2000) presentan un análisis más exhaustivo de las principales restricciones edáficas que afectan a los suelos en ALC. Entre ellas destacan las siguientes:

- la toxicidad por aluminio (39% de la superficie), e.g. en Guyana francesa (80%), Trinidad y Tobago (71%), Brasil (63%), Colombia (56%) y Venezuela (55%);
- el riesgo de erosión (19%), e.g. en Honduras y Panamá (48%), El Salvador (42%), Haití (38%) y Costa Rica (37%);
- la escasa profundidad (11%), e.g. en Antillas Holandesas (56%), México (33%), Haití (31%), República Dominicana (26%) y Chile (24%);
- el hidromorfismo (10%), e.g. en Paraguay (30%), Belice (22%), Costa Rica (17%), Panamá (16%) y Venezuela y Cuba (15%);
- la salinidad (3%), e.g. en Paraguay (31%), Argentina (2%) y Chile (7%);
- la sodicidad (3%), e.g. en Paraguay (13%), Argentina (7%) y Chile (4%);
- la baja capacidad de intercambio catiónico (3%), e.g. en Brasil (10%), Surinam (4%) y Guyana (5%);
- propiedades vérticas (3%), e.g. en Uruguay (25%), Puerto Rico (18%), Belice (17%), El Salvador y Jamaica (15%).

Otras restricciones identificadas por UNEP (2003) (ver Tabla 2.3) incluyen las siguientes:

- áreas muy secas (13%), e.g. México (48%), Argentina (43%), Chile (24%) y Bolivia (23%);
- riesgo de desertificación<sup>6</sup> (19%), e.g. México (72%), Argentina (53%), Chile (34%) y Bolivia (25%).
- las altas pendientes del terreno (9,9%). El 44% de la superficie de América Latina presenta pendiente superior al 8% y casi un 10% tiene pendientes muy acusadas (mayores al 30%).<sup>7</sup>

En conclusión, en términos absolutos América Latina y el Caribe tiene disponibilidad de tierra y características climáticas que permiten pensar en una importante producción de cultivos energéticos. Sin embargo, también deben considerarse restricciones físicas que podrían limitar la incorporación de esas tierras a la producción. Respecto al potencial para satisfacer una parte importante de la demanda mundial de biocombustibles, no es posible dar una respuesta clara sin realizar un estudio más detallado.

Para obtener un mejor panorama son necesarios elementos adicionales de análisis (los que se discutirán más adelante), además de una buena base de información (no siempre disponible en la región). Estas variables adicionales son las que permiten introducir matices críticos entre lo que podría denominarse como potencial técnico y el potencial económico.

---

<sup>6</sup> Según definición de UNSO (1997) (UNDP Drylands Development Centre).

<sup>7</sup> Presentan la mayor superficie de terreno con pendientes superiores al 8%: El Salvador (81%), Haití (80%), Honduras (78%), República Dominicana y Guyana Francesa (71%) y Guatemala y México (70%); pendientes muy fuertes (superiores al 30%): Chile (32%), El Salvador (28%), Perú (27%), Honduras (25%) y Haití (24%).

## 2.3 Tres escenarios sobre el potencial de biomasa en cultivos bionergéticos

En ALC se han identificado 13 cultivos prioritarios para la producción de biocombustibles, los cuales se han seleccionado considerando si ya se producen en la región y tomando en cuenta su potencial energético, a partir de criterios técnicos y productivos. Esos cultivos se detallan en la Tabla 2.4.

**TABLA 2.4**  
**CULTIVOS BIOENERGÉTICOS PARA AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE**

Bioetanol		Biodiesel	
Nombre Común	Nombre Científico	Nombre Común	Nombre Científico
Caña de azúcar	<i>Saccharum officinarum</i>	Palma aceitera	<i>Elaeis guineensis Jacq.</i>
Maíz	<i>Zea mays L.</i>	Soja	<i>Glycine max L.</i>
Trigo	<i>Triticum aestivum L.</i>	Girasol	<i>Helianthus annus L.</i>
Remolacha azucarera	<i>Beta vulgaris var. saccharifera</i>	Ricino / Mamona / Castor	<i>Ricinus communis L.</i>
Yuca / Mandioca	<i>Manihot sculenta</i>	Semilla de Algodón	<i>Gossypium spp.</i>
Sorgo	<i>Sorghum bicolor L.</i>	Colza / Raps / Canola	<i>Brassica napus L.</i>
		Jatropha	<i>Jatropha curcas</i>

Fuente: UDA/DDPE (2007).

Las características generales de los 13 cultivos mencionados se presentan en las Tablas 2.5 y 2.6. Los cultivos más productivos en términos de cantidad de biocombustible por hectárea son la caña de azúcar en bioetanol y la palma aceitera en biodiesel. Sus requerimientos hídricos, en contrapartida, son los más altos.

**TABLA 2.5**  
**CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS CULTIVOS UTILIZABLES PARA LA OBTENCIÓN DE BIOETANOL**

Ítem	Caña de Azúcar	Maíz	Remolacha Azucarera	Trigo	Yuca/ Mandioca	Sorgo
Temp. (°C)	25 – 26	25 – 30	20 – 25	10 – 24	alta	27 – 28
Zona Climática	37° N – 31° S	58° N – 40° S	templado	templado y subtropical	tropicos húmedos (30° N - 30° S)	tropico con lluvias de verano
Producción después de	9 – 24 meses	4,7 meses	6 – 7 meses	3,6 – 5,5 meses	6 – 9 y 18 – 24 meses	2,6 – 3 y 4 – 8 meses
Reposición después de	5 años	Anual	Anual	Anual	0,5 – 2 años	Anual
Agua mm/año (lt / m <sup>2</sup> )	1500 – 1800 (>2500 irrigada)	> 500	500	250 – 300 (400 – 900 HYV)	1000 – 2000	500 – 600
Bioetanol (lt/ton)	85	396	98	362	280	359
Rendimiento medio mundial (ton/ha.)	40 – 80	3,6	30 – 40	2,3	9 – 10	1,3

Fuente: Unidad de Desarrollo Agrícola, CEPAL en base a Rehm y Espig (1991), Suttie (2003) y otras fuentes.

Para biodiesel, en la actualidad los cultivos más utilizados en la región por su área plantada y rendimientos de aceite son la palma aceitera y la soja. Sin embargo, recientemente países como Colombia y Brasil vienen desarrollando el cultivo de la *Jatropha* (llamado Piñón Manso en Brasil) como potencial materia prima alternativa. También existen experiencias con esta planta en Centroamérica.

**TABLA 2.6**  
**CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS CULTIVOS UTILIZABLES**  
**PARA LA OBTENCIÓN DE BIODIESEL**

Cultivos	Palma Aceitera	Soja	Girasol	Ricino	Algodón	Colza	Jatropha
Temp. (°C)	24 – 28	24 – 25	20 – 30	20 – 25	27	20 – 24	20 – 28
Zona Climática	Trópico (10° N - 10° S)	Subtrópico húmedo	trópico - subtrópico	trópico húmedo - subtrópico seco	Región semiárida con lluvias de verano	zonas templadas	trópico – subtrópico
Producción después de	4 – 5 años	4 – 5 meses	2,5 – 3 meses	4,5 – 6 meses	5 meses	4,7 meses	1 – 5 años
Reposición después de	30 años	Anual	anual	anual	Anual	anual	30 – 50 años
Agua mm/año	1500 – 3000	500 – 750	250	750 – 1000	600 – 1500	450 – 500	300 – 1000
Rendimiento Aceite (lt/ton)	401	194	343	412	194	418	380
Rendimiento medio mundial (ton/ha.)	10 – 30	2,2	1,5 – 4	1 – 1,5	1,6 – 2,5	3	0,5 – 12
Aceite (%)	38 – 45	18 – 22	32 – 40	40 – 48	18 – 22	38 – 45	35 – 40

Fuente: Unidad de Desarrollo Agrícola, CEPAL en base a Rehm y Espig (1991) y otras fuentes

Los datos presentados en las Tablas 2.5 y 2.6 deben complementarse con un análisis de los rendimientos agrícolas por país. La razón principal es que un aumento en el rendimiento por unidad de superficie podría limitar la necesidad de expansión de la frontera agrícola y los cambios asociados en el uso del suelo.

Los rendimientos son función de una serie de factores limitantes; por ejemplo: a) la disponibilidad de recursos hídricos en la cantidad y calidad requeridos, b) las pautas de producción y de gestión, c) el empleo de otros factores de producción clásicos (mano de obra, maquinaria, insumos químicos, etc.), y c) la evolución del clima, entre otros. Por lo tanto, no deben considerarse, en ningún caso, como variables estáticas sino como una aproximación para estimar los requerimientos de tierra para obtener un objetivo concreto de producción. Por ello, altos rendimientos a menudo no constituyen las mejores alternativas de rentabilidad financiera ni de eficiencia económica. Además, la eficiencia en la ruta de conversión de la biomasa en biocombustible líquido también depende de la eficiencia técnica en la etapa de conversión industrial.

En las Tablas 2.7 y 2.8 se presentan los rendimientos medios anuales de cada cultivo energético, por país. Éstos son bastante heterogéneos: en el caso de los cultivos orientados a la producción de bioetanol, el rango de rendimientos para la caña de azúcar está entre las 20 t/ha de Dominica y las 128,2 t/ha de Perú. De los 13 cultivos energéticos seleccionados, el promedio regional supera o está en el rango definido por el rendimiento medio mundial en el caso de la yuca, el sorgo, la palma aceitera y la soja. Todos los demás se encuentran por debajo de ese promedio. Tras esos promedios nacionales también existen muchas disparidades dentro de cada país.

**TABLA 2.7**  
**AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE (2000-2003): RENDIMIENTOS AGRÍCOLAS PROMEDIO**  
**POR CULTIVO Y PAÍS (EN T/HA) PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOETANOL**

Países	Caña de azúcar	Remolacha azucarera	Trigo	Maíz	Yuca o mandioca	Sorgo
Promedio mundial	40 – 80	30 – 40	2,3	3,6	9 – 10	1,3
América Latina y Caribe	59,4	32,4	1,9	2,5	9,9	2,2
<b>América del Sur</b>						
Argentina	65,1		2,3	5,9	10,0	4,9
Bolivia	45,1		0,9	2,2	11,2	2,6
Brasil	70,6		1,8	3,2	13,6	1,9
Chile		72,0	4,2	9,9		
Colombia	86,2		2,1	2,1	10,3	3,2
Ecuador	73,1	5,6	0,6	1,2	4,1	1,7
Paraguay	44,5		1,5	2,3	15,4	1,3
Perú	128,2		1,3	2,6	10,8	2,3
Uruguay	53,8		2,0	3,5		3,2
Rep. Bol de Venezuela	66,8	19,6	0,4	3,4	12,4	2,1
<b>México y Centroamérica</b>						
México	72,5		4,8	2,6	14,1	3,2
Belice	46,0			2,6	13,4	3,4
Costa Rica	76,8			1,7	15,0	
El Salvador	77,9			2,3	12,6	1,7
Guatemala	92,1		1,9	1,8	3,0	1,2
Honduras	77,7		0,5	1,5	3,7	1,1
Nicaragua	79,0			1,4	11,1	2,0
Panamá	50,0			1,3	12,9	2,9
<b>Caribe</b>						
Antigua y Barbuda				1,6	4,3	
Bahamas	24,9			2,0	10,2	
Barbados	53,8			2,6	17,0	
Cuba	33,6			2,4	5,7	0,5
Dominica	20,0			1,3	9,5	
Granada	44,9			1,0	6,1	
Haití	56,6			0,7	4,4	0,7
Jamaica	50,2			1,2	18,6	
Rep. Dominicana	37,9			1,3	7,1	2,0
Trinidad y Tobago	55,4			2,5	11,8	

Fuente: UDA/DDPE (2007).

**TABLA 2.8**  
**AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE (2000-2003): RENDIMIENTOS AGRÍCOLAS PROMEDIO**  
**POR CULTIVO Y PAÍS (EN T/HA) PARA LA PRODUCCIÓN DE BIODIESEL**

Países	Palma aceitera	Soja	Girasol	Ricino	Semilla de algodón	Colza
Promedio mundial	10 – 30	2,2	1,5 – 4	1 – 1,5	1,6 – 2,5	3
América Latina y Caribe	15,9	2,1	1,3	0,8	0,8	1,8
<b>América del Sur</b>						
Argentina		2,6	1,7		0,7	1,5
Bolivia		2,0	1,0		0,5	
Brasil	10,0	2,7	1,7	0,7	1,8	1,7
Chile			1,5			3,0
Colombia	18,1	2,2			1,3	
Ecuador	11,2	1,8	1,5	0,8	0,7	
Paraguay	9,6	2,6	1,3	1,2	0,6	
Perú	15,7	1,6			1,1	
Uruguay		1,9	1,1			
Rep. Bol. de Venezuela	13,5	2,9	0,9		0,4	
<b>México y Centroamérica</b>						
México	15,2	1,5	0,8	0,5	1,7	1,1
Belice		1,6				
Costa Rica	19,5				0,5	
El Salvador		2,3			1,1	
Guatemala	22,6	2,9			1,1	
Honduras	19,6	1,9			1,1	
Nicaragua	26,0	2,0			1,1	
Panamá	10,2	0,8				
<b>Caribe</b>						
Antigua y Barbuda					0,1	
Bahamas						
Barbados						
Cuba						
Dominica						
Granada					0,2	
Haití				0,6	0,2	
Jamaica						
Rep. Dominicana	15,3					
Trinidad y Tobago						

Fuente: UDA/DDPE (2007).

A continuación se presentan tres aproximaciones diferentes respecto a la estimación de la producción de biocombustibles líquidos a partir de cultivos energéticos:

- el *porcentaje de mezcla* actual de bioetanol y biodiesel obtenible a partir de los *excedentes de producción*;
- la *superficie* que habría que cultivar en cada país, para *autoabastecer* una mezcla del 5% de bioetanol (E5) y de biodiesel (B5) por volumen en el total del consumo de gasolina y diesel del país;
- la *superficie que es posible expandir* tomando en cuenta las características agro-ecológicas y climáticas de cada país.

Es importante destacar que estas estimaciones ignoran —como se indicará en los siguientes capítulos— consideraciones respecto a costos financieros de producción, recursos adicionales necesarios para la producción agrícola, restricciones desde el punto de vista de la sostenibilidad ambiental y, sobre todo, la contribución al bienestar de la sociedad en su conjunto. Deben interpretarse así como una referencia y no como una propuesta para la acción.

### 2.3.1 Cálculo basado en excedentes de producción

Este cálculo está basado en los excedentes de producción de los países de la región, es decir, aquellos que después de cubrir la demanda local, son exportados o almacenados. Estos resultados muestran el potencial técnico actual de los países para producir bioetanol y biodiesel, sin hacer ningún cambio a nivel de producción primaria, pero de ninguna manera reflejan la producción económicamente viable ni la potencial.

Los cálculos mencionados se hicieron sólo para aquellos países con superávit en la producción de cultivos bioenergéticos, según los balances de alimentos de la FAO. Es decir, en aquellos países donde la producción supera la demanda local y los excedentes son almacenados o exportados.<sup>8</sup> En base a esos resultados se calculó el potencial técnico de producción de biocombustibles y se determinó el potencial de mezcla, tanto de biodiesel como de bioetanol en el consumo existente de gasolina y diesel de cada país, para el promedio de los años 2000-2003.

Es importante destacar que este cálculo no considera el costo de oportunidad, en términos de las divisas que se dejan de percibir, si esos excedentes no son exportados o almacenados para su eventual exportación. Tampoco se considera si los países tienen la capacidad instalada y el conocimiento técnico para producir los biocombustibles, ni los costos que implicaría desarrollar esa capacidad. Este tipo de consideraciones se amplían en el Capítulo 3. El cálculo tampoco toma en cuenta las implicancias sobre el abastecimiento de alimentos a terceros países. Por lo tanto, los resultados deben interpretarse con cautela.

#### A) Bioetanol

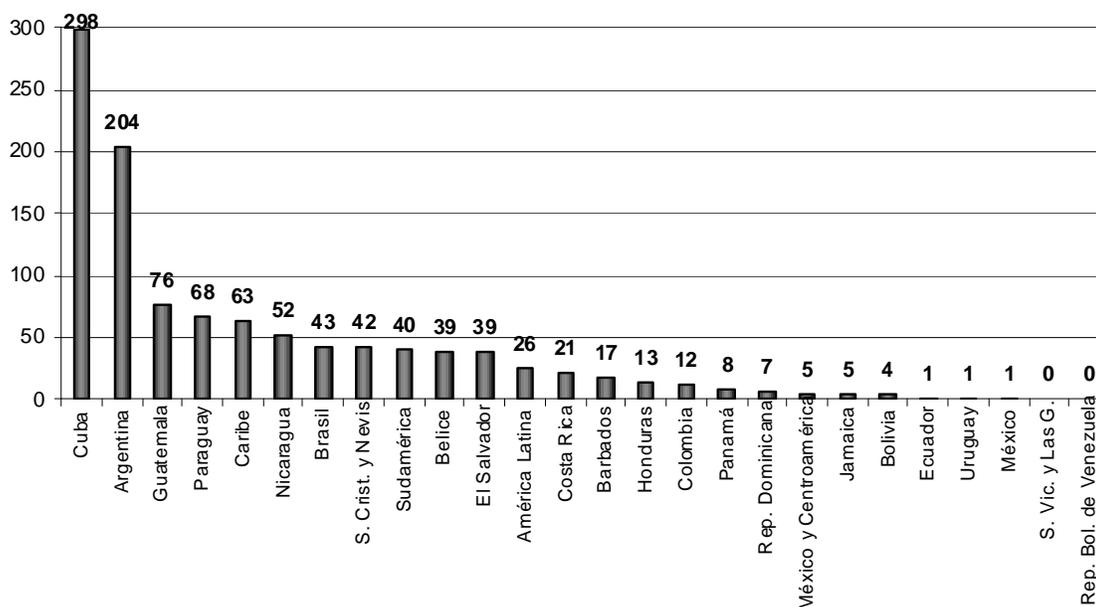
La principal fuente potencial para la producción de bioetanol es la caña de azúcar, en prácticamente todos los países de ALC, ya que la disponibilidad de excedentes es generalizada.

---

<sup>8</sup> No se considera en este primer análisis la diferencia de energía existente entre el biodiesel y el diesel (ver Kojijama y Johnson, 2005, p. 84), y se asume en los balances alimentarios consultados que antes del 2003 no se destinaba la producción de ningún cultivo a la elaboración de biodiesel.

**GRÁFICO 2.2**  
**POTENCIAL DE MEZCLA DE BIOETANOL A PARTIR DE EXCEDENTES**  
 (% En volumen respecto del consumo de gasolina)

PORCENTAJE DE MEZCLA POTENCIAL DE BIOETANOL EN EL CONSUMO LOCAL DE COMBUSTIBLES A PARTIR DE EXCEDENTES NETOS DE PRODUCCIÓN (2003-2005)



Fuente: Unidad de Desarrollo Agrícola, CEPAL.

Por otro lado, el potencial de producción de bioetanol a partir de maíz, trigo y sorgo está concentrado en Argentina, país con ventajas comparativas para la producción de cereales. En conjunto, los países considerados podrían producir, a partir de excedentes exportables, un total de casi 20 mil millones de litros de bioetanol por año, de los cuales un 58% corresponde a la caña de azúcar, 22% al maíz y 18% al trigo. Esto equivale aproximadamente a un porcentaje de mezcla del consumo actual de gasolina promedio a nivel regional de 26%. Esa producción se lograría a expensas de las exportaciones actuales de dichos commodities, sus subproductos y productos elaborados.

En el caso de Brasil, el potencial estimado de mezcla de bioetanol con respecto al consumo actual de gasolina es de 43%.<sup>9</sup> Sin embargo, es posible que el porcentaje sea mayor, dado que en ese país ya hay una producción de bioetanol establecida a partir de caña de azúcar, la cual estaría considerada como parte de la demanda interna de este producto. Brasil destina alrededor de tres millones de hectáreas a la producción de bioetanol.

## B) Biodiesel

La principal fuente potencial para la producción de biodiesel es la soja, que representa el 79% del potencial de producción total de biodiesel, seguido por el girasol (17%) y la palma aceitera (4%). Sin embargo, se puede observar que la producción de soja está concentrada en cuatro países del cono sur, Argentina, Brasil, Bolivia y Paraguay. Argentina también concentra la producción de girasol, mientras

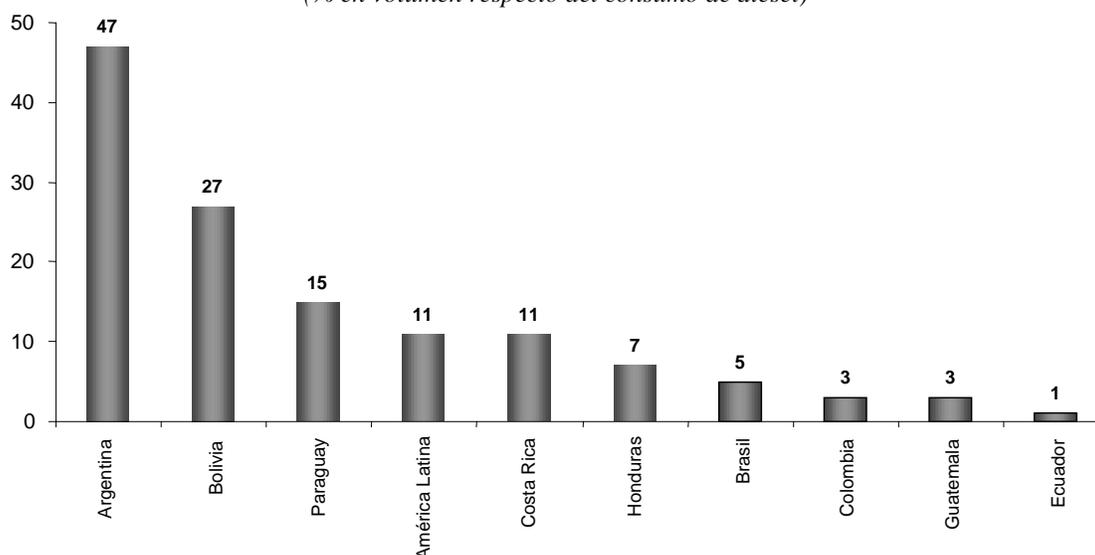
<sup>9</sup> Cabe aclarar que, contrariamente al cálculo hecho para los demás países, este cálculo no incluye la producción actual de bioetanol, el cual representa un 8.9% del consumo de gasolina en Brasil (Agencia Nacional de Petróleo, ANP, 2004 y Abegás, 2004).

que la producción de palma aceitera se da en el norte de Sudamérica y en Centro América. En general, el potencial técnico de producción de biodiesel a partir de excedentes de producción actual de estos cultivos puede llegar a cubrir un 11% del consumo actual de diesel de la región.

Argentina, Bolivia, Brasil, Paraguay, Costa Rica y Honduras presentan excedentes importantes que les permitirían realizar mezclas iguales o superiores al 5%. Además, los países que podrían basar su producción de diesel en palma aceitera podrían llegar a mezclas de entre 1 y 11% (ver Gráfico 2.3).

En general, el resto de los países no alcanzarían la mezcla de 5% si reorientaran todos los excedentes actuales de producción de los cultivos contemplados para la elaboración de biodiesel. Por lo tanto, si quisieran implementar un programa de biodiesel, tendrían que ampliar el área de los cultivos bioenergéticos. Esto puede llevar a presiones ambientales, sobre la demanda de alimentos, etc., por lo que es necesario un análisis más detallado de sus efectos.

**GRÁFICO 2.3**  
**POTENCIAL DE MEZCLA DE BIODIESEL A PARTIR DE EXCEDENTES**  
(% en volumen respecto del consumo de diesel)



Fuente: Unidad de Desarrollo Agrícola, CEPAL en base a FAOSTAT, y Anuario Estadístico de Energía 2003, Naciones Unidas, 20

### 2.3.2 Cálculo basado en el área necesaria para alcanzar mezclas E5 y B5

En este cálculo se estiman las necesidades de nuevas áreas de cultivo basado en el supuesto del reemplazo de un 5% del consumo actual de combustibles fósiles para transporte en la región (E5 para bioetanol y B5 para biodiesel). Estos cálculos toman en cuenta la demanda actual de gasolina y diesel, al igual que el área actual cultivada en cada país de cada uno de los 13 cultivos bioenergéticos considerados en este documento.

Esta estimación evalúa primero si existe suficiente área en producción para poder suplir la demanda correspondiente a un 5% de mezcla. Si ese no fuera el caso, se estima cuánto se necesitaría expandir la frontera agrícola para llegar al 5% de mezcla. El cálculo no toma en cuenta

el área necesaria para cubrir la demanda interna de alimentos, ni consideraciones sobre los posibles impactos ambientales de la expansión. Por lo tanto, los resultados deben interpretarse con cautela.

Las Tablas 2.9 (bioetanol) y 2.10 (biodiesel) muestran el área necesaria por país y por cultivo para obtener el objetivo de 5% de mezcla. Cabe aclarar que los cálculos de áreas de expansión consideran a cada cultivo como única fuente de biocombustibles para alcanzar ese 5%; es decir, las columnas son mutuamente excluyentes.

Tomando en cuenta el área necesaria para la obtención de mezcla E5 o B5, y el área máxima de expansión, podemos ver que la región con mayor potencial en base a esas cifras es Sudamérica.

Por lo que se refiere al bioetanol, la caña de azúcar es la especie con mayor potencialidad de ser cultivada en toda la región, con la excepción de Chile que no cuenta con condiciones climáticas para su cultivo. Todos los demás países tienen suelos aptos para una producción adicional de caña para bioetanol. De todos los cultivos, la yuca es la que tiene mayor superficie potencial en América Latina, siendo sus terrenos aptos y suficientes para un 5% de mezcla. Las únicas excepciones a esto son Argentina, Belice y Jamaica.

**TABLA 2.9**  
**AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE (2000-2003) ÁREA REQUERIDA VS. SUPERFICIE**  
**POTENCIAL DE CULTIVO PARA UNA MEZCLA DE BIOETANOL E5**  
(miles has)

Países	Caña de Azúcar		Maíz		Remolacha Azucarera		Trigo		Yuca o Mandioca	
	Área Requerida	Área Potencial	Área Requerida	Área Potencial	Área Requerida	Área Potencial	Área Requerida	Área Potencial	Área Requerida	Área Potencial
Sudamérica	364	67 243	2 130	56 823	516	39 896	6 888	55 758	704	101 379
Argentina	36	6 667	86	24 893	0	26 252	237	33 120	71	38
Bolivia	9	8 818	39	5 645	0	0	103	833	11	25 947
Brasil	141	29 751	662	13 320	0	3 464	1 267	5 306	223	46 202
Chile	0	0	40	128	22	-40	103	489	0	0
Colombia	40	6 274	349	-377	0	0	389	174	101	8 662
Ecuador	18	907	231	359	203	-1	506	601	97	499
Paraguay	3	4 505	14	2 987	0	0	24	654	3	868
Perú	7	6 000	70	302	0	0	153	1 313	24	2 210
Uruguay	4	1 265	13	5 710	0	10 222	24	13 153	0	0
Rep. Bol. de Venezuela	97	3 056	411	3 856	286	-1	4 330	115	158	16 953
México y Centroamérica	264	6 379	1 787	-1 658	328	0	1 078	3 653	552	9 616
México	236	3 461	1 397	-1 121	0	0	831	3 604	367	5 444
Belice	3		10	0	0	0	0	0	3	0
Costa Rica	6	127	59	-8	0	0	0	0	10	191
El Salvador	4	-49	28	12	0	0	0	0	7	262
Guatemala	7	1 264	79	-563	0	0	79	-3	67	922
Honduras	3	432	39	-151	0	0	124	40	22	718
Nicaragua	2	923	22	238	0	0	0	12	4	1 222
Panamá	6	221	54	-65	0	0	0	0	8	857
Caribe	54	2 190	323	643	0	0	0	0	88	3 759
Bahamas	3	712	7	0	0	0	0	0	2	278
Cuba	10	1 022	29	871	0	0	0	0	18	2 968
Haití	24	371	149	-1	0	0	0	0	38	393
Jamaica	2	55	25	-226	0	0	0	0	6	121
Rep. Dominicana	8	31	75	-1	0	0	0	0	7	-1

Fuente: Unidad de Desarrollo Agrícola, CEPAL en base a FAOSTAT y FAO/IIASA, Global agro-ecological assessment for agriculture in the twenty-first century CD-ROM 2005.

Nota: El signo negativo denota que el área actual sobrepasa el área de cultivo apta o muy apta sin riego y con aplicación de nivel intermedio de insumos.

En el caso del biodiesel vemos que para la palma aceitera en Sudamérica hay suficiente área de expansión, pues solamente se requieren 635.000 hectáreas de las 87,4 millones de has aptas para esta especie. Todos los países de Centroamérica y México productores de palma pueden expandir sin problemas sus áreas cultivadas, mientras que en el Caribe existen tierras aptas para la palma aceitera sólo en Cuba, Haití, Jamaica y República Dominicana. En el caso de la soja, Argentina es la que posee la mayor área disponible (22,7 millones de has) frente al área requerida (un millón de has).

Para el girasol, los países que tienen mayor oportunidad de expansión son Argentina con 15 millones de has y Uruguay con 3 millones de has, mientras que en Brasil, Chile, Ecuador, Paraguay, Venezuela y México la extensión disponible no llega a cubrir los requerimientos de tierras necesarias para alcanzar un B5. El ricino tiene disponibilidad de expansión en México, mientras que en Brasil, Ecuador y Paraguay su expansión es limitada.

En el Caribe, el girasol y el ricino no son especies aptas bajo las condiciones asumidas. Sin embargo, el ricino es cultivado en Haití aunque con un rendimiento medio de sólo 0,56 ton/ha, casi la mitad del obtenido en Paraguay.

**TABLA 2.10**  
**ÁREA REQUERIDA VERSUS SUPERFICIE POTENCIAL DE CULTIVO PARA UNA MEZCLA DE BIODIESEL B5**  
(en miles de has.)

Países	Palma Aceitera		Soja		Girasol		Ricino	
	Área Requerida.	Área Potencial						
Sudamérica	635	87 444	7 715	33 993	6 945	19 447	8 929	48 498
Argentina	0	0	1 053	22 758	887	15 177	0	37 764
Bolivia	0	6 058	107	4 296	122	143	0	982
Brasil	475	45 526	3 707	814	3 332	420	6 202	830
Chile	0	0	0	222	471	239	0	190
Colombia	33	10 544	571	143	0	0	0	0
Ecuador	30	1 070	378	476	256	19	408	214
Paraguay	13	798	100	-925	112	-13	100	55
Perú	26	10 910	523	111	0	340	0	1 462
Uruguay	0	0	111	2 992	105	3 118	0	6 984
Rep. Bol. de Venezuela	56	3 358	539	2 913	945	4	0	16
México y Centroamérica	178	3 779	3 509	7 683	2 372	1 507	3 741	4 300
México	137	1 482	2 959	6 682	3 189	1 507	4 049	4 189
Belice	0	0	15	0	0	0	0	0
Costa Rica	5	221	0	0	0	0	0	0
El Salvador	0	0	83	258	0	0	0	1
Guatemala	6	808	97	13	0	0	0	0
Honduras	5	421	109	173	0	0	0	98
Nicaragua	2	768	56	557	0	0	0	12
Panamá	10	78	272	0	0	0	0	0
Caribe	18	612	0	930	0	0	72	0
Bahamas	0	0	0	0	0	0	0	0
Cuba	0	217	0	868	0	0	0	0
Haití	18	294	0	24	0	0	0	0
Jamaica	0	44	0	38	0	0	70	0
Rep. Dominicana	0	57	0	0	0	0	0	0

Fuente: Unidad de Desarrollo Agrícola, CEPAL en base a FAOSTAT, Fischer et al. (2002) y FAO/IIASA Global agro-ecological assessment for agriculture in the twenty-first century CD-ROM, 2005.

Nota: El signo negativo denota que el área actual sobrepasa el área de cultivo apta o muy apta sin riego y con aplicación de nivel intermedio de insumos.

### 2.3.3 Cálculo basado en la máxima expansión posible de la superficie plantada

El análisis que se presenta en la sección anterior no toma en cuenta condiciones agro-climáticas para la expansión de la producción de cultivos energéticos. Esta sección trata de complementar ese análisis, incorporando información sobre las áreas potenciales de expansión de cultivos bioenergéticos, de acuerdo a características de suelo, clima y otras condiciones físicas que están englobadas en el concepto de zona agro-ecológica.

Una zona agro-ecológica (ZAE) es la caracterización de un área geográfica, según el tipo y fertilidad de suelo, régimen de lluvia, temperatura, elevación y drenaje. El concepto de ZAE permite cuantificar el potencial de cultivos específicos de ser sembrados en diferentes regiones, dadas las características de dichas regiones. Igualmente, permite determinar todas las opciones de uso agrícola de la tierra bajo condiciones específicas de manejo y niveles de insumos, y cuantificar la extensión de tierra que se puede cultivar con una especie vegetal determinada. Los datos presentados en esta sección son el resultado de un exhaustivo análisis y cálculo por parte de FAO y del Instituto Internacional para el Análisis de Sistemas Aplicados (IIASA), publicados en Fischer et al. (2002).

Para estimar el potencial de expansión se consideran las áreas aptas y muy aptas (S+VS por sus siglas en inglés) por país para cada uno de los cultivos en estudio, considerando que estas áreas van a tener potencialmente una mayor susceptibilidad de ser utilizadas para un determinado cultivo. Cabe aclarar que estos cálculos incluyen el potencial de cultivo para cada rubro, bajo condiciones de regímenes de lluvia (no incluye riego) y con un nivel intermedio de insumos.<sup>10</sup> (Gráfico 2.4)

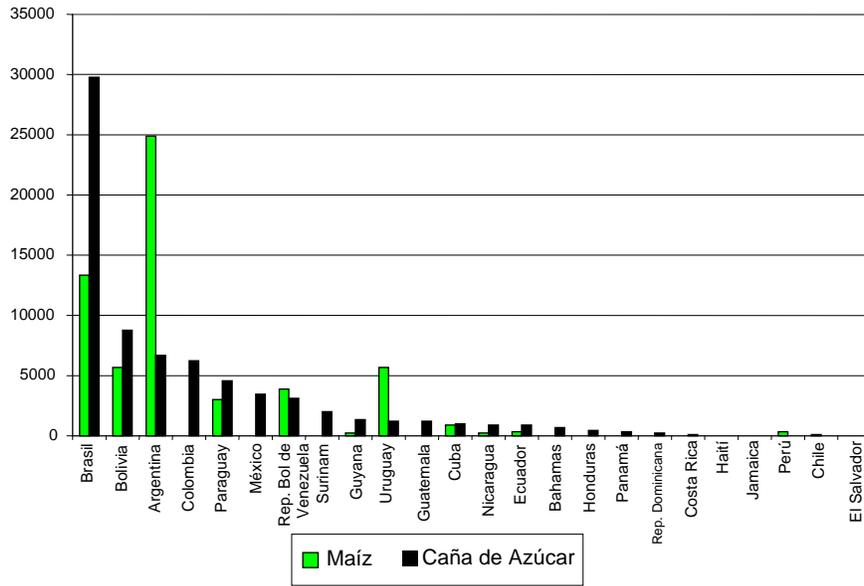
También es importante tener en cuenta que las cifras presentadas son mutuamente excluyentes: es decir, sólo toman en cuenta el potencial de un cultivo determinado si éste fuese cultivado de manera exclusiva. Por lo tanto, en general la expansión se daría a costa de otros cultivos que ya están siendo producidos o de tierras de pastura y, por lo tanto, a expensas de la reducción de la ganadería o de una explotación más intensiva de esta (confinamiento, pastos anuales, etc.). Por esas razones los resultados deben interpretarse con cautela.

Por ejemplo, en el caso de la remolacha azucarera los dos países con mayor potencial de cultivo son Brasil y Argentina. Sin embargo, las áreas con mayor potencialidad para este cultivo están actualmente utilizadas para el cultivo de soja, maíz y trigo.

---

<sup>10</sup> Fischer et al. (2002, p. 76-80) definen como un nivel bajo de insumos a aquel en donde no hay aplicaciones químicas y solamente hay un uso limitado de fertilizantes orgánicos, limitando a cero el uso de biocidas y largos periodos de barbecho. Un nivel alto de insumos se define como aquel en donde hay uso de fertilizantes, manejo de plagas y enfermedades y periodos de barbecho cortos.

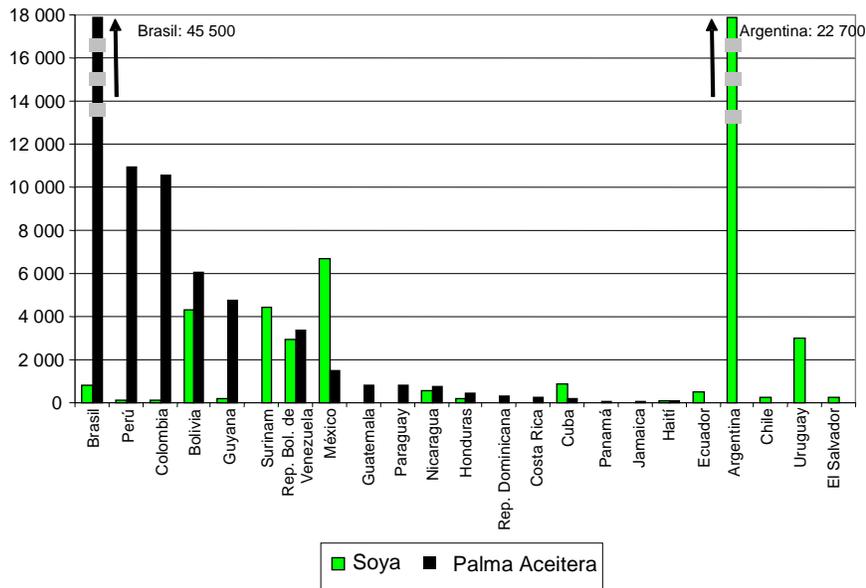
**GRÁFICO 2.4: MÁXIMA EXPANSIÓN PARA EL BIOETANOL**



Fuente: Unidad de Desarrollo Agrícola, CEPAL.

En el caso del biodiesel, un ejercicio similar arroja los resultados presentados en el Gráfico 2.5.

**GRÁFICO 2.5  
MÁXIMA EXPANSIÓN PARA BIODIESEL**



Fuente: Unidad Desarrollo Agrícola, CEPAL.

## 2.4 Disponibilidad de biomasa a partir de la silvicultura

La biomasa representa el 14% de la oferta mundial primaria de energía, siendo utilizada en su gran mayoría en países en desarrollo (75%), y en menor proporción en países industrializados (25%). Su uso es principalmente para consumo en el hogar y en menor escala para propósitos industriales (Parikka, 2004).

En países menos desarrollados el consumo principal de la materia forestal es de leña y carbón vegetal. En los países industrializados, procesamientos ulteriores transforman el material en briquetas y pellets de madera utilizados para calefacción, así como también en combustibles líquidos y gaseosos. Un factor clave en el aprovechamiento de la biomasa forestal es la accesibilidad a las zonas productoras y el costo de recolección y transporte del material, así como un manejo integral de los residuos provenientes de los productos maderables.

El área actual estimada cubierta con bosques a nivel mundial es de 3.952 millones de hectáreas o alrededor de 40 millones de km<sup>2</sup>, de las cuales un 36% son bosques naturales y el resto son plantados (FAO Forest Resources Assessment, 2005). El 56% son bosques tropicales y subtropicales, y el 44% restante son bosques templados y boreales. La biomasa total hallada sobre el suelo es de aproximadamente 420 mil millones de toneladas, de las cuales el 40% se encuentra en Sudamérica y el 27% en Brasil.

Smeets y Faaij (2006) mencionan que para el año 2050 se espera que la producción a partir de recursos forestales sea de entre 6,4 y 27 ExaJoules<sup>11</sup> por año (incluyendo crecimiento adicional de los bosques y residuos del corte y residuos y desechos del procesamiento industrial de la madera). Estas cifras representan entre 4% y 17% del total mundial de energía a partir de productos forestales.

Dados los altos costos actuales de la transformación de biomasa lignocelulósica en bioetanol o biodiesel, en el corto plazo una expansión de su producción en ALC es poco probable, en especial si existen otros cultivos bioenergéticos más eficientes como la caña de azúcar. Sin embargo, el desarrollo de biocombustibles avanzados con costos de producción competitivos a partir de madera y residuos forestales pueden hacer más atractivo el uso de esta materia prima.

Dos consideraciones adicionales son importantes. La primera se refiere a los riesgos ambientales que podría acarrear en ALC el desarrollo de biocombustibles a partir de productos forestales. Esto destaca la importancia de contar con legislación adecuada que garantice la protección de bosques nativos y de zonas forestales frágiles, especialmente cuando proveen servicios ambientales importantes. La segunda es una advertencia en relación al mayor riesgo financiero que presentan los cultivos perennes (e.g. plantaciones forestales) para el productor, pues generan sus principales ingresos hasta unos años después de su establecimiento. Eso hace que su rentabilidad pueda ser afectada por factores climáticos que perjudican el rendimiento de los cultivos, tales como la variación en las precipitaciones y la radiación solar, así como por cambios en los precios respecto de lo esperado inicialmente. En el caso de la silvicultura los riesgos pueden ser mayores, pues los periodos para cultivar son más extensos. Esos factores de riesgo, por supuesto, aumentan la rentabilidad financiera exigida por cualquier productor racional para optar por el cambio de cultivo a partir de los usos tradicionales del suelo.

En el caso de la biomasa vegetal, un aumento en su precio para la producción de biocombustibles justificaría un análisis más detenido del potencial del mercado de créditos de carbono, como reconocimiento tangible del potencial de la silvicultura como sumidero de GEI, más que como alternativa para la producción de biocombustibles.

---

<sup>11</sup> 1 Exajoule = 10<sup>18</sup> Joules = 0,95 Cuadrillones de Btu (10<sup>15</sup> Btu) = 172 millones de barriles equivalentes de petróleo = 0,028 TeraWatt.

## 2.5 Disponibilidad de Biomasa a partir de residuos

Los residuos de cultivos, actividades forestales y de otras actividades no agrícolas, también son una potencial materia prima para producir biocombustibles. Según el Departamento de Energía de los Estados Unidos (DOE, 2003), los residuos son una de las materias primas para biocombustibles con mejores posibilidades de uso a corto plazo, ya que son un subproducto que actualmente es abundante, subutilizado y de bajo costo.

Bhattachrya et al. (2005) definen a los residuos, como todos los materiales orgánicos que son producidos como subproductos de la cosecha o del procesamiento de cultivos agrícolas. Existen dos tipos de residuos: residuos primarios y residuos secundarios. Los residuos primarios son aquellos que se producen al momento de la cosecha (por ejemplo la paja de arroz), mientras que los residuos secundarios son aquellos que se producen durante el procesamiento, como por ejemplo la cáscara del arroz o el bagazo de caña. Los residuos primarios son más difíciles de coleccionar, además que tienen otros usos como fertilizantes, alimento animal, etc. Es por esto que los residuos secundarios se vuelven más atractivos como una fuente de energía para las mismas plantas procesadoras, con un costo mínimo de transporte y manejo.

Hoogwijk et al. (2003) mencionan que el potencial mundial de residuos depende especialmente de la producción de cultivos y forrajes. Estos autores indican que la mayoría de los estudios sobre este tema asumen que aproximadamente un 25% de los residuos agrícolas disponibles pueden ser recuperados. Basados en estas suposiciones, se calcula que el potencial de producción de energía a partir de residuos agrícolas primarios es de entre 5-27 EJ por año. En cuanto a fuentes secundarias, mencionan que en la mayoría de los estudios sólo se toma en cuenta el bagazo como fuente de energía, el cual se asume que es recuperado y usado como energía en un 100%. Basados en estas suposiciones se estima que el potencial de producción de energía en base a fuentes secundarias es de 5 EJ por año. Es decir, el potencial total (fuentes primarias + fuentes secundarias) de producción de energía a partir de residuos de la agricultura sería de entre 10 y 32 EJ por año. Para residuos forestales, Hoogwijk et al. (2003) consideran que de los residuos de la tala de árboles y de los aserraderos se pueden obtener entre 10 y 16 EJ por año, dependiendo del grado de recuperación de residuos y de la productividad de los bosques.

Para ALC, Kim y Dale (2004) estiman que en base a residuos de maíz, arroz, cebada, centeno, trigo, sorgo, y caña de azúcar,<sup>12</sup> se puede producir (tanto a partir de las pérdidas de cultivo como de residuos lignocelulósicos) un total de 44,22 Ggalitros (GL)<sup>13</sup> de bioetanol (un 9% del total mundial a partir de estos materiales). De éstos, un 87% proviene de masa lignocelulósica y un 13% de residuos de cultivos. Sudamérica proveería un 90% del total, es decir 40,1 GL de bioetanol, con Centroamérica y el Caribe proveyendo el resto. Un 80% del potencial de energía a partir de residuos proviene de 3 fuentes principales: bagazo de caña (23,6 GL), pajilla de arroz (7,35 GL) y residuos de maíz (4,1 GL).

En el estudio más reciente, Smeets et al. (2007) estiman que el potencial energético para América Latina, a partir de residuos al año 2050, podría variar entre 12 y 14 EJ por año, neto de residuos usados para alimentación animal. Estas cifras representan entre 14% y 15% del total mundial a partir de esta fuente bioenergética. Del total, la mayoría corresponde a residuos de cosecha de cultivos (10 a 12 EJ por año), así como de residuos de procesos secundarios (2 EJ) y de residuos forestales (1 EJ). Por otro lado, Yamamoto et al. (2001) estiman que para el 2100, las principales fuentes de energía en base a residuos en la región van a ser los residuos de la cosecha

---

<sup>12</sup> En su análisis del potencial de bioenergía a partir de residuos, y para evitar conflictos con el uso de cultivos como alimento humano y animal, solamente toman en cuenta la fracción de cultivos que se pierde debido a manejo, almacenamiento y transporte.

<sup>13</sup> Un Giga litro (1GL) es igual a mil millones de litros o a 1 hectómetro cúbico (hm<sup>3</sup>)

de cereales (54%), residuos forestales y de papel (27%), y bagazo y desechos de la cosecha de caña (8%).

Leventon (2000) estima que de los residuos de maíz se pueden producir 345 litros de bioetanol por tonelada de biomasa, con una eficiencia de energía de 1,0. La Tabla 2.11 muestra el rendimiento en la producción de bioetanol a partir de diversos residuos de cultivo. De los productos potencialmente disponibles en ALC, los residuos más eficientes en la producción de bioetanol son el bagazo de caña (280 lt/ton), residuos de maíz (290 lt/ton), la pajilla de arroz (280 lt/ton), la paja de cebada (310 lt/ton), y la paja de trigo (290 lt/ton).

**TABLA 2.11**  
**COMPOSICIÓN DE LOS RESIDUOS DE CULTIVO Y RENDIMIENTO DE BIOETANOL**

Residuo	Cociente residuo/cultivo	Materia Seca (%)	Lignina (%)	Carbohidratos (%)	Rendimiento de bioetanol (litros/tonelada de materia seca)
Paja de cebada	1,2	81,0	9,0	70,0	310
Residuo de Maíz	1,0	78,5	18,7	58,3	290
Paja de avena	1,3	90,1	13,8	59,1	260
Paja de arroz	1,4	88,0	7,1	49,3	280
Paja de sorgo	1,3	88,0	15,0	61,0	270
Paja de trigo	1,3	90,1	16,0	54,0	290
Bagazo de Caña	0,6 <sup>a</sup>	71,0	14,5	67,2	280
Residuo de algodón					220 <sup>b</sup>
Cortes de poda forestales					310 <sup>b</sup>
Polvillo de aserraderos					350 <sup>b</sup>
Mixtura de papel					440 <sup>b</sup>

Fuente: Kim y Dale ( 2004) Table 2 y U.S. DOE (2007).

[http://www1.eere.energy.gov/biomass/ethanol\\_yield\\_calculator.html](http://www1.eere.energy.gov/biomass/ethanol_yield_calculator.html)

<sup>a</sup> Kg. de bagazo por kg. de azúcar.

<sup>b</sup> Rendimientos teóricos (aproximadamente 60-90% del rendimiento práctico).

Para poder analizar más detenidamente el potencial para la producción de biocombustibles a partir de residuos en ALC, se analiza la disponibilidad de residuos de cultivos en esta región. La Tabla 2.12 destaca que la mayor parte de los residuos en ALC se originan en la producción de frutas y cereales, seguidos por raíces y tubérculos y cultivos azucareros. De éstos, los principales cultivos por cantidad, en miles de toneladas, son maíz, caña de azúcar, plátanos y bananas, y yuca.

**TABLA 2.12**  
**FUENTES DE RESIDUOS DE CULTIVO EN AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE**  
*(Promedio 1998-2003)*

<b>Categorías y cultivos</b>	<b>Cantidad de residuos (miles ton)</b>	<b>Participación por Categoría (%)</b>	<b>Participación total (%)</b>
FRUTAS	11 087		30
Bananas y plátanos	3 502	32	
Naranjas y mandarinas	3 140	28	
Otras Frutas	2 393	22	
CEREALES	10 848		29
Maíz	7 217	67	
Trigo	1 790	17	
Arroz (Elaborado)	1 217	11	
RAICES Y TUBERCULOS	5 595		15
Yuca o mandioca	3 242	58	
Papas	1 915	34	
CAÑA DE AZUCAR	4 739		13
VEGETALES	3 860		10
Otros Vegetales	2 387	62	
Tomates	1 036	27	
Cebollas	436	11	
CULTIVOS OLEAGINOSOS	892		2
FRIJOLES	239		1
Total	37 260		100

Fuente: Unidad de Desarrollo Agrícola, CEPAL a partir de Balances de Alimentos de FAOSTAT.

Como se puede observar, la disponibilidad de residuos de cultivo es bastante amplia, por lo que no debe ser subestimada. Aunque no se dispone, por el momento, de cifras de residuos de productos forestales, los cuales incluyen residuos de la tala, corteza, residuos del aserrado, etc., es posible afirmar que su potencial también es grande. La remoción y utilización de residuos forestales se puede integrar a un manejo forestal sostenible y puede reducir el riesgo de incendios forestales, sin tener un efecto negativo sobre el ecosistema.

Tomando en cuenta los valores de residuos de cultivos y el potencial de producción de bioetanol por cada tipo de residuo, durante el período 1998-2004, se estima el potencial de producción de biocombustibles a partir de residuos de maíz, arroz, trigo y bagazo de caña de azúcar. Las cifras muestran que, solamente a partir de los residuos de estos cuatro cultivos, se podrían producir alrededor de 4.300 millones de litros de bioetanol por año (ver Tabla 2.13).

Estos valores representan una cifra importante, si se compara con la producción de bioetanol de Brasil en 2006, donde éste destiló 17 mil millones de litros, y mayor que la producción de Estados Unidos en el mismo periodo que fue de 3.500 millones de litros. Estas cifras denotan el gran potencial de los residuos a nivel regional, lo cual debería ser considerado al momento de planificar programas orientados a la producción de biocombustibles.

**TABLA 2.13**  
**POTENCIAL DE PRODUCCIÓN DE BIOETANOL A PARTIR DE RESIDUOS**  
**EN AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE**

<b>Fuente</b>	<b>Cantidad de residuo promedio anual (1998-2003) (miles de ton)</b>	<b>Rendimiento de bioetanol (litros/ton)</b>	<b>Producción potencial de bioetanol (millones de litros)</b>
Residuos de maíz	7 217	290	2.093
Residuos de trigo	1 790	290	519
Residuos de arroz	1 217	280	341
Bagazo de caña	4 739	280	1 327
Total			4 280

Fuente: Unidad de Desarrollo Agrícola, CEPAL a partir de datos de FAOSTAT y U.S. Department of Energy.

La decisión de coleccionar o no los residuos debe tomarse teniendo en cuenta criterios de sostenibilidad, especialmente los efectos sobre la calidad de suelo y la productividad de los cultivos. Lynd et al. (2003) estiman que un 50% de los residuos de maíz pueden ser removidos sin causar un efecto negativo al suelo.

## **Capítulo 3: Impactos en precios, empleo agrícola y estructura agraria**

Los biocombustibles representan una oportunidad importante para la diversificación productiva de la región. Sin embargo este capítulo muestra que aumentar la producción de biocombustibles podría tener efectos adversos de no ser acompañado de un paquete adecuado de políticas. En particular, el aumento en la demanda por biocombustibles podría resultar en una mayor concentración de la producción y la tenencia de la tierra.

Por otra parte, es probable que una fuerte expansión en la producción de biocombustibles a nivel mundial genere alzas en los precios de los productos agrícolas, al menos en el corto plazo. La ganadería y la silvicultura podrían verse también afectadas. La ganadería a través de los precios del alimento para animales y de la tierra disponible para el ganado y la silvicultura a través de la expansión de la tierra cultivable que resulte en una reducción de las áreas destinadas a esta actividad. Por otro lado, hay un aparente consenso entre expertos que el impacto de los biocombustibles en el empleo agrícola es ambiguo.

Es importante tener en cuenta que la producción de biocombustibles podría implicar una expansión de la frontera agropecuaria, lo cual impone un serio reto para el sector agrícola y al medio ambiente de los países de la región. Más aún, un rápido incremento en la producción de cultivos energéticos puede traer otros impactos en el sector, tales como cambios en la estructura de mercado, desplazamiento de cultivos tradicionales, entre otros. Por lo anterior, es importante no sólo evaluar el potencial de la región para la producción de biocombustibles, sino también sus posibles efectos.

### **3.1 Impactos en precios**

#### **3.1.3 Relación entre los precios de los combustibles fósiles y los precios agrícolas**

Una de las limitantes actuales de los biocombustibles —con excepción del bioetanol obtenido de caña de azúcar en Brasil y de los biodiesel de palma, aceites usados y *jatropha*— es su alto costo de producción en relación con los combustibles tradicionales, i.e. gasolina y biodiesel. Los altos costos de producción implican que la competitividad de los biocombustibles dependa de varios factores, entre ellos el precio internacional del petróleo, el costo de transformación del cultivo en biocombustible, el precio de los usos alternativos del cultivo, el precio de cultivos alternativos, la

política fiscal aplicada a los petrocombustibles y, en la mayoría de los países desarrollados, de importantes subsidios gubernamentales.

Al nivel de procesamiento la decisión de cómo asignar la producción de un cultivo energético entre usos convencionales agroindustriales (e.g. producción de azúcar, producción de aceites comestibles) o biocombustibles está determinada por la relación entre las rentabilidades en uno y otro uso. En general, un cultivo energético será convertido en biocombustible si la rentabilidad neta que se puede obtener en el mercado de biocombustibles es mayor que en el mercado de commodities. Y en el mercado de biocombustibles esa rentabilidad está determinada por el precio del combustible fósil relevante. Por lo tanto, en última instancia, la variable relevante es el precio del petróleo comparado con el precio de los productos agrícolas.

Por ejemplo, de acuerdo al precio a noviembre 2006 de la gasolina de 0,39 dólares/litro (1,473 dólares/Gal. Rotterdam) y del azúcar blanca a 0,49 dólares/kg.<sup>14</sup> al procesador le conviene más producir azúcar (punto a la derecha de la línea de indiferencia) ya que su costo de oportunidad es menor en ese caso. Un análisis similar se podría hacer para los otros cultivos bioenergéticos en estudio.

En el caso del biodiesel, el costo de producción de los procesadores más eficientes de soja en Brasil es de 320 dólares/TM para el aceite crudo, frente a un precio internacional del aceite comestible de 615 dólares/TM.<sup>15</sup> En esta situación es más rentable (costo de oportunidad menor) para la industria destinar su materia prima a la fabricación de aceite comestible, ya que el precio internacional del diesel es sólo de 540 dólares/TM.<sup>16</sup>

En la decisión de usar cultivos energéticos para producir biocombustibles también es importante considerar el costo de oportunidad de la sociedad como un todo. Mientras que puede existir un efecto positivo en la cadena de valor y en el productor al percibir un mayor ingreso, el mercado de alimentos podría experimentar un alza generalizada de precios, que a la vez podría traducirse en una caída del ingreso real de los consumidores.<sup>17</sup> Esta situación es sensible especialmente en el caso de países en desarrollo, donde las clases medias y bajas destinan una parte significativa de sus ingresos al consumo de alimentos. Otros efectos negativos pueden darse en términos de seguridad alimentaria y nutrición.

### 3.1.3 Impactos en los precios agrícolas

Un aumento de la demanda por biocombustibles implica, indudablemente, un aumento en la demanda por cultivos energéticos. Sin embargo, el efecto y magnitud que este aumento de demanda tiene sobre los precios de los cultivos energéticos, y de otros cultivos en general, no es fácil de determinar.

Uno de los primeros estudios en que se intentó medir esos efectos es el de Ranese et al. (1999), quienes analizaron los posibles impactos que un aumento en la demanda de biodiesel derivado del aceite de soja tiene en el sector agrícola de los Estados Unidos. Mediante un modelo

---

<sup>14</sup> 498,8 dólares/TM, London International Financial Futures and Options Exchange.

<sup>15</sup> Es importante destacar que el objeto de esta comparación no es la determinación exacta de los costos de producción, ni de los márgenes brutos, sino de ejemplificar el rol que juegan los precios del petróleo y los alimentos en la decisión final de la industria sobre producir o no el biocombustible.

<sup>16</sup> Dato referido a Diciembre 2006

<sup>17</sup> La Confederación de Industrias de Bebidas y Alimentos de la Unión Europea (CIAA) reporta alzas en los precios del aceite de colza entre un 41 a 45% sobre los precios medios del quinquenio 1996-2000. Del mismo modo estiman que el precio de los cereales se incrementará entre un 6 a 11% para el año 2010 y el precio de las oleaginosas entre 5 y 15%. Para mayor información véase Confederation of the food and drink industries of the EU (CIAA), 2006. "Position on the EU biofuels strategy proposed by the Commission", Bruselas abril de 2006.

de simulación para el sector agrícola,<sup>18</sup> los autores evalúan el impacto de un aumento de la demanda por biodiesel en la producción y los precios del maíz, soya y aceite y torta de soya en EEUU. La Tabla 3.1 resume los principales resultados del modelo:

**TABLA 3.1**  
**EFFECTOS DEL INCREMENTO DE DEMANDA POR BIODIESEL**  
**EN PRECIOS Y PRODUCCIÓN**  
*(En porcentajes)*

Producto	Escenario de Demanda por Biodiesel		
	Bajo	Medio	Alto
<b>Producción</b>			
Aceite de Soya	0,3	0,8	1,6
Soya	0,1	0,2	0,4
Torta de Soya	0,3	0,8	1,6
Maíz	0,0	-0,1	-0,2
<b>Precio</b>			
Aceite de Soya	2,8	7,2	14,1
Soya	0,4	1,0	2,0
Torta de Soya	-0,7	-1,7	-3,3
Maíz	0,0	-0,1	-0,1

Fuente: Raneses et al. (1999).

Nota: Los porcentajes mostrados en el cuadro representan el promedio anual del impacto del aumento en el uso de biodiesel en el periodo 1996-2000.

La Tabla 3.1 muestra efectos importantes en tres tipos de productos:

- En el caso de los insumos para la producción de biocombustibles, soya y aceite de soya, un aumento en la demanda por biodiesel produce un aumento en la demanda de dichos productos. El aumento de dicha demanda genera un aumento en el precio del insumo, incentivando su producción. Sin embargo el aumento en producción podría no ser suficiente para restablecer su nivel original de precios. El modelo muestra que en el caso extremo de alta demanda, los precios podrían aumentar en un 14,1% para el aceite de soya y en un 2,0% para la soya.
- En el caso del producto derivado de la producción de biodiesel, en este caso torta de soya, el efecto en precio es contrario al del caso de los insumos. Al aumentar la producción de biodiesel también aumenta la producción de la torta de soya, lo que genera un aumento en la oferta y consecuentemente una reducción en el precio. De acuerdo al modelo la disminución de precio puede ser de hasta 3,3% en el caso más extremo.
- En referencia a los efectos del aumento de la producción de biodiesel en otros cultivos, en este caso maíz, la Tabla 3.1 muestra que los efectos en los precios y la producción son menores y sólo evidentes en los casos de demanda media y alta. La interpretación de este resultado es la siguiente: en los casos de demanda media y alta, el aumento en los precios de la soya hace que los agricultores sustituyan maíz por soya, lo que genera una caída en la producción agregada de maíz. Adicionalmente, la demanda por maíz como alimento

<sup>18</sup> Food and Agricultural Policy Simulator, FAPSIM.

para ganado disminuye como resultado de la reducción del precio de la torta de soya, lo cual reduce los precios del maíz.<sup>19</sup>

En otro ejercicio de simulación, De la Torre et al. (2003) analiza, entre otras cosas, los potenciales impactos de la producción de cultivos energéticos (switchgrass,<sup>20</sup> álamo y sauce) para la producción de bioetanol a través de celulosa, en la producción y los precios de cultivos tradicionales. Los autores calibran un modelo para el sector agrícola de los Estados Unidos,<sup>21</sup> tomando en consideración que algunas de las áreas potenciales para la producción de cultivos energéticos son, también, áreas de cultivo de fibra y alimentos. Con esta consideración, los autores logran capturar el efecto del desplazamiento de los cultivos tradicionales por cultivos energéticos. El estudio muestra, bajo los dos tipos de escenarios considerados, que el incremento de la demanda por cultivos energéticos no sólo resulta en un aumento en el precio de esos cultivos, sino también en un aumento en el precio de otros cultivos que compiten por el mismo suelo agrícola.

En otro estudio, Rosegrant et al. (2006) estiman el impacto de la demanda por biocombustibles en los precios mundiales de algunos cultivos energéticos. Los autores consideran los impactos en precios bajo tres escenarios distintos respecto de la producción de los biocombustibles; la Tabla 3.2 resume algunos de los resultados de su estudio.

**TABLA 3.2**  
**AUMENTO ESTIMADO EN LOS PRECIOS MUNDIALES DE CULTIVOS**  
(En porcentajes)

Cultivo	Escenario 1 Biocombustibles tradicionales		Escenario 2 Biocombustibles de celulosa	Escenario 3 Biocombustibles de celulosa y cambios en productividad de los cultivos
	2010	2020	2020	2020
Yuca	33	135	89	54
Maíz	20	41	29	23
Oleaginosas	26	76	45	43
Remolacha	7	25	14	10
Caña	26	66	49	43
Trigo	11	30	21	16

Fuente: Rosegrant et al. (2006).

Nota: En su modelo los autores asumen que los biocombustibles representan un 10% del combustible líquido en el 2010, 15% en el 2015 y 20% en el 2020.

Como se observa en la Tabla 3.2 el aumento en la demanda proyectada de los biocombustibles tiene impactos significativos en los precios de los cultivos, especialmente bajo el Escenario 1, donde el biocombustible es obtenido de cultivos tradicionales. Sin embargo, la consideración de una mejora tecnológica que permita la obtención de biocombustibles a partir de celulosa (Escenario 2), reduce considerablemente el aumento en precios. Si esta mejora

<sup>19</sup> La reducción en el precio de la torta de soya y subsecuentemente del maíz, a su vez, pudiera tener implicaciones en el sector ganadero, ya que reduce los costos de alimentación lo que puede resultar en un aumento en la producción de carnes.

<sup>20</sup> *Panicum Virgatum*, en español también llamado pasto varilla o pasto aguja.

<sup>21</sup> POLYSIS es un modelo de simulación de políticas agrícolas para el mercado de los Estados Unidos.

tecnológica es acompañada por cambios en la productividad de los cultivos (Escenario 3), el impacto de los biocombustibles en los precios es todavía menor. Este último escenario, muestra que la combinación de inversiones en la industria de los biocombustibles y en el sector agrícola pueden mitigar los impactos en los consumidores.

En Koizumi (2003), el autor desarrolla un modelo<sup>22</sup> para analizar los efectos que un cambio en la proporción de la mezcla bioetanol-gasolina en Brasil tendría en los mercados domésticos y mundiales de bioetanol y azúcar.<sup>23</sup> El autor muestra que un aumento en la proporción de la mezcla bioetanol-gasolina, en el mercado brasileño, resulta en un aumento de la producción de bioetanol para consumo doméstico y una reducción en las exportaciones de este producto, ya que se espera que este país, al igual que otros, dé prioridad a su demanda interna. En consecuencia, a pesar del aumento en el consumo y producción mundial de bioetanol en el periodo 2006-2010, el modelo muestra una caída ligera en el comercio mundial de bioetanol. El precio mundial del bioetanol, según las simulaciones, incrementaría entre un 0,91 y 1,14%.

El incremento de los precios del bioetanol en el mercado brasileño, provee incentivos para que se reduzca la producción de azúcar y aumenten la de bioetanol, lo cual resulta en una caída de la producción de azúcar de entre 0,3 y 2,5% durante el periodo simulado. La contracción en la producción de azúcar en Brasil resulta en un aumento del precio en el mercado doméstico de entre 3,82 y 5,44%. Adicionalmente, la reducción de la producción de azúcar en el mercado Brasileño puede generar una reducción de la producción mundial de azúcar de entre 0,0 y 0,2%, y en las exportaciones mundiales de entre un 0,0 y 0,3%. Por lo anterior, el modelo predice que el precio mundial del azúcar pudiera aumentar entre un 0,34 y 2,23%.

El estudio de la OECD (2006) sobre el impacto del crecimiento de la producción de biocombustibles en los mercados agrícolas muestra efectos similares a los anteriormente presentados. El estudio muestra que la demanda adicional por cultivos energéticos, producto de un incremento en la producción de biocombustibles, puede afectar significativamente los mercados de dichos productos. Se espera que los mayores productores de biocombustibles, Brasil, Estados Unidos, Unión Europea, y Canadá, reduzcan significativamente sus exportaciones de cultivos energéticos o aumenten sus importaciones.

El impacto más fuerte en los mercados internacionales, de acuerdo al estudio, sería en el precio del azúcar, el cual puede aumentar en un 60% en comparación a la situación en que la producción de bioetanol se mantiene a los niveles del 2004. Los precios de otros cultivos también tienden a aumentar, aunque de manera menos dramática, 4% en el caso de cereales y hasta un 20% en el caso de aceites vegetales.<sup>24</sup>

Sin embargo, es importante señalar que los resultados del estudio OECD (2006) contrastan con las expectativas de OECD-FAO *Agricultural Outlook 2006-2015* (2006) en relación al precio del azúcar. De acuerdo a este último estudio, no se espera que los desarrollos en el mercado Brasileño de bioetanol, restrinjan significativamente la producción o la exportación de

---

<sup>22</sup> El “World Ethanol-Sugar model” es un modelo diseñado para analizar los efectos de las políticas públicas de etanol, energía y medio ambiente, de los principales países productores, sobre el mercado del etanol, así como también en los mercados nacionales y mundiales de azúcar.

<sup>23</sup> Es importante notar que desde que Brasil erradicó todas las medidas de intervención al mercado azucarero, a final de la década de los noventa, la única medida de control que el gobierno tiene sobre la industria azucarera es la determinación de la proporción de la mezcla de etanol-gasolina. Adicionalmente, de acuerdo a FAOSTAT Brasil es el principal productor mundial de caña de azúcar, 37% de la producción mundial en el 2004, por lo que un cambio en sus niveles de producción puede tener impactos en el mercado internacional.

<sup>24</sup> Esta estimación sólo considera el efecto “biocombustibles”. En efecto debido a una serie de otros factores (rápido aumento de demanda de commodities e.g., en países emergentes, problemas climáticos, que llevarán a disminución de stocks, etc.). Los precios de los cereales estarían, por ejemplo, entre 20 y 40% superiores en 2015 comparado con el promedio 1990-1999 (UE, 2007).

azúcar en el 2015.<sup>25</sup> Este resultado está más en línea con los resultados obtenidos en Koizumi (2003), donde los impactos en el precio del azúcar son relativamente bajos.

Por otra parte, el Agricultural Outlook (2006), coincide con los resultados de los estudios anteriores. Un aumento en la producción de biocombustibles, resultaría en una reducción de las exportaciones de cultivos energéticos ya que los países exportadores usarían parte de su excedente para la producción de biodiesel o bioetanol, lo que pudiera producir un aumento en el precio de esos cultivos.<sup>26</sup>

Los estudios anteriores muestran que la magnitud del impacto del aumento de la producción de biocombustibles en el mercado de los productos agrícolas es variable. Sin embargo, si bien la magnitud del impacto en precio varía entre los estudios, la dirección de los efectos es la misma. En base a los estudios anteriores se puede hacer una inferencia de los probables efectos que un aumento en la demanda por biocombustibles tendría en el precio de los productos agrícolas en América Latina:

- **Aumento en el precio de cultivos bioenergéticos:** El aumento en la producción de biocombustibles, aumenta la demanda por cultivos energéticos, lo que incrementa su precio. El incremento en precios incentiva la producción de dichos cultivos, sin embargo, el aumento en producción puede no ser suficiente para restablecer los precios originales, esto depende de las características del mercado de cada producto.
- **Aumento en el precio de cultivos tradicionales:** El aumento de la producción de cultivos bioenergéticos pudiera desplazar la producción de cultivos tradicionales. Esto implica una menor disponibilidad de tierra, en términos de cantidad y/o calidad, para cultivos tradicionales lo que puede resultar en una caída en la producción de dichos cultivos y por ende, un incremento en el precio.
- **Reducción del precio de productos derivados de la producción de biocombustibles:** El aumento en la producción de biocombustibles, aumenta la producción de los productos derivados de ese proceso (e.g. “torta” de soya) lo que genera un aumento en la oferta y por ende una reducción del precio del producto. Esta reducción ejerce una presión competitiva sobre los precios de los productos sustitutos lo que resulta en una reducción de los precios de estos.

La ganadería y la silvicultura no estarían exentas de ser afectadas por los biocombustibles. El efecto en el sector ganadero puede manifestarse a través de cambios en los precios del alimento para animales; mientras que el precio de los productos derivados del proceso de producción de biocombustibles (e.g. grano destilado o torta de soya) se reducen, otros como el del maíz aumentan, lo que resulta en cambios en los precios y la oferta de carne.<sup>27</sup> Por otro lado, el aumento de la demanda por biocombustibles puede llevar a una expansión de la tierra cultivable que resulte en una reducción en las áreas destinadas a la ganadería y silvicultura.

Por último, es importante señalar que un aumento generalizado en el precio de los cultivos puede tener impactos en la distribución del ingreso. En otras palabras, el aumento de los precios de los cultivos podría representar una transferencia de ingreso de los consumidores hacia

---

<sup>25</sup> Véase, OECD-FAO Agricultural Outlook (2006), pág. 22.

<sup>26</sup> Véase, OECD-FAO Agricultural Outlook (2006), p. 22.

<sup>27</sup> Este efecto es identificado en las proyecciones recientes del Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA). En su documento el precio de la carne de pollo y de puerco aumenta en comparación al precio de la carne de res dado que el ganado vacuno puede aprovechar más efectivamente el aumento en la oferta de grano destilado, un producto derivado de la producción de etanol, cuyo aumento de oferta reduciría su precio. En cambio, se espera que el precio del maíz, utilizado como alimento para pollos y cerdos tienda a aumentar. United States Department of Agriculture (2007), USDA Agricultural Projections to 2016, Washington D.C. February.

los productores y de las zonas urbanas hacia las rurales. Este efecto podría estar alineado con el objetivo de algunos países de fortalecer el ingreso de las zonas rurales. Pero este efecto habrá de depender de quines controlan las cadenas de valor en la producción de los alimentos y de los propios biocombustibles. Si se trata de los grupos económicos más concentrados y/o de las multinacionales que actúan en dichas cadenas productivas el efecto se trucidará en un incremento de las asimetrías sociales.

Respecto a los estudios anteriores, es necesario señalar que, con excepción del de OECD (2006), toman el aumento en la demanda por biocombustibles como exógeno y los costos de producción independientes de los precios del petróleo. El aumento del precio del petróleo tiene dos efectos, que operan en sentido opuesto, en los incentivos para producir biocombustibles:

- El aumento en el precio del petróleo aumenta los costos de producción de la agricultura lo que puede resultar en una contracción de la producción.<sup>28</sup>
- El incremento en el precio del petróleo genera incentivos para la producción de biocombustibles, lo cual estimula la demanda por cultivos energéticos.

El posible aumento y magnitud de la producción de biocombustibles depende de cuál de los dos efectos sea el dominante. Adicionalmente, la heterogeneidad con la que los precios del petróleo afectan los costos de producción agrícola altera los incentivos para la producción de cada uno de los cultivos energéticos, lo que a su vez puede tener impactos en la magnitud de los desplazamientos de otros cultivos y, por ende, en los precios de estos.

### **3.1.3 Vinculación entre los mercados de energía y los mercados agrícolas e impactos en los precios de los alimentos**

Estudios más recientes sobre el mercado mundial de biocombustibles (e.g. Meyers et al., 2007 y Tokgoz et al., 2007) aportan evidencia sobre la estrecha vinculación entre los mercados de energía y de productos agrícolas, como resultado de la expansión observada en la producción de biocombustibles.

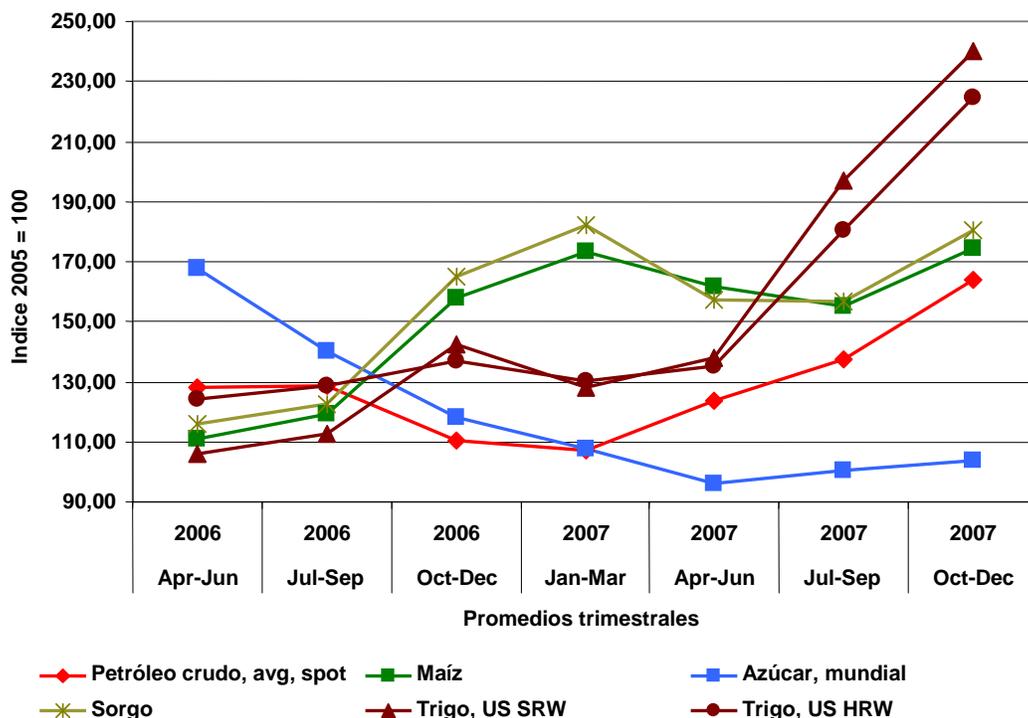
En uno de esos estudios, Meyers et al. (2007) destacan que el incremento en la producción de biocombustibles a partir de cultivos agrícolas tiene implicaciones que alcanzan a una amplia variedad de *commodities*. En particular, indican que la fuerte demanda por maíz para producir etanol se ha traducido en precios más elevados para dicho producto y para otros cereales en los mercados mundiales de *commodities*. De la misma manera, subrayan que el incremento en la demanda de aceite vegetal para convertirlo en biodiesel (especialmente en la Unión Europea) resultará en precios más elevados para los aceites vegetales y en un incremento en la oferta de derivados de la soya.

Los datos presentados en los gráficos 3.1 y 3.2 ilustran las conclusiones de Meyer et al. (2007). El gráfico 3.1 presenta la evolución en el precio del azúcar, del maíz y de otros granos sustitutos del maíz en la producción o el consumo. Con la excepción del azúcar, durante el período 2006-2007 la tendencia fue al alza. Y en el caso del azúcar, la tendencia a la baja presentada durante el 2006 se revirtió a partir del segundo trimestre del 2007.

---

<sup>28</sup> El efecto del incremento del precio del petróleo no es homogéneo ya que hay cultivos que son más intensivos en el uso de energía.

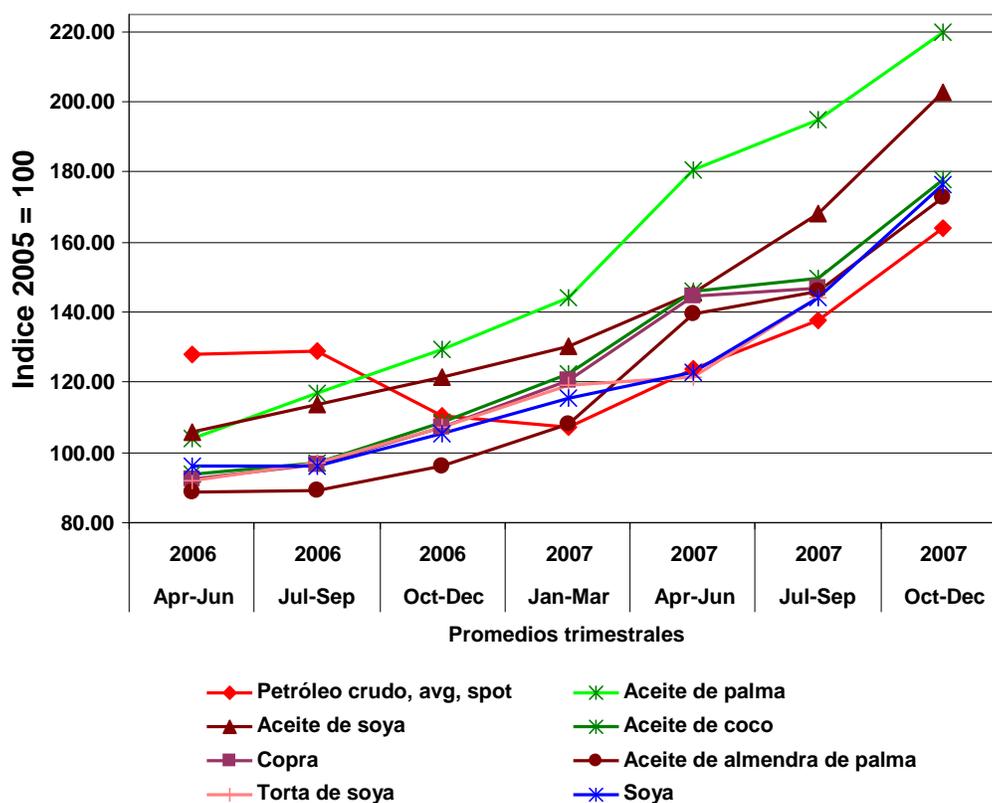
**GRÁFICO 3.1**  
**EVOLUCIÓN DE LOS PRECIOS DE ALGUNOS GRANOS Y DEL AZÚCAR**  
**(ÍNDICE 2005 = 100)**



Fuente: CEPAL, a partir de datos del Banco Mundial (<http://www.worldbank.org>) - Commodity Price Data (Pink Sheet).

El gráfico 3.2 presenta las tendencias en el precio de varios aceites vegetales y productos relacionados. En este caso la tendencia durante el 2006-2007 es claramente al alza: el precio de todos los aceites vegetales se ha incrementado de manera sostenida. Los incrementos más considerables se han presentado en los precios del aceite de palma y del aceite de soya, que se duplicaron entre el primer trimestre de 2006 y el cuarto trimestre de 2007. Más aún, el precio de todos los aceites vegetales se incrementó más que el precio del petróleo.

**GRÁFICO 3.2**  
**EVOLUCIÓN DE LOS PRECIOS DE ALGUNAS OLEAGINOSAS**  
**(ÍNDICE 2005 = 100)**



Fuente: CEPAL, a partir de datos del Banco Mundial (<http://www.worldbank.org>) - Commodity Price Data (Pink Sheet).

Meyers et al (2007) concluyen que el potencial de los biocombustibles, al menos durante la próxima década, es altamente dependiente de los precios del petróleo y de las políticas gubernamentales de apoyo. Y en lo relativo a los mercados agrícolas, concluyen que el incremento en la demanda de biocombustibles agrega una nueva fuente de volatilidad en los mercados de cereales y de aceites vegetales en particular y a los mercados de alimentos en general.

El estudio de Meyers et al. (2007) fue presentado en la reunión de mayo de 2007 del proyecto LINK sobre la economía Mundial.<sup>29</sup> En esa reunión se concluyó que “mientras es poco probable que los biocombustibles tengan un impacto significativo en los mercados de energía, ya están teniendo un impacto en los mercados de productos agrícolas” (United Nations, May 2007, p. 6).

Un tema relacionado es cómo el incremento en los precios internacionales de los productos agrícolas energéticos y cultivos relacionados se trasmite a los precios que enfrentan los consumidores a nivel nacional y local. Ese tipo de estudios no existen para ALC, con referencia

<sup>29</sup> El Proyecto LINK es una iniciativa co-operativa y no gubernamental de investigación internacional, coordinada por la División para las Políticas y el Análisis del Desarrollo de las Naciones Unidas. El Proyecto integra modelos econométricos nacionales desarrollados de manera independiente en un modelo global de la economía mundial (<http://www.un.org/esa/policy/link/>).

al incremento en la producción de biocombustibles. Para ilustrar el tipo de impactos posibles, en el Cuadro 4 se presentan resultados de un estudio para los Estados Unidos de América. (Takgoz et al., 2007).

**TABLA 3.3**  
**CAMBIO PORCENTUALES EN LOS PRECIOS DE LOS ALIMENTOS ENTRE DISTINTOS**  
**ESCENARIO DE DESARROLLO DE LA PRODUCCIÓN DE BIOCOMBUSTIBLES Y DE**  
**PRECIOS DEL PETRÓLEO EN LOS ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA**

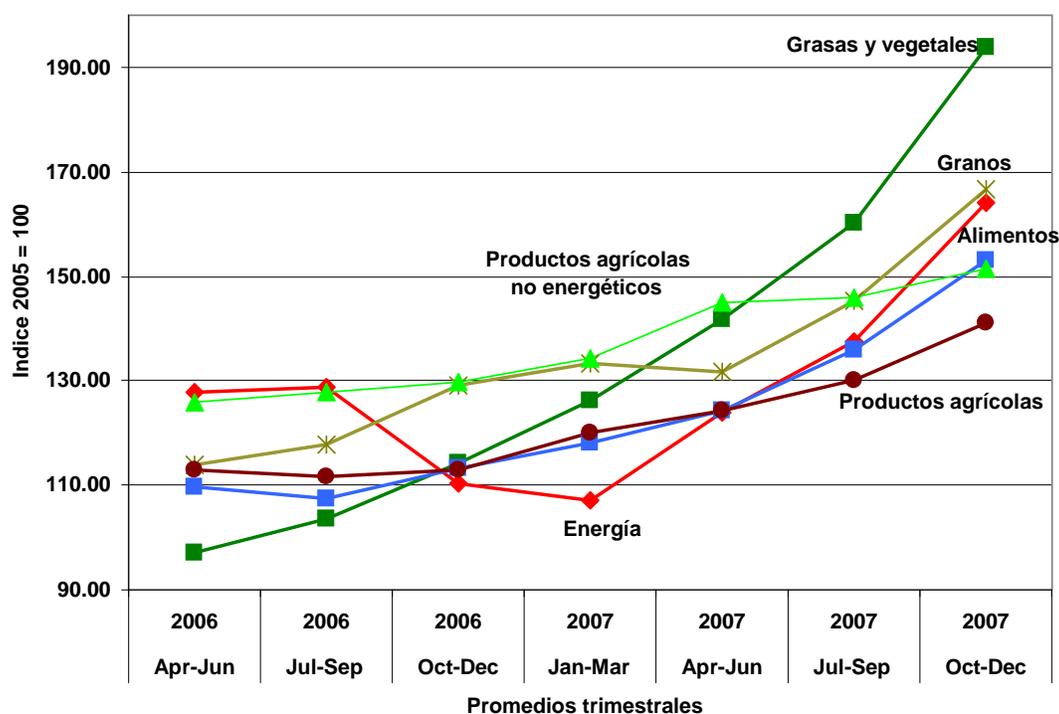
Alimentos	Cambio porcentual	
	Escenario base vs. escenario de desarrollo del etanol en un contexto de altos precio del petróleo	Escenario sin etanol vs. escenario de desarrollo del etanol en un contexto de altos precio del petróleo
Todos los alimentos	1,1	1,8
Comidas en casa	1,3	2,2
Cereales y panes	0,7	1,2
Carnes	3,8	6,3
Carne de vacuno	4,1	6,8
Carne de cerdo	4,5	7,5
Carne de aves	5,1	8,5
Huevos	8,1	13,5
Pescado	0,0	0,0
Productos lácteos	2,1	3,5
Leche	2,7	4,5
Queso	2,3	3,8
Helados	0,8	1,3
Frutas y vegetales	0,0	0,0
Otros alimentos en casa	0,3	0,5
Azúcar y similares	1,4	2,3
Grasas y aceites	1,0	1,7
Otras comidas preparadas	0,0	0,0
Bebidas no alcohólicas	0,7	1,2
Comida fuera de la casa	0,9	1,5

Fuente: Takgoz et al., 2007 (p. 25).

Los datos indican que los efectos en los precios que enfrentan los consumidores podrían ser importantes. En particular, destacan los incrementos en los precios de las carnes, productos avícolas y productos lácteos, fuentes importantes de proteínas y de grasas animales, para cuya obtención el maíz es un insumo importante. Aunque los datos se refieren a los EEUU, los autores destacan que “dado que los precios mundiales de los alimentos para animales siguen de cerca los precios en los Estados Unidos, los consumidores en el resto del mundo también enfrentarán mayores precios de los alimentos” (Takgoz, et al., 2007, p. 26). Cuánto mayores serán esos precios es un asunto empírico, que depende de las estructuras de mercado y de la naturaleza y magnitud de las barreras arancelarias y no arancelarias que afectan el comercio agroalimentario regional y mundial, entre otros factores.

El Gráfico 3.3 presenta una aproximación indirecta sobre la relación entre el precio de los productos agrícolas energéticos y el precio de los alimentos, con datos del Banco Mundial para países de ingresos medios y bajos durante el período 2006-2007. Los mayores incrementos se han presentado en los precios de las grasas vegetales (i.e. relacionados con la producción de biodiesel) y de los granos (i.e. relacionado con la producción de etanol en los Estados Unidos). Estos dos rubros se han incrementado más que el agregado del precio de los alimentos y de la energía. Además, el precio de los alimentos se ha incrementado más que el precio del agregado de productos agrícolas y de productos agrícolas no energéticos, lo que sugiere que a influencia del incremento de los productos energéticos en el incremento del precio de los alimentos puede ser importante.

**GRÁFICO 3.3**  
**EVOLUCIÓN DE LOS PRECIOS DE LA ENERGÍA, PRODUCTOS AGRÍCOLAS Y GRUPOS DE ALIMENTOS EN PAÍSES DE INGRESOS MEDIOS Y BAJOS (ÍNDICE 2005 = 100)**



Fuente: CEPAL, a partir de datos del Banco Mundial (<http://www.worldbank.org>) - Commodity Price Data (Pink Sheet).

El análisis del impacto en los precios al consumidor requiere de estudios más detallados, que consideren los hábitos de consumo de la población y el peso de los alimentos derivados de cultivos energéticos en la estructura de gastos (e.g. según se reflejan en las canastas de bienes utilizadas para calcular los índices de precios al consumidor), así como políticas públicas y factores relativos a la estructura y comportamiento de los mercados agroalimentarios que afectan la dinámica de transmisión de precios. También es muy importante establecer cuánto de los cambios se deben al incremento en la producción de biocombustibles y cuánto a otros factores, como la demanda creciente de alimentos en economías asiáticas emergentes, especialmente China e India.

### 3.2 Impactos en el empleo agrícola

El aumento de la producción de biocombustibles acrecienta la demanda por cultivos energéticos y ésta, a su vez, podría incrementar la demanda por algunos factores de producción, entre ellos la mano de obra. En algunos países, la producción de biocombustibles es vista como una posibilidad de nuevas fuentes de ingresos y de más y mejores empleos, especialmente en áreas rurales donde la proporción de la población que vive bajo las líneas de pobreza e indigencia es mayor que en las áreas urbanas.

Sin embargo, los efectos de los biocombustibles en el empleo agrícola están lejos de ser claros. El efecto en la calidad o generación de empleo, en términos de dirección o magnitud, depende de varios factores, entre ellos el tipo de cultivo energético, la dotación de factores de la región,<sup>30</sup> la capitalización del agricultor, condiciones edafoclimáticas, la disponibilidad de paquetes tecnológicos y la estructura de tenencia de la tierra.

Los biocombustibles han generado grandes expectativas sobre su potencial para generar empleos. Existen una serie de estimaciones muy optimistas, tanto para el sector industrial como para el sector agrícola. La Tabla 3.4 muestra algunas de estas estimaciones.

**TABLA 3.4**  
**NUEVOS EMPLEOS ESTIMADOS EN LA INDUSTRIA DEL BIOETANOL**

<b>País</b>	<b>Empleos estimados</b>	
Estados Unidos	150 000	200 000
Brasil		500 000
Unión Europea	45 000	75 000
Francia		25 000
Colombia		170 000
Rep. Bol. de Venezuela		1 000 000
China		900 000
África Sub-sahariana	700 000	1 100 000

Fuente: Pfaumann, 2006.

El cálculo de promedios de jornales por hectárea a nivel de cultivo y de país es difícil de realizar ya que existe una gran heterogeneidad en el uso de la mano de obra por cultivo, por microregión y por tipo de productor. En términos generales, el algodón, la caña de azúcar, la yuca, el ricino y la remolacha azucarera, suelen ser más intensivos en mano de obra que la soja, el maíz, el trigo y el girasol.

Se espera, por ejemplo, que el uso del aceite de ricino para biodiesel cree miles de empleos en el Sertao de Brasil. Para este propósito el Gobierno otorga incentivos fiscales a las empresas de biodiesel que adquieran más del 50% de su materia prima de agricultores familiares.<sup>31</sup>

<sup>30</sup> Ver entre otros Hayami y Ruttan (1985) por un abordaje teórico respecto al cambio tecnológico en la agricultura, donde el desarrollo y la aplicación de nuevas tecnologías son endógenas al sistema económico. Por consiguiente, la dirección del cambio tecnológico es inducido por diferencias (o cambios) en la dotación relativa de factores y precios relativos y CEPAL (2007) para un abordaje específico para América Latina en la última década y media.

<sup>31</sup> Arnoldo Campos, Ministerio de Desarrollo Agrario, Brasil, “Biodiesel, Combustible Social”, presentación realizada en FAO en la FAO/Oficina Regional para América Latina y el Caribe, Marzo 2007.

Por otra parte, se sabe que la mayor creación de empleo en el azúcar se da en la etapa de corte de caña, un trabajo que cuando se realiza a mano es de mala calidad, pues demanda mucho esfuerzo físico y se está altamente expuesto a contaminantes (por la quema de la caña que la precede),<sup>32</sup> además de ser mal pagado. La sustitución del corte a machete por maquinaria está avanzando rápidamente, lo que reducirá fuertemente la necesidad de mano de obra en la producción primaria del azúcar. En el caso de Brasil un factor importante para ese avance es la entrada en vigencia de una Ley (del año 2000) que prohíbe la quema a partir de 2008 en gran parte de las regiones cañeras del país.

La producción de biodiesel parece tener menos problemas colaterales sobre el empleo que la producción de bioetanol de caña de azúcar. Las semillas de algunas plantas todavía tienen que ser cosechadas a mano y el proceso de transformación puede ser organizado a pequeña escala. Además, algunos de estos cultivos necesitan relativamente poca inversión y pueden ser de especial interés para la producción y el consumo en áreas rurales pobres. Por ejemplo, India, en su programa de fomento de biodiesel se enfoca en plantas para áreas degradadas con un alto grado de empleo rural (*Jatropha*).

El nuevo programa de Brasil para biodiesel se concentra en aceite de ricino (castor oil) y palma africana, con la expectativa de generar 400.000 empleos en el norte y nordeste del país. Para mantener el foco en el alivio de pobreza, el gobierno incentiva que los productores de biodiesel compren una parte (50% o más) de su materia prima de los pequeños productores. Sin embargo, para que estos programas tengan éxito necesitan apoyo del gobierno durante algún tiempo, entre otros en capacitación, asistencia técnica, crédito, infraestructura, negociación de contratos, absorción de los costos de transacción.

Al igual que en la agricultura, el procesamiento de los biocombustibles en empresas ubicadas en áreas rurales puede contribuir a la generación de empleo y a aumentar el valor de la materia prima antes de salir del área rural. En general, los empleos en estas plantas son mejor remunerados y necesitan una mejor formación que en la agricultura.

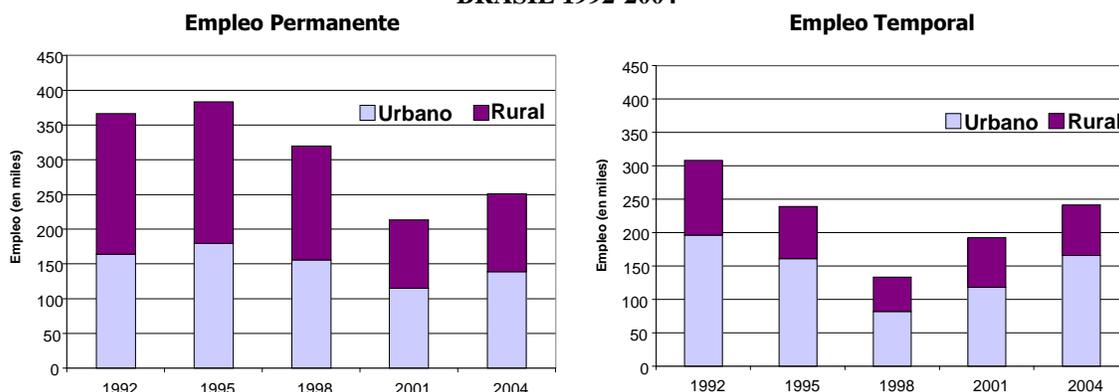
Adicionalmente, a estos potenciales efectos directos, se espera que la industria de biocombustibles tenga otros beneficios para las áreas rurales: inversiones relacionadas con la construcción y el mantenimiento de las plantas de transformación, servicios de transporte hacia y desde las fábricas y los gastos de consumo de los empleados de las plantas efectuados en la localidad en donde están establecidas.<sup>33</sup> La pregunta es si los puestos de trabajo generados serán ocupados por población rural o urbana.

Para efectos ilustrativos y en vista de la importancia de Brasil como productor de caña y de bioetanol, a continuación se muestra la evolución del empleo en la caña de azúcar. El Gráfico 3.4 muestra una tendencia importante. El número de personas ocupadas en el cultivo de la caña de azúcar en Brasil se ha reducido. La tendencia es clara tanto para los empleos permanentes como los temporales. Entre 1992 y 2004 el empleo total permanente cayó de 366.848 a 251.480, mientras que el empleo temporal cayó de 307.956 a 241.682. El porcentaje de empleados provenientes de zonas rurales en función del empleo total también se ha reducido, esto es más evidente en la composición del empleo permanente. En 1992 el 55% de los empleados permanentes del cultivo de caña provenían de zonas rurales. En el 2004 este porcentaje se redujo a 45%. En el caso del empleo temporal ésta proporción se redujo de 36% en 1992 a 31% en el 2004. En el periodo analizado la participación de las zonas rurales en el empleo de la caña de azúcar se ha reducido en términos absolutos y relativos.

<sup>32</sup> La quema se realiza antes de la cosecha para eliminar pestes y remover las malezas. Esto permite el movimiento más fácil y seguro a través de los cañaverales, pero produce cantidades importantes de gases de efecto invernadero, ceniza, y otras partículas en el aire.

<sup>33</sup> Otro posible efecto positivo puede ser el biocombustible como tal para cubrir las necesidades energéticas del área rural. Especialmente para zonas que son sensibles a la interrupción del suministro de combustibles de petróleo, los biocombustibles pueden ser una alternativa interesante, no solamente para el transporte, sino también para otras demandas de energía (como para cocinar). La posibilidad de establecer plantas de transformación a escala pequeña y en manos de los productores locales podría significar otra contribución de los programas de biocombustibles al desarrollo rural y a la reducción de la pobreza rural.

**GRÁFICO 3.4**  
**PERSONAS OCUPADAS, PERMANENTES Y TEMPORALES, EN EL CULTIVO DE CAÑA EN BRASIL 1992-2004**



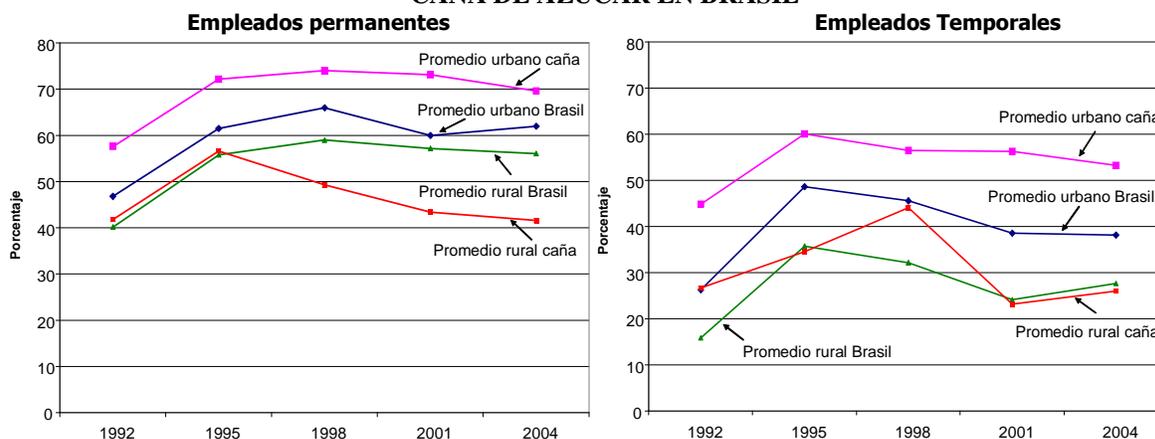
Fuente: Elaboración propia basado en Balsadi (2006), p98, sobre la base de los microdatos del Pnad (Encuesta de hogares).

En lo que respecta a salarios, el Gráfico 3.5 muestra la evolución del porcentaje de empleados en el cultivo de la caña de azúcar que reciben más de un salario mínimo al mes.

El Gráfico 3.5 muestra que en el caso del empleo permanente en la caña, el porcentaje de empleados urbanos que reciben un salario mayor al mínimo al mes es superior al porcentaje para los empleados rurales y está por arriba del promedio de salarios agrícolas para las zonas urbanas. En el caso de los empleados rurales en la caña, el promedio de empleados que recibe más de un salario mínimo está por debajo de la media rural. Sin embargo, desde el año 98 la masa salarial asociada a los empleos permanentes en la caña, va en descenso.

En el Gráfico 3.5 también es evidente que el porcentaje de empleados que recibe más de un salario mínimo al mes, para todas las categorías, es más bajo para los empleados temporales. En el 2004 esta cifra para el empleo permanente era de 69,6% para zonas urbanas y 41,6% para zonas rurales. En el caso del empleo temporal las cifras bajan a un 53,3% para zonas urbanas y 26% para las rurales.

**GRÁFICO 3.5**  
**EVOLUCIÓN DEL PORCENTAJE DE EMPLEADOS AGRÍCOLAS QUE RECIBEN MÁS DE UN SALARIO MÍNIMO AL MES, POR TIPO DE EMPLEO PARA LA CAÑA DE AZÚCAR EN BRASIL**



Fuente: Elaboración propia basado en Balsadi (2006), p98, sobre la base de los microdatos del Pnad (Encuesta de hogares).

Existe una gran expectativa en los biocombustibles como una potencial fuente adicional de empleo, especialmente en las zonas rurales. Pero los datos presentados, en los Gráficos 3.4 y 3.5, para la caña de azúcar, la principal fuente de bioetanol de Brasil, muestran que las expectativas puestas en los biocombustibles podrían ser muy optimistas. La participación del empleo rural en el cultivo de la caña de azúcar ha decrecido, tiene los niveles salariales más bajos, y los empleados temporales son los más desfavorecidos.

Por otro lado, la experiencia en Brasil mostraría que ha habido mejoras en la calidad de los empleos, tanto permanentes como temporales, en las actividades ligadas a los *commodities* de exportación, entre ellos la caña de azúcar, mientras la calidad de los empleos en los productos tradicionales volcados al mercado interno habría desmejorado o progresado menos que los demás (Balsadi, 2006).

En 2004, de un índice de calidad de empleo (construido a partir de 3 dimensiones: el grado de formalidad, los ingresos o salarios percibidos, y los beneficios adicionales recibidos por los asalariados<sup>34</sup> que fluctúa entre 64,8 para el empleo permanente urbano en la soja hasta 16,6 para el empleo temporal rural en yuca, el empleo en la caña arrojó los siguiente valores: 58,4 para el empleo permanente de residentes urbanos; 47,5 para el empleo temporal de residentes urbanos; 42,7 para el empleo permanente rural y 33,0 para el empleo temporal rural. (Balsadi, 2006)

### 3.3 Impactos en la estructura agraria

Una de las expectativas puestas sobre los biocombustibles es el potencial de estos como fuente de ingresos para los pequeños agricultores. Por ende, es importante analizar la estructura agraria actual y el impacto que los biocombustibles puedan tener en esta. Esta sección presenta una descripción de la estructura agraria, de algunos cultivos energéticos, para ciertos países de la región.

La Tabla 3.5 muestra, por país, la distribución de los tamaños de explotación para ocho de los cultivos energéticos.

**TABLA 3.5**  
**TAMAÑO DE EXPLOTACIÓN Y CULTIVO ENERGÉTICO**  
(Porcentaje de superficie)

	Caña de azúcar	Maíz	Trigo	Palma aceitera	Girasol	Raps	Remolacha	Soya
<b>Chile</b>								
0 a 5 has	-	7,8	5,2	-	3,9	0,2	4,4	0,0
5 a 20 has	-	23,5	18,0	-	17,2	1,1	24,4	0,3
20 a 200 has	-	46,6	40,0	-	62,2	17,8	48,9	91,6
Más de 200	-	22,2	36,8	-	16,7	81,0	22,3	8,0
Total	-	100	100	-	100	100	100	100
<b>Brasil</b>								
0 a 5 has	0,8	9	1	7	3	1		0
5 a 20 has	3,8	19	11	19	16	28		7
20 a 200 has	20,2	38	52	47	34	40		29
Más de 200	75,2	33	36	27	48	31		64
Total	100	100	100	100	100	100		100

<sup>34</sup> Pago de contribuciones sociales, transporte, alimentación, pagos en especie, etc..

**TABLA 3.5 (CONCLUSIÓN)**  
**TAMAÑO DE EXPLOTACIÓN Y CULTIVO ENERGÉTICO**  
*(Porcentaje de superficie)*

	Caña de azúcar	Maíz	Trigo	Palma aceitera	Girasol	Raps	Remolacha	Soya
<b>Ecuador</b>								
0 a 5 has	46,8	92,8	64,1	2,0	-	-	92,5	21,5
5 a 20 has	33,4	6,1	27,3	4,4	-	-	5,2	28,5
20 a 200 has	16,7	1,1	6,4	69,6	-	-	2,0	27,8
Más de 200	3,1	0,0	2,2	23,9	-	-	0,3	22,3
Total	100	100	100	100			100	100
<b>Nicaragua</b>								
0 a 5 has	0,4	6,7	-	0,0	-	-	15,2	2,0
5 a 20 has	2,4	21,5	-	0,1	-	-	43,1	18,9
20 a 200 has	17,1	57,1	-	1,2	-	-	34,0	40,8
Más de 200	80,2	14,8	-	98,7	-	-	7,6	38,3
Total	100	100	-	100	-	-	100	100
<b>Panamá</b>								
0 a 5 has	5,5	25,0	-	-	-	-	-	-
5 a 20 has	13,4	25,4	-	-	-	-	-	-
20 a 200 has	21,8	43,4	-	-	-	-	-	-
Más de 200	59,4	6,2	-	-	-	-	-	-
Total	100	100	-	-	-	-	-	-
<b>Perú</b>								
0 a 5 has	70,4	71,1	72,8	-	-	-	-	-
5 a 20 has	18,3	19,4	18,7	-	-	-	-	-
20 a 200 has	6,8	6,8	6,0	-	-	-	-	-
Más de 200	4,6	2,7	2,4	-	-	-	-	-
Total	100	100	100	-	-	-	-	-
<b>Uruguay</b>								
0 a 5 has	0,5	0,5	0,0	-	0,0	-	-	0,0
5 a 20 has	8,2	5,5	0,2	-	0,1	-	-	0,1
20 a 200 has	53,1	23,4	8,0	-	3,9	-	-	1,6
Más de 200	38,2	70,7	91,8	-	96,0	-	-	98,3
Total	100	100	100	-	100	-	-	100

Fuente: Unidad de Desarrollo Agrícola sobre la base de censos agropecuarios nacionales: Chile (1997), Brasil (1996-1997), Ecuador (2001), Nicaragua (2000), Panamá (2001), Perú (1994), Uruguay (2000).

Nota: Los países incluidos son sólo aquellos para los cuales se disponía de información censal a nivel de microdatos.

La distribución actual de la superficie destinada a cultivos energéticos, según el tamaño de sus explotaciones, varía dependiendo de la dotación de tierra (i.e. si los países tienen abundancia o no en este recurso), y en general de los procesos históricos a partir de los cuales se han conformado los patrones actuales de uso y tenencia de la tierra. En los países con abundante dotación de tierras (más de 12 has/trabajador agrícola ocupado)<sup>35</sup> o en donde la tenencia de ésta es

<sup>35</sup> El criterio seguido para la clasificación de países en base a su dotación de factores es la usada en CEPAL, División de Desarrollo Productivo y Empresarial (2007), "Desarrollo Productivo y Cambio Estructural en América Latina: Una Mirada de Largo Plazo". En imprenta.

muy concentrada predominan los cultivos en explotaciones de mayor tamaño, como en los casos de Argentina, Uruguay, Brasil, Chile y Nicaragua, entre otros. Esto implica menor número relativo de productores, menores costos de transacción y menores problemas logísticos.

Por el contrario, en los países con menor dotación de tierras o su tenencia es menos concentrada, claramente predominan las explotaciones de menor tamaño, como en los casos de Ecuador, Perú y Panamá. En ellos la oportunidad de los cultivos para biocombustibles pasa por la asociatividad de los diversos agentes, teniendo presente que existirá un mayor número de productores por cultivo, mayores costos de transacción y una tendencia a menores niveles tecnológicos y menor capacitación. Lo anterior implica una menor eficiencia en comparación a estructuras de mercado más concentradas, lo cual da una ventaja competitiva a las explotaciones de mayor tamaño en detrimento de los pequeños productores.

La Tabla 3.4 también muestra las diferencias de un cultivo a otro. Los datos indican una tendencia interesante: la palma aceitera y, en menor medida, la soya y la caña de azúcar, tienden a ser plantadas en grandes extensiones. Esto muestra que la producción de algunos cultivos energéticos importantes no la realizan pequeños productores; tampoco hay razones claras para suponer que la participación de estos aumentaría con el aumento de demanda de biocombustibles, excepto si va acompañado de fuertes políticas de subsidios u otros incentivos.

Actualmente existe una gran presión sobre los precios de los biocombustibles para hacerlos competitivos frente a los combustibles fósiles, la cual se extiende a los costos de producción de los insumos agrícolas, los cuales suelen representar entre 70-80% del costo total del biocombustible. Dicha presión puede favorecer la producción de las grandes explotaciones. Más aún, en un taller sobre el impacto de los biocombustibles en la estructura agraria de América Latina, un grupo de expertos de la región coincidió que, en la ausencia de políticas complementarias, los programas de biocombustibles tenderá a aumentar la concentración de la producción y la tenencia de la tierra, alejando cada vez más a los pequeños productores agrícolas de los posibles beneficios de los biocombustibles.<sup>36</sup>

---

<sup>36</sup> Para una discusión más en detalle sobre este argumento, véase, Razo et al. (2007), Biocombustibles y su impacto potencial en la estructura agraria, precios y empleo en América Latina”. Serie Desarrollo Productivo N° 178, CEPAL, Santiago. Pp. 16-23.

## Capítulo 4: Costos de producción

### 4.1 Introducción a la problemática

Cualquier programa a gran escala para promover la producción y uso de biocombustibles supone un importante esfuerzo económico y financiero que, en última instancia, debe redundar en una mejora en el bienestar de los ciudadanos, las empresas y la sociedad en su conjunto.

Gran parte de las medidas que el sector público debe impulsar para incentivar la producción y uso de estos combustibles alternativos dependerá, en última instancia, de la voluntad de un amplio número de agentes sociales concretos (empresas y consumidores finales), para quienes debe resultar atractivo adelantar las inversiones y los gastos necesarios para conseguir los objetivos propuestos; dicho de otro modo, cada uno de esos agentes sociales (agricultores, transportistas, productores de biocombustibles, usuarios finales de los mismos), ha de encontrar en el conjunto de medidas adoptadas para conseguir el objetivo propuesto (la sustitución de combustibles derivados del petróleo por biocombustibles), los incentivos suficientes para jugar el papel que le corresponde en este complejo engranaje.

En primer lugar, el análisis de rentabilidad privada tiene como objetivo establecer la racionalidad de una decisión o de un conjunto de decisiones de gasto, cuando los costos de oportunidad microeconómicos y los beneficios asociados a dichas alternativas se valoran en función de los precios del mercado.

En segundo lugar, este análisis es imprescindible para evaluar la racionalidad privada de cada una de las decisiones de inversión de los distintos agentes individuales, para examinar desde la perspectiva de las políticas públicas la necesidad o conveniencia de intervenir para direccionar tales decisiones.

Es importante enfatizar sobre el hecho de que un esfuerzo público para impulsar la producción y uso de biocombustibles se justifica, esencialmente, por la necesidad de superar un conjunto de barreras que limitan o retrasan la inversión en este ámbito. Si dichos obstáculos no existiesen, el mercado permitiría, de modo espontáneo, la penetración de estos biocombustibles.

Bajo la perspectiva de evaluación global o social,<sup>37</sup> que trasciende el marco estrictamente privado, se analiza la capacidad de los programas de promoción de la producción y uso de biocombustibles para conducir a una mejora neta en el bienestar social; es decir, si se justifica destinar a ella los recursos necesarios que tienen, sin duda, un coste de oportunidad para la sociedad.

Por citar un ejemplo, ¿qué incentivos podría tener un productor de azúcar en Guyana para dedicarse a la producción de bioetanol sabiendo que ésta le supondrá una inversión adicional? ¿Y un productor de aceite de colza en Chile para invertir en la obtención de biodiesel? La respuesta parece sencilla: desde la perspectiva privada, dichas decisiones de inversión habrán de ofrecer una rentabilidad privada no sólo positiva sino superior a la que se obtendría en la mejor de las alternativas factibles. Esa rentabilidad privada positiva dependerá tanto de las propias condiciones del mercado, como de eventuales apoyos del sector público.

## 4.2 Componentes principales de los costos de producción de biocombustibles

Los costos principales del proceso de producción son el costo de la materia prima y el costo del proceso industrial. Es necesario considerar también los subproductos que se generan en el proceso industrial, cuyos ingresos reducen el costo neto de producción de los biocombustibles. El otro componente de los costos es el costo del capital.

Como se observará en este capítulo, con la excepción del bioetanol obtenido a partir de caña de azúcar (y, esencialmente, en Brasil), los biocombustibles tradicionales o disponibles a corto plazo presentan una serie de desventajas relacionadas fundamentalmente con el costo de la materia prima. De modo general, el costo del biodiesel obtenido a partir de aceite refinado de colza o el bioetanol de cereales o remolacha, es más alto que el de la gasolina o el diesel. Es decir, con los precios actuales de producción de combustibles fósiles y los costos de producción de los biocombustibles, a corto plazo parece imprescindible un subsidio u otro tipo de ayuda fiscal para garantizar su competitividad en el mercado.

Los problemas de competitividad frente a los derivados del petróleo son básicamente el resultado del bajo rendimiento energético de la mayor parte de los cultivos (100-200 GJ<sup>38</sup>/hectárea/año, a largo plazo) y la alta calidad (y, consecuentemente, el alto valor) de la tierra agrícola necesaria.

Por otro lado, los cultivos destinados a la obtención de biocombustibles pueden producirse en tierras menos valiosas. En comparación con el azúcar, el almidón y los cultivos oleaginosos, la aplicación de biomasa lignocelulósica (madera o herbáceas), parece mucho más favorable y proporciona mejores perspectivas para los biocombustibles. El objetivo de este capítulo, no obstante, es analizar estas cuestiones sobre costos (privados) unitarios de producción de biocombustibles y de los combustibles derivados del petróleo, a partir de la información disponible en el momento de redactar este trabajo.

Los ingresos por subproductos juegan un papel clave en la rentabilidad privada. El costo neto de la materia prima por unidad de bioetanol es equivalente al valor total de la materia prima (a precios de mercado) menos el valor de los subproductos obtenidos en su producción, en relación al total de litros de bioetanol producidos por unidad de biomasa. Los subproductos del proceso de conversión de maíz en bioetanol son los granos secos destilados (DDGS, según sus siglas en inglés) y CO<sub>2</sub>, en el proceso de molienda en seco, y forraje y alimentos para humanos

<sup>37</sup> Este tema se retoma en el apartado 4.7

<sup>38</sup> GigaJoule (GJ) = mil millones de Joule

con contenido en gluten, aceite de maíz e igualmente CO<sub>2</sub> para el proceso de molienda en húmedo. Se producen en torno a 0,71 kg de DDGS (DDGS con un 13% de humedad) por litro de bioetanol en el proceso de molienda en seco. En el proceso de molienda en húmedo, por cada litro de bioetanol se producen 0,59 kg de forraje de gluten de maíz, 0,11 kg de alimentos con gluten y 0,07 kg de aceite de maíz.

En el caso de los subproductos del proceso de producción de bioetanol a partir de caña, es posible obtener bagazo, vinazas y dióxido de carbono. En las plantas modernas de producción de bioetanol de caña, el bagazo se emplea para la producción de vapor y electricidad. La vinaza es el líquido residual que queda una vez el alcohol ha sido retirado y contiene nutrientes tales como nitrógeno, potasio, fósforo, sacarosa y levaduras, que pueden emplearse en tierras de cultivo como fertilizantes.

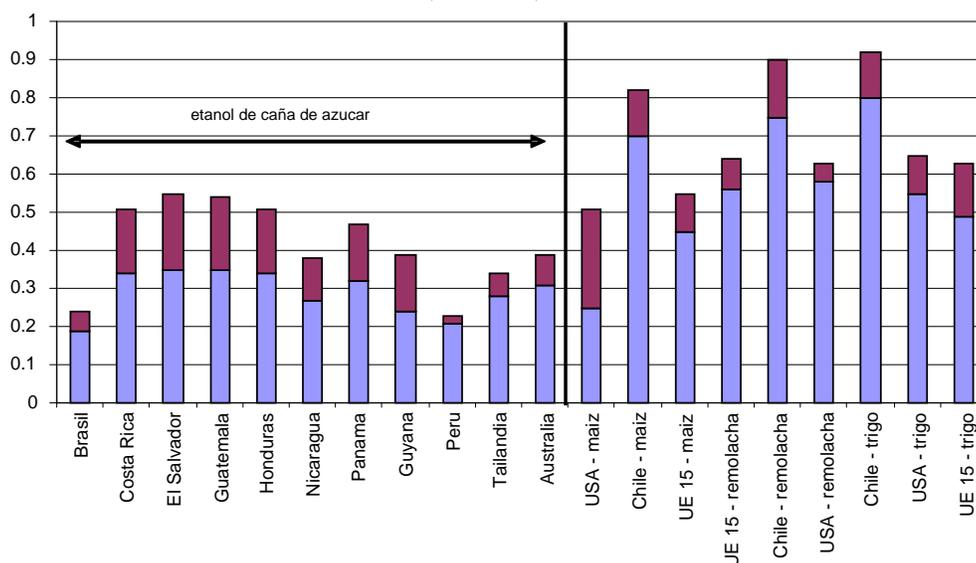
La pulpa de remolacha, seca y húmeda, se vende como forraje. Los subproductos del proceso de producción de bioetanol a partir de azúcar sin refinar, azúcar refinado y melazas, son el dióxido de carbono y las vinazas, que contienen levaduras y azúcar.

En el caso del biodiesel, los principales subproductos son la glicerina, ácidos grasos y fertilizantes a base de potasio y fósforo.

### 4.3 Costos de producción de bioetanol

La ventaja en costos del bioetanol producido a partir de caña de azúcar es de carácter general, como se puede ver en el Gráfico 4.1, que muestra datos de diferentes países. La parte superior y más oscura de las barras se refiere al rango de costos (mínimo y máximo) de producción del bioetanol en el país específico.

**GRÁFICO 4.1:**  
**COSTOS DE PRODUCCIÓN DE BIOETANOL: COMPARACIÓN VARIOS PAÍSES**  
(US\$/litro)



Fuente: Elaborado por CEPAL sobre la base de diferentes estudios.

Brasil, no obstante mantiene su liderazgo. Las producciones de bioetanol a partir de maíz, remolacha y trigo presentan costos que duplican e incluso cuadruplican los costos de producción en Brasil según datos de Datagro en Furtado (2005).

Los datos de USDA (2006) confirman esta ventaja del bioetanol producido a partir de caña de azúcar en Brasil frente al bioetanol producido a partir de maíz en EE.UU. El costo total unitario de producción de bioetanol derivado de la caña de azúcar, en relación con el bioetanol de maíz en EE.UU., en su versión más competitiva (un 28% menos costoso), se explica fundamentalmente por el costo de la materia prima (0,08 US\$/l en Brasil frente a 0,106 US\$/l en EE.UU.).

En cualquier caso, hay mucha distancia entre los datos del bioetanol producido en ambos países y el de bioetanol a partir de remolacha azucarera en la UE (0,765 US\$/l), un 357% más alto que el costo de producir un litro de bioetanol en Brasil (ver Tabla 4.1).

**TABLA 4.1**  
**SÍNTESIS DE ESTIMACIONES DE COSTOS DE PRODUCCIÓN DE BIOETANOL,**  
**EXCLUYENDO COSTOS DE CAPITAL**  
(US\$/l)

	Costo materia prima	Costo de proceso	Costo total	Costo total en gasolina equivalente*
EE.UU. Maíz (molienda húmeda)	0,106	0,167	0,273	0,407
EE.UU. Maíz (molienda seca)	0,140	0,137	0,277	0,413
EE.UU. caña de azúcar	0,391	0,243	0,634	0,946
EE.UU. remolacha	0,418	0,204	0,622	0,928
EE.UU. melaza	0,241	0,095	0,336	0,501
EE.UU. azúcar sin refinar	0,825	0,095	0,920	1,373
EE.UU. azúcar refinada	0,955	0,095	1,050	1,567
Brasil, caña de azúcar	0,079	0,135	0,214	0,319
Unión Europea, remolacha	0,257	0,214	0,765	1,142

Fuente: USDA (2006).

\* utilizando un factor de 1 litro bioetanol = 0,67 litros gasolina (agregación propia).

Notas:

- (a) Sobre materias primas de EE.UU: los costos del maíz son netos (es decir, excluyendo los ingresos por subproductos), mientras que los de la caña de azúcar y la remolacha son brutos.
- (b) Excluye los costos de transporte.
- (c) Valor medio de estimaciones publicadas. Excluye los costos de capital.

El costo de materia prima es un componente determinante en el costo total de producción de bioetanol. A partir de los datos de USDA (2006) puede observarse que oscilan entre valores menores del 40% (33,59% en la UE; 36,92% en Brasil; 38,83% en EE.UU., a partir de maíz, en molienda húmeda), a valores próximos al 90% (89,67% en EE.UU., a partir de azúcar refinada; 89,67% en EE.UU. a partir de azúcar sin refinar), pasando por valores intermedios: 50,54% (EE.UU., a partir de maíz en molienda húmeda), 61,67% (EE.UU., caña), 67,2% (EE.UU., remolacha) y 71,73% (EE.UU., melaza).

Otros estudios,<sup>39</sup> indican costos de producción todavía más bajos para Brasil. Los costos de producción de bioetanol de maíz en EE.UU. se acercan a los de Brasil gracias a subsidios federales y estatales.

En el caso de bioetanol de maíz de EE.UU. los ingresos por subproductos (en este caso DDGS) representan un 17% del costo total de producción, porcentaje similar al obtenido por OCDE (2006b) también para bioetanol de maíz (19,6%).

Una investigación de IEA del año 2000 de grandes plantas de producción de bioetanol a partir de maíz incrementa este valor de ingresos por subproductos (también DDGS) hasta un 27,5% del costo de producción (IEA, 2004). Los costes del suministro energético (gas natural y

<sup>39</sup> NAE (2005) a partir de datos de F.O. Licht (2003).

electricidad), constituían algo más del 45% del coste de transformación industrial en el periodo 2003-2005 (IEA, 2004).

En el caso del bioetanol a partir de caña o remolacha, los créditos de los subproductos (es decir, valores a descontar de los costes producción, en tanto que ingresos financieros), incluyen el valor del excedente de bagazo, la torta acumulada en los filtros y la pulpa deshidratada.

En este último caso, el importe de este ingreso, basado en el precio de mercado de la pulpa, es de 6 US\$/t. Debido a los menores requisitos de energía para convertir la caña de azúcar en bioetanol, en relación con el proceso a partir de azúcar sin refinar, los costes de insumos energéticos se reducen a la mitad en términos unitarios.

Un componente determinante sobre el costo de producción es la escala de la planta. Whims (2002), en un análisis de plantas de conversión de maíz en bioetanol tanto con molienda en seco como en húmedo, mostró que triplicar la capacidad instalada de la planta (de 55 a 105 millones de litros al año, para molienda seca, y de 110 a 375 millones al año, para molienda húmeda), reduce los costos de capital en torno a un 40% por unidad de capacidad, ahorrando en torno a 0,03 US\$/l.

Asimismo, esta modificación de la escala, puede reducir los costos de operación entre un 15 y un 20%, ahorrando entre 0,02 y 0,03 US\$/l adicionales (quedando el costo total entre 0,23 y 0,24 US\$/l).

#### 4.4 Costos de producción del Biodiesel

El primer elemento de costo en la producción de biodiesel es el de las materias primas. La Tabla 4.3, a partir de información de Sims et al. (2006), muestra que los costos de producción de biodiesel a partir de aceite usado y grasas animales son significativamente menores a las alternativas basadas en las materias primas agrícolas. Sin embargo, la limitada disponibilidad de aceites usados (un residuo, cuya disposición a veces genera daños ambientales) y de grasas animales (subproductos de la producción pecuaria) hace que sean opciones poco viables para la producción de biodiesel en gran escala.

**TABLA 4.2**  
**COSTOS DE PRODUCCIÓN DE BIODIESEL**

Materia prima	US\$/litro	US\$/litro diesel equivalente*
Aceites vegetales	0,62-0,80	0,71-0,92
Aceite usado y grasas animales	0,40-0,60	0,46-0,69

Fuente: Sims et al. (2006)

Nota: \* Los costos del biodiesel están estimados por litro de energía equivalente de diesel de origen fósil (un litro de biodiesel contiene el 87% de la energía contenida en un litro de diesel).

Como en el caso del bioetanol, la materia prima y su costo, los ingresos por subproductos y la escala de producción son los principales determinantes de los costos. Estudios en el oeste de Australia (Oilseeds WA que los costos, 2006) muestran de producción para biodiesel pueden

variar desde 0,47<sup>40</sup> US\$/l en el caso de aceite de palma procesado en plantas de tamaño grande hasta 1,43 US\$/l usando aceite de canola en una planta de tamaño pequeño.<sup>41</sup>

En IEA (2004) se muestra un rango de costos que oscila entre 0,35 US\$/l y 0,8 US\$/l por litro equivalente de diesel. Los datos, en todo caso, varían sustancialmente en función de la materia prima: biodiesel a partir de colza (0,5 US\$/l) y soja (1,11 US\$/l).<sup>42</sup> La diferencia fundamental con la producción de bioetanol es que el peso del costo de la materia prima en la producción de biodiesel es mucho mayor.

De acuerdo a OCDE (OCDE, 2006b) el costo de la materia prima en la producción de biodiesel a partir de aceites vegetales en la Unión Europea representa un 81% del costo bruto de producción (es decir, sin considerar los ingresos por subproductos). En el mismo estudio, los ingresos por subproductos (glicerina) representan un 8,2% del costo bruto de producción.

Respecto al factor escala, la Tabla 4.3 muestra cómo se reducen drásticamente los costos de inversión cuando se aumenta el tamaño de la planta de 4 a 60 millones litros. La reducción de costos unitarios, sin embargo, es mucho menor al pasar a escalas de producción de 150 millones de litros.

La reducción de costos de capital, sin embargo, puede verse compensada hasta cierto punto por el aumento en los costos de aprovisionamiento de la planta. Las plantas pequeñas pueden ser competitivas si tienen acceso a materia prima de costo más bajo (es el caso de la producción a partir de aceites usados y grasas animales).

**TABLA 4.3**  
**COSTOS DE INVERSIÓN INICIAL EN FUNCIÓN DEL TAMAÑO DE**  
**LA PLANTA DE BIODIESEL**

Tamaño de la planta (Millones litros/año)	Bajo		Alto	
	Coste total de inversión (106 US\$)	Coste específico de inversión (US\$/l/año)	Coste total de inversión (106 US\$)	Coste específico de inversión (US\$/l/año)
4	1,9	0,475	3,1	0,775
60	9,5	0,158	15,8	0,263
150	19,7	0,131	32,8	0,218

Fuente: Girard and Fallot (2006) sobre la base de Kearney (1998) citado en Thyson et al. (2004).

## 4.5 Biocombustibles de segunda generación

Respecto al costo de producción de bioetanol a partir de materias primas lignocelulósicas, NREL en IEA (2004) presenta tres escenarios para la producción en EE.UU. y Canadá, a partir de álamos (Tabla 4.4):

- en un futuro próximo (que podría considerarse como el momento de publicar este trabajo), el costo es de 0,36 US\$/l (0,53 US\$/l en términos de gasolina equivalente);
- si se toma el dato de la mejor práctica, el costo desciende hasta 0,29 US\$/l (0,43 US\$/l en términos de gasolina equivalente) y,
- después de 2010, 0,19 US\$/l (0,27 US\$/l en términos de gasolina equivalente).

<sup>40</sup> Utilizando el tipo de cambio oficial de la Reserva federal de EE.UU.; en 2006 el cambio es 1 US\$ = 0,7535 dólar australiano.

<sup>41</sup> [2006 GRAINS RESEARCH UPDATE for irrigation croppers; <http://www.irec.org.au>

<sup>42</sup> Novem (2003).

**TABLA 4.4**  
**COSTOS DE PRODUCCIÓN DE BIOETANOL LIGNOCELULÓSICO**

	<b>Futuro próximo</b>	<b>Mejor práctica en un futuro próximo</b>	<b>Después de 2010</b>
Costo de recuperación de capital de la planta	0,17	0,139	0,073
Costo de operación	0,182	0,152	0,112
Costo total por litro	0,36	0,29	0,19
Costo por litro equivalente de gasolina	0,53	0,43	0,27

Fuente: NREL en IEA (2004).

Notas: las estimaciones proceden de un estudio de evaluación de biocombustibles en EE.UU. y Canadá de 2001. La materia prima son álamos. Se trata de estimaciones de un estudio ingenieril para una planta a gran escala, asumiendo las mejoras tecnológicas y de costos logradas desde la década anterior.

Novem (2003) presenta, a partir de otros estudios, un meta-análisis sobre precios para bioetanol lignocelulósico (costos sin margen comercial), cuyos datos oscilan entre 0,23 (EUBIA, 2000, lignocelulosa mediante hidrólisis enzimática) y 1,27 US\$/l (ECN, 2002, ramas de sauce), es decir, entre 0,34 y 1,89 US\$/l de gasolina equivalente.

Respecto a la producción de biodiesel, Novel/ADL (1999) en IEA (2004), presentando datos sobre biocombustibles avanzados (ver Tabla 4.5), señala que el costo unitario de producción de biodiesel, en términos de diesel equivalente, oscila entre los 0,47 US\$/l (a partir de biomasa de eucalipto del Báltico, procesada mediante gasificación y conversión de DME) y los 1,36 US\$/l (con la misma materia prima pero procesada mediante pirólisis).

Estos datos se alejan de los precios de los combustibles fósiles que aparecen en la Tabla 4.5, si bien se debe tener en cuenta que corresponden a 1999, año en que el precio promedio del barril petróleo Brent era de US\$17,8 frente a los US\$65,1 promedio del año 2006.

**TABLA 4.5**  
**COSTOS ESTIMADOS DE PRODUCCIÓN DE BIOCMBUSTIBLES DE SEGUNDA GENERACIÓN**

<b>Combustible</b>	<b>Materia prima/ubicación</b>	<b>Proceso</b>	<b>US\$/litro de gasolina equivalente</b>
Diesel	Petróleo	Refino	0,22
Biodiesel	Soja	Aceite a FAME (transesterificación)	0,80
Biodiesel	Biomasa-eucalipto (Báltico)	HTU	0,56
Biodiesel	Biomasa- eucalipto (Báltico)	Gasificación/F-T	0,68
Biodiesel	Biomasa- eucalipto (Báltico)	Pirólisis	1,36
Biodiesel	Biomasa- eucalipto (Báltico)	Gasificación/conversión de DME	0,47
Gasolina	Petróleo	Refinación	0,22
Bioetanol	Biomasa- álamo (Brasil)	Hidrólisis enzimática (CBP)	0,27
Bioetanol	Biomasa- álamo (Báltico)	Gasificación/F-T	0,76
Hidrógeno	Biomasa- álamo (Báltico)	Gasificación	4,91
CNG	Biomasa-eucalipto (Países Bajos)	Gasificación	0,46

Fuente: Novem/ADL (1999) en IEA (2004).

Notas: La tabla incluye los precios de diesel y gasolina en los Países Bajos en el año 1999.

## 4.6 Costo unitario total de producción y umbrales de rentabilidad en relación con el precio del petróleo

Desde el punto de vista de análisis de la rentabilidad privada de las inversiones en producción de biocombustibles, el dato relevante no es tanto el costo unitario de producción de un litro de biocombustible como el costo unitario en litros de combustible equivalente a sustituir.

Los costos privados de producción de biocombustibles están altamente correlacionados con el precio del barril de petróleo (dada la presencia de combustibles derivados del petróleo en buena parte de la ruta de conversión, salvo en aquellas plantas donde dichos insumos ya han sido reemplazados por los residuos de la producción agrícola - bagazo para la generación de energía eléctrica y térmica, por ejemplo –o se emplean otros biocombustibles– bioetanol para la producción de biodiesel, en lugar del metanol convencional).<sup>43</sup>

Novem (2003) señala que, sobre la base de un análisis de rentabilidad privada, el ETBE (a partir de trigo) comienza a ser rentable a partir de un barril de petróleo a 57 US\$, el bioetanol de trigo a partir de 46 US\$, el ETBE a partir de remolacha azucarera a partir de 65 US\$, el bioetanol a partir de remolacha azucarera a partir de 55 US\$ y el biodiesel a partir de colza (RME) a partir de 54 US\$/bep.

Pfaumann (2006) matiza estos datos e indica que sólo el bioetanol a partir de caña es rentable a los valores actuales del barril de petróleo, e incluso por debajo de los mismos (35-40 US\$/bep), mientras que el bioetanol a partir de maíz de EE.UU. lo haría a partir de los 60 US\$ y el biodiesel de la UE a partir de 80 US\$ (ver Tabla 4.6).

**TABLA 4.6**  
**PRECIO DEL BARRIL DEL BARRIL DE PETRÓLEO A PARTIR DEL CUAL**  
**ES RENTABLE LA PRODUCCIÓN DE BIOCOMBUSTIBLE**

<b>País/área geográfica</b>	<b>Precio del barril de petróleo a partir del cual es rentable la producción de biocombustible</b>
Brasil (etanol de caña)	35-40 US\$
E.E.U.U. (etanol de maíz)	60 US\$
Europa (biodiesel)	80 US\$

Fuente: Pfaumann (2006).

Ryan et al. (2006) llegan a conclusiones similares comparando precios de gasolina y diesel en países europeos con los costos de producción de biocombustibles. Tan solo el etanol a partir de caña de azúcar de Brasil puede competir con el precio de la gasolina. En el caso del diesel, el biodiesel elaborado a partir de aceites usados y grasas usadas aparece en condiciones de competir. El resto de los biocombustibles, tanto para la producción de bioetanol como biodiesel, aparecen muy alejados de los costos de los combustibles elaborados a partir de petróleo si no se incluyen los impuestos.

Teniendo en cuenta que en muchos países el apoyo público a la producción de biocombustibles se ha llevado a cabo a través de ciertas ventajas fiscales, es interesante observar los resultados de la Tabla 4.7 en que se comparan los costos de producción de los biocombustibles con los precios de los combustibles derivados del petróleo, con y sin impuestos.

En la UE-15 los biocombustibles considerados tienen costos de producción más altos que la gasolina y el diesel derivados del petróleo, pero si la comparación es con los combustibles de

<sup>43</sup> EC (2007), sobre la base de JEC (2006), ofrece datos muy relevantes al respecto.

origen fósil con impuestos, los costos de producción de los biocombustibles son menores. Ello permitiría el apoyo a la producción de biocombustibles a través de un régimen fiscal diferenciado. En los casos de EE.UU. y Canadá, con impuestos menores a los combustibles fósiles, los costos de producción de etanol a partir de maíz son menores que los de la gasolina con impuestos.

No así, en el caso del etanol derivado del trigo. Por último, el etanol de caña de azúcar de Brasil puede competir perfectamente con la gasolina, sin necesidad de ningún apoyo fiscal.

**TABLA 4.7**  
**COSTOS DE PRODUCCIÓN DE BIOETANOL Y BIODIESEL (POR LITRO DE COMBUSTIBLE FÓSIL EQUIVALENTE) Y PRECIOS DE COMBUSTIBLES FÓSILES**

	EE.UU.	Canadá	UE-15	Brasil
Bioetanol				
Trigo	0,813	0,840	0,855	
Maíz	0,431	0,500	0,668	
Caña azúcar				0,327
Remolacha			0,560	
Gasolina con impuestos	0,540	0,680	1,316	0,840
Gasolina sin impuestos	0,384	0,401	0,406	0,394
Biodiesel				

**TABLA 4.7 (CONCLUSIÓN)**

	EE.UU.	Canadá	UE-15	Brasil
Aceites vegetales	0,631	0,523	0,697	0,653
Diesel con impuestos	0,570	0,680	1,286	0,396
Diesel sin impuestos	0,373	0,391	0,396	0,384

Fuente: elaborado a partir de OECD (2006b) basado en datos de la OECD, Smeets (2005), (IEA, 2005) y Aglink Database.<sup>44</sup>

Considerando la reducción de costos de producción de biocombustibles y dependiendo de los precios del petróleo en el futuro, NREL (en IEA, 2004) muestra estimaciones en que el bioetanol lignocelulósico (en costo por litro equivalente de gasolina) después de 2010, presenta un costo similar al de la gasolina asumiendo un precio de barril de petróleo de US\$30.

La reducción de costos de producción es a casi la mitad de los costos en 2002. La reducción de costos de producción del bioetanol a partir de maíz es más modesta (después de 2010, un 86% del costo de producción de 2002), pero podría competir con la gasolina en un escenario de precios más altos del petróleo (Tabla 4.8).

<sup>44</sup> Modificado para expresar los costos de producción de biocombustibles por litro de energía equivalente de diesel de origen fósil (un litro de biodiesel contiene el 87% de la energía contenida en un litro de diesel); los costos del bioetanol están estimados por litro de energía equivalente de gasolina (un litro de etanol contiene el 67% de la energía contenida en un litro de gasolina).

Nota de la tabla original: Los precios netos de los combustibles sin impuestos tienen en cuenta que los márgenes aproximados de la industria local y los costos de distribución. Los precios brutos de los combustibles son precios en el surtidor. Los precios de la gasolina para UE-15 son medias ponderadas de precios de España, Francia y Suecia (tomando como referencia las cantidades de bioetanol producidas en 2004). Los precios del diesel para UE-15 son medias ponderadas de precios de Alemania, Francia e Italia (tomando como referencia las cantidades de biodiesel producido en el 2004).

**TABLA 4.8**  
**COMPARACIÓN DE LOS COSTOS DE PRODUCCIÓN DEL 2002 Y**  
**POTENCIALES EN NORTEAMÉRICA**  
*(US\$ por litro equivalente de gasolina)*

	2002	2010	Después 2010
Gasolina	0,21	0,23	0,25
Bioetanol a partir de maíz	0,43	0,40	0,37
Bioetanol lignocelulósico (álamo)	0,53	0,43	0,27

Fuente: IEA (2000) Y NREL en IEA (2004).

Notas: El costo ex refinería se basa en un precio del barril de petróleo de 24\$ en 2002, y de 30\$ en 2010. Se asume una reducción de costo futura del 1% para el bioetanol de maíz.

Como se ve, el precio del barril de petróleo constituye una variable crítica en la definición de umbrales de rentabilidad privada de los biocombustibles, hasta el punto de que resulta legítimo cuestionarse sobre si la producción de biocombustibles sería factible de no mantenerse los precios del petróleo de los años recientes.

De los análisis más recientes (FMI, 2006; CGES, 2006) pueden extraerse las siguientes conclusiones sintéticas:

Los precios alcanzaron los altos niveles recientes por condiciones de mercado restrictivas a corto plazo.

La capacidad ociosa de producción a nivel mundial (toda en países productores de la OPEP), está bajo el 3% de la demanda de petróleo y la capacidad de la industria para producir destilados medios con bajos niveles de azufre está seriamente restringida.

El crecimiento de la demanda de petróleo fue fuerte en 2003 y, especialmente, en 2004, dañando la capacidad mundial para alcanzar un equilibrio a precios más bajos. Sin embargo, el crecimiento de la demanda ha disminuido desde entonces y la capacidad de producción previsiblemente crecerá, pero es difícil predecir cuánto y hasta cuándo.

El mundo no se está quedando sin petróleo convencional sino fundamentalmente sin petróleo barato.

Con tanto petróleo descubierto ya o que será encontrado a un costo inferior a 60 US\$/barril, era previsible que los precios, en un contexto racional, no permanecieran en los niveles recientes (superiores a US\$60). Sin embargo, el petróleo oculto necesita grandes niveles de inversión para ser accesible, lo que matizaría esa afirmación y respaldaría estimaciones más próximas a los niveles actuales de precios.

Existen numerosos estudios sobre costos de producción de biocombustibles. Dependiendo del lugar de producción, la materia prima, la tecnología utilizada y los supuestos adoptados respecto a diversas variables (tamaño de planta, ingresos por la venta de subproductos, tasas de interés del mercado, etc.), los resultados pueden resultar muy diferentes.

## 4.7 Necesidad de trascender los análisis convencionales de rentabilidad privada

El desarrollo de los biocombustibles responde, en origen, al consumo creciente de energía obtenida a partir de combustibles fósiles; a dicha tendencia se une el aumento de los precios del petróleo en términos reales y la inseguridad del abastecimiento por diferentes razones. Hay un

elemento más, no obstante: las matrices energéticas no están suficientemente diversificadas en lo que se refiere al consumo de energía primaria para el transporte y no lo están, entre otras cosas, porque no existen, con el nivel tecnológico actual, alternativas viables *sensu lato* a los combustibles derivados del petróleo (pese a desarrollos recientes en relación con vehículos híbridos o hidrógeno).

Desde el punto de vista del análisis económico, las decisiones respecto a la expansión de la producción de biocombustibles a nivel de América Latina y el Caribe o el inicio de la misma en aquellos países donde no se haya desarrollado hasta el momento, debieran tomarse a partir de criterios de racionalidad global que tomen en cuenta las consecuencias más relevantes de tales decisiones.

En realidad, trascender el análisis de la rentabilidad privada supone la incorporación de una multiplicidad de dimensiones que se vinculan con el bienestar de toda la sociedad. Por otra parte, en la medida en que se trata de decisiones que tienen efectos intertemporales, debe atender no sólo a consideraciones de equidad social intergeneracional, altamente relevantes en la región, sino también a otras consideraciones dinámicas vinculadas con consecuencia previsible más relevantes de tales decisiones.

Incluso en ese caso, el análisis costo-beneficio no garantiza en ningún sentido que la solución propuesta por el analista sea sostenible. La sostenibilidad exige, cuando menos, consideraciones de eficiencia dinámica y equidad intergeneracional.

El ACB puede desarrollarse desde una óptica estrictamente privada, lo que habitualmente se denomina como análisis de rentabilidad financiera (y ha ocupado la primera parte de este capítulo) o desde una perspectiva diferente y más amplia (análisis de rentabilidad económica y social). La primera analiza las repercusiones de cada alternativa de inversión sobre un agente individual mientras que la segunda evalúa la trascendencia de la expansión de los biocombustibles para la sociedad en su conjunto. No siempre un proyecto de inversión que es rentable para un particular es también rentable para la comunidad y viceversa.

Desde el punto de vista de la decisión pública sobre la producción de biocombustibles, resulta pertinente que el decisor público intente averiguar el impacto global de lo que se propone hacer, en un contexto en el que lo único relevante no son sólo las consideraciones financieras sino un análisis más amplio desarrollado en términos de bienestar.

Desde el punto de vista de la formulación de políticas públicas, este reto va asociado adicionalmente a definir aquellas políticas que actuarán como fuerzas motrices de la producción de biocombustibles (subsidios a la producción de biomasa o biocombustibles, exenciones fiscales, inversión en investigación y desarrollo tecnológico, etc.) y aquellas que habrán de servir de fuerzas de anclaje (la definición de especificaciones técnicas, la limitación de algunos usos del suelo, la fijación de estándares relativos al uso de fertilizantes o la generación de residuos, etc.).

El análisis de costos y beneficios asociados a un esfuerzo de expansión de la producción de biocombustibles, o simplemente al inicio de la misma, presenta numerosas aristas, dada la heterogeneidad de los costos y, fundamentalmente, de los beneficios que constituyen el objeto de análisis. El ACB constituye la formalización de un proceso implícito en cualquier decisión para comparar, en un marco común, las ventajas e inconvenientes de una determinada alternativa de inversión. Es, por lo tanto, un marco de análisis cuyos resultados serán tan buenos como la información que lo alimente.

El ACB es así un análisis comparativo, que establece la conveniencia de llevar a cabo una inversión en relación con la mejor de las alternativas posibles. Es importante este punto, ya que el conjunto de medidas para impulsar la opción bioenergética puede ser una buena solución al

conjunto de problemas que lo justifican pero no necesariamente una solución óptima si existen otras alternativas de inversión con mayor rentabilidad social.

#### **4.7.1 Elementos conceptuales de la evaluación económica o social de proyectos**

La evaluación económica o social de proyectos compara los costos y beneficios que una determinada inversión puede tener para un país en su conjunto. Desde esta perspectiva, una inversión será rentable si permite un aumento mayor en la riqueza que el que se podría obtener de utilizar esos recursos en otras inversiones alternativas y en la medida que el bienestar económico alcanzado con el proyecto sea mayor al bienestar que el país habría alcanzando en ausencia del proyecto [extraído de *Inversión Pública, eficiencia y equidad*; MIDEPLAN, 1992, Chile]

##### **a) Identificación del escenario de referencia o escenario base**

Lo anterior implica, en primer lugar definir o simular un escenario de referencia, respecto al que pueda analizarse el impacto previsto de cualquier apoyo a los biocombustibles. Es decir, frente a lo que pudiera parecer en algunos análisis disponibles, no se trata de analizar qué ocurre antes o después de un plan para el fomento de los biocombustibles, en el periodo temporal de referencia, sino, por el contrario, qué ocurre como resultado de dicho esfuerzo inversor en relación a lo que ocurriría si no se llevase a cabo (pero tomando en cuenta la evolución tendencial de los acontecimientos).

Identificar con toda precisión la situación de referencia con la que se va a comparar el cambio que supone aumentar la producción de biocombustibles, es decir, simular con la mayor precisión posible la evolución de la situación en ausencia de las medidas analizadas. De modo sintético, es evidente que el escenario tendencial aparece caracterizado por algunas evidencias incontrovertibles (ver Recuadro 4.1). Las emisiones del sector transporte representan la fuente de emisiones de gases de efecto invernadero de mayor crecimiento; hay escasas perspectivas de que esta situación pueda resolverse con una leve modificación tecnológica. A medida que los países en desarrollo se aproximan a los niveles de motorización de los países más desarrollados, el aumento de la flota de vehículos podría incluso superar cualquier progreso en términos de eficiencia en usos finales o la eventual aportación de los biocombustibles.

#### **RECUADRO 4.1 TENDENCIAS DEL TRANSPORTE**

- El transporte de mercancías crece sin claras señales de desacople con el crecimiento del PIB.
- Los volúmenes de transporte de pasajeros han ido igualmente en paralelo al crecimiento económico.
- Las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), a partir de actividades de transporte, crecen.
- Las emisiones dañinas decrecen, pero los problemas de calidad del aire exigen atención continua (especialmente en lo que se refiere a PM<sub>2,5</sub>).
- El transporte de mercancías por tierra sigue ganando cuota de mercado.
- El transporte aéreo de pasajeros crece, mientras que la participación del transporte por carretera o ferrocarril se mantiene.
- Los desarrollos tecnológicos en los combustibles contribuyen a reducciones de emisiones (también los motores son más eficientes).
- La ocupación de vehículos y factores de carga del transporte de mercancías disminuyen, aunque la tendencia es incierta.
- Las nuevas tecnologías pueden reducir las emisiones y el consumo de combustible, pero se necesitan más esfuerzos para conseguir objetivos de reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>e (dióxido de carbono equivalente). Un ejemplo obvio (y ampliamente contrastado por la evidencia): cualquier mejora en

términos de eficiencia o reducción de emisiones (gracias a mejoras tecnológicas en combustibles o motores), tiende a ser absorbida por el aumento en la flota de vehículos y las distancias recorridas.

- Las estructuras de precios comienzan a reflejar, pero todavía subestiman notablemente, los costos externos asociados al transporte.

### **b) Identificación de costos y beneficios**

Una vez definidos ambos escenarios (escenario base – tendencial – y escenario objetivo), es preciso identificar los costos y los beneficios asociados a la consecución de dicho objetivo predeterminado. En el caso de un ACB estrictamente privado (o financiero), cuyo objetivo es maximizar la rentabilidad monetaria, la identificación del criterio que permitirá descubrir los costos y los beneficios relevantes es sencillo: su impacto sobre los flujos de caja del decisor (sea éste el agricultor que opta por sustituir cultivos, los propietarios de la planta de procesamiento o el consumidor final del biocombustible, por citar ejemplos especialmente relevantes). En el caso del ACB económico o social el problema es más complejo, puesto que, en este caso, el numerario de referencia será el bienestar (expresado en unidades monetarias).

Ahora bien, no basta con valorar los costos y los beneficios; es preciso actualizarlos correctamente, es decir, homogeneizarlos temporalmente. Los costos asociados a cualquier plan de fomento de los biocombustibles (esencialmente los costos de inversión asociados a las diferentes medidas del mismo, tanto las financiadas directamente por el sector público, como las que soporta, siquiera parcialmente, el sector privado), se concentrarán en un periodo de tiempo que trasciende un momento puntual.

Asimismo, los beneficios esperados (asociados en ocasiones a la reducción de un flujo negativo o costo, como en el caso de determinadas emisiones de sustancias contaminantes), tendrán repercusiones que podrían superar, en algunos casos, varias décadas (i.e., las emisiones de gases de efecto invernadero presumiblemente evitadas como resultado de la sustitución de combustibles convencionales por biocombustibles). Ese flujo de costos y beneficios ha de ser reducido a un único valor presente neto que permita establecer algún juicio en relación con la rentabilidad adicional del esfuerzo a analizar, para la sociedad en su conjunto, en relación con la mejor alternativa posible. Esta actualización se realiza mediante un factor de descuento que se denomina tasa social de descuento (o precio social del capital).

Por otro lado, mientras el ACB privado o financiero trabaja con precios de mercado, el ACB social lo hace con precios sombra o sociales<sup>45</sup> con el objeto de medir el efecto de llevar a cabo un proyecto considerando los efectos indirectos y externalidades que se producen en el bienestar de la sociedad.

## **4.7.2 Generación de empleo y su potencial efecto asociado de erradicación de la pobreza: una reflexión adicional**

Existe una tendencia marcada a contabilizar la generación de empleo como uno de los beneficios esenciales de cualquier proyecto de inversión pública. Efectivamente, cuando se generan empleos (directos, indirectos o inducidos) como consecuencia de las inversiones realizadas, tiende a pensarse en ellos como una de las razones fundamentales para justificar ante la sociedad la conveniencia de la inversión en cuestión. Existen, sin embargo, críticas importantes a este cómputo convencional.

---

<sup>45</sup> Además de la tasa social de descuento, se utilizan otros dos precios sociales (o precios sombra o de cuenta) de las divisas y de la mano de obra. También es necesario estimar el precio social de los productos que genera el proyecto y de sus insumos específicos. En el caso del empleo, por ejemplo, el precio social del salario en una situación de desempleo puede ser muy inferior al costo privado, ya que la sociedad no sacrifica producción alternativa (lo que si ocurriría en una situación de pleno empleo).

En primer lugar, es necesario recordar que se debe hablar en todo momento de creación neta de empleo: el aumento de la actividad en sectores productivos vinculados, por ejemplo, a los procesos de hidrólisis enzimática y destilado de la caña de azúcar, podría llevar asociada una disminución de la actividad económica en otros sectores, lo que se traduciría en una pérdida de puestos de trabajo en dichos sectores. Parece evidente, sin embargo, que la intensidad en trabajo es menor en los sectores en los que se destruye empleo que en aquellos en los que se crea (por el papel del progreso tecnológico en estos sectores, que se presume), por lo que el signo de la variación al final del proceso previsiblemente será positivo.

En segundo lugar, un cálculo riguroso de los empleos creados y destruidos como consecuencia de proyectos de producción de biocombustibles exigiría trabajar en un contexto metodológico de equilibrio general computable que fuese capaz de tener en cuenta la reorganización del sistema macroeconómico ante el shock externo que supone una inversión pública en toda su complejidad (pese a su volumen relativamente pequeño).

Por otra parte, de forma paralela a la mejora en bienestar que implica la creación de un nuevo puesto de trabajo, se debe considerar asimismo la pérdida de bienestar asociada al proceso de destrucción de empleo. Esto significa que, en el caso ideal, un trabajador de uno de los sectores en los que se registra pérdida neta de puestos de trabajo encontrará un nuevo empleo en los sectores en los que se registra ganancia de empleo en poco tiempo, de manera que el desempleo asociado a este proceso sea de carácter puramente ficticio y a corto plazo (transicional).

Sin embargo, es fácil imaginar que ésta no es la situación que se dará en todos los casos; puede ser necesario poner en marcha mecanismos para permitir el contacto de estos nuevos desempleados con los sectores favorecidos por el aumento de actividad y con mayor demanda de empleo y/o un reciclaje de los trabajadores (en forma, por ejemplo, de cursos de capacitación para la adaptación a las nuevas tecnologías).

Podría darse el caso, incluso, de que el trabajador que pierde su empleo sea expulsado por un largo periodo de tiempo del mercado de trabajo porque no encuentra un nuevo empleo en ningún otro sector (es sustituido, por ejemplo, por un profesional de más alta cualificación recién incorporado al mercado de trabajo).

Se sugiere, de esta manera, que existe un costo (una pérdida de bienestar) asociado a este periodo de transición tras el cual el mercado laboral se reajusta, que se podría hacer equivalente, por ejemplo, al gasto público en que se ha incurrido para apoyar a esos desempleados transicionales a encontrar un nuevo empleo y a sostenerles en el periodo de desempleo.

En cualquier caso, parece que en términos de bienestar, el proceso de destrucción y generación de empleo, aunque sea netamente positivo, lleva implícito un costo que debería ser descontado de los beneficios teóricos de la mejora neta de los niveles de desempleo.

Aún asumiendo que, como parece posible, el aumento de la producción de biocombustibles objeto de análisis tenga como resultado a largo plazo efectos positivos sobre el empleo (más allá de consideraciones espaciales), eso no significa que esas ganancias netas en este campo deban ser consideradas dentro de la partida de beneficios económicos. En el contexto de un ACB es siempre necesario reflexionar en torno al costo de oportunidad (es decir, a los beneficios asociados a la mejor alternativa posible para conseguir los objetivos que se plantean en términos de expansión de la producción de biocombustibles).

De hecho, cualquier acción pública distinta del apoyo a la producción de biodiesel o bioetanol, de una entidad similar, tendría asimismo capacidad para generar empleo, de ahí que sólo habría de contabilizarse la creación de empleo incremental (es decir, el diferencial respecto a la mejor de las alternativas posibles).

Los sistemas económicos de la mayor parte de los países de la región están controlados a nivel macroeconómico por políticas fiscales y monetarias, por lo que es preciso atender al hecho de que los gastos en que incurre el sector público, desde cualquier nivel, se realizan desde un presupuesto público del cual estas medidas de fomento de los biocombustibles forman parte. De hecho, los programas, políticas y estrategias del sector público, entran en competencia por unos recursos limitados: los que define esa restricción presupuestaria global (especialmente exigente en algunos países con graves problemas de déficit fiscal o balanza por cuenta corriente).

De esta manera, la cantidad invertida en apoyar los biocombustibles, que pudiera tener efectos menores pero positivos sobre las cifras de desempleo, bien podría haberse invertido en programas de distinta naturaleza con efectos positivos similares sobre estas variables. Lo relevante no es qué se haga, sino qué podría haberse hecho.

Esto sugiere la dificultad de asignar algún valor monetario a los empleos adicionales creados lo que desaconsejaría, a priori, la inclusión de los efectos sobre el empleo, al menos de forma cuantitativa, dentro de un análisis costo-beneficio del aumento de la producción de biocombustibles en América Latina y el Caribe.

### **4.7.3 Síntesis de los principales beneficios socioeconómicos asociados a la producción de biocombustibles**

#### **a) Ahorro energético**

Los beneficios sociales derivados del ahorro energético potencialmente propiciado por la introducción de biocombustibles cuyo saldo energético frente a los combustibles convencionales sea favorable, son conceptualmente equiparables a los costos del mismo (si bien en sentido contrario: es decir, los costos del consumo energético), y tienen, por tanto, un tratamiento equivalente. En efecto, el resultado neto de estos ahorros es el hecho de que al poder suministrar el mismo flujo de servicios (energía para actividades de transporte) con un menor costo de recursos, los factores productivos así liberados permitirán aumentar la cantidad de bienes y servicios a disposición de la sociedad. El precio de la energía será un buen exponente de este beneficio, si refleja con exactitud el costo en el que se ha incurrido, en términos reales, para proporcionar un litro de combustible. Como es difícil argumentar que éste sea el caso (por la presencia de externalidades, fundamentalmente), una metodología alternativa consiste en traducir esta mayor eficiencia energética en su equivalente en toneladas equivalentes de petróleo, que ya no será necesario importar. Este supuesto está justificado si es cierto que, en el margen, ante cualquier oscilación de la demanda, es el uso de combustibles fósiles el que se adapta, como parece ser el caso. En este sentido, las toneladas equivalentes de petróleo no importadas tienen una contraparte real inmediata: las divisas ahorradas. Como estas divisas permiten el acceso directo a una serie de bienes y servicios importados, reflejan directamente el mayor bienestar social que su disponibilidad permite.

#### **b) Emisiones evitadas de CO<sub>2</sub>eq**

Entre otros, uno de los objetivos de la introducción de biocombustibles en los países desarrollados es reducir las emisiones netas de CO<sub>2</sub>. En el caso de los países de América Latina y el Caribe, que no tienen un compromiso vinculante de reducción de emisiones en el marco del Protocolo de Kyoto, existen posibilidades que surgen de los llamados mecanismos de flexibilidad, que dan origen a un mercado internacional de créditos de carbono. De este modo, una vez computado el total de toneladas ahorradas, existen tres posibles métodos para calcular el beneficio social que se desprende de ello:

Por un lado, podría acudirse a las distintas estimaciones que se han venido realizando con respecto a los costos económicos totales que provocará, con distinto nivel de certeza, el cambio

climático, y la responsabilidad asociada a cada tonelada de CO<sub>2</sub>. Son numerosas las estimaciones que existen al respecto, siempre en un contexto caracterizado por elevados niveles de incertidumbre, lo que permitiría presentar una familia completa de resultados utilizando los distintos valores que propone la literatura.

En segundo lugar, podría adoptarse una metodología de cálculo basada en la estimación del costo de las inversiones necesarias para neutralizar este incremento, reduciendo las toneladas emitidas en algún otro sector de la economía. El resultado sería una buena muestra del valor de los bienes y servicios a los que la sociedad tendría que renunciar por tener que dedicar unos recursos escasos a la adopción de estas medidas compensatorias.

Finalmente, y como una variante de la propuesta anterior, el analista puede recurrir a estimar el beneficio social de esta reducción en las emisiones de CO<sub>2</sub> a través del cálculo de los recursos ahorrados por parte de los países comprometidos en el marco de Kyoto al no tener que comprar los derechos de emisión, o no tener que hacer frente a las multas (sanciones) correspondientes.

### **c) Otros beneficios ambientales**

El ahorro energético propiciado por la introducción de biocombustibles con saldo energético positivo,<sup>46</sup> así como la sustitución de determinados bienes energéticos (combustibles convencionales) por otros más limpios, tiene como una de sus consecuencias fundamentales la reducción de la carga contaminante asociada a la producción y distribución de energía. Esta reducción debe ser contemplada en términos netos, es decir, computando el incremento de la contaminación ambiental asociada a todas las operaciones de obtención de la biomasa, producción industrial y distribución, es decir, a lo largo de todo el ciclo de vida del biocombustible. A su vez, la disminución neta de la carga contaminante deberá ser comparada con la situación que se produciría en ausencia de la introducción de estos combustibles alternativos. Una vez determinado este impacto diferencial sobre las cargas contaminantes que afectan a los distintos medios naturales (atmósfera, medio hídrico y medio edáfico), e identificados los distintos agentes receptores (personas, cultivos, infraestructuras, medio natural, etc.), se pueden utilizar los métodos convencionales del análisis económico para la valoración de intangibles con objeto de determinar el cambio producido en el bienestar social.

### **d) Generación de empleo**

La introducción de biocombustibles, se argumenta, puede tener un impacto positivo sobre el mercado laboral (deseablemente en zonas rurales, donde la tasa de desempleo es mayor, así como los niveles de pobreza y pobreza extrema), ya que promueve la creación neta de una serie de puestos de trabajo (directos, indirectos e inducidos) y ayuda a mantener otros (lo que sería equivalente si, efectivamente, en el escenario de referencia contemplado, éstos se hubieran perdido). Esta creación neta de empleo debe contemplarse como una externalidad positiva producto de la expansión o inicio de la producción de biocombustibles y, por tanto, como un beneficio social asociado a ella. Esta presunción, sin embargo, debe de ser doblemente matizada.

En primer lugar, es necesario determinar con precisión cuál ha sido la ganancia neta en este terreno. Para ello es necesario no sólo computar este número, sino comparar los puestos de trabajo netos creados, con los que se habrían generado en ausencia de las medidas propuestas. En efecto, la producción de biocombustibles supone la asunción de unos gastos por parte de las empresas, los particulares y el sector público que, parcial o totalmente, reducen el presupuesto de inversión de estos agentes. Ahora bien, las inversiones públicas y privadas que se hubieran realizado con estos fondos, en

---

<sup>46</sup> En realidad no se trata tanto de ahorros energéticos per se como de aumentos del consumo de combustible evitados respecto al escenario tendencial, que señala un aumento futuro del consumo de energía para el sector transporte.

ausencia de la adopción de las medidas contempladas para favorecer la sustitución progresiva de combustibles, también hubieran tenido un efecto multiplicador sobre el empleo. Lo mismo puede decirse del impacto de estas medidas sobre la demanda final de los consumidores. Únicamente, pues, cuando se tenga constancia de que el impacto multiplicador sobre el empleo de las medidas propuestas sea superior al de la inversión pública y privada en general, se producirá esta creación neta de puestos de trabajo en la economía.

En segundo lugar, el beneficio social asociado a la creación de puestos de trabajo, y por tanto su valoración en términos de bienestar, no es sencilla. En una economía en equilibrio, con pleno empleo, el salario que recibe la persona que obtiene un puesto de trabajo es igual, simultáneamente, a su productividad marginal (su contribución a la producción de bienes y servicios), y a la utilidad marginal del tiempo libre más la desutilidad, en su caso, de trabajar (el sacrificio que para ella supone dedicar esas horas al trabajo). No existe, por tanto, un beneficio social neto derivado de la creación de un puesto de trabajo: al hacerlo se sacrifica una cantidad de bienes y servicios cuyo valor es equivalente al que se crea (la productividad marginal es igual en el puesto de trabajo de origen y en el de destino), y la persona queda estrictamente compensada (lo que recibe como pago es igual al bienestar que sacrifica por trabajar). No es el caso, obviamente, de la economía de América Latina y el Caribe, en la que existe un problema de desempleo similar al que ya existía a principios de la década de los noventa, pese a las reducciones recientes (CEPAL, 2006). En este caso, cuando la creación de nuevos puestos de trabajo reduce el desempleo, se produce un doble beneficio social. Por un lado, se genera un incremento de la producción real de bienes y servicios que, al utilizar recursos ociosos, representa una ganancia neta; además, reducir el desempleo es un objetivo social demandado por cualquier sociedad, por lo que la creación de puestos de trabajo es equivalente a la provisión de un bien público puro que satisface esta demanda social.

#### e) **Otros beneficios: independencia energética**

Éste es un beneficio algo distinto a los anteriores, ya que no tiene porqué traducirse enteramente en un aumento de la disposición de bienes y servicios. Es cierto que una mayor independencia energética permitirá reducir algunas inversiones dirigidas, precisamente, a conseguir mayores garantías (stocks estratégicos, inversiones en terceros países, etc.). Una mayor independencia también reduce el riesgo futuro no cubierto por las medidas adoptadas, aumentando en consecuencia el bienestar de la población. Finalmente, cada Gobierno puede valorar positivamente, por razones estratégicas o de política internacional, la mayor independencia.

Finalmente, algunos de los beneficios derivados de la producción y uso de biocombustibles harán sentir sus efectos sobre personas y grupos sociales de países diferentes a los que se embarquen en la producción a gran escala (y no sólo en la región). Esta observación es esencial puesto que exige reflexionar sobre si la estrategia a emprender tiene sesgo exportador o va encaminada al consumo doméstico de combustibles. En el segundo caso, costos y beneficios de la producción y uso de biocombustibles se concentran en la región. En el primero, se hace evidente una cierta asimetría: los países potencialmente exportadores concentrarían los costos asociados a la producción de biocombustibles y los países demandantes (esencialmente EE.UU. y la UE) recibirían los beneficios.

## **Capítulo 5: Balance energético de los biocombustibles**

### **5.1 Introducción al análisis de ciclo de vida**

El balance o saldo energético es uno de los temas más determinantes cuando uno se enfrenta, desde una perspectiva analítica, a la comparación de combustibles que debe subyacer en toda decisión sobre la sustitución de unos (combustibles convencionales) por otros (biocombustibles).

En el caso de países netamente importadores de derivados del petróleo, por ejemplo, uno de los objetivos que cualquier decisor tendría en mente a la hora de plantearse la sustitución de combustibles tiene que ver con el ahorro de divisas y la reducción de la vulnerabilidad a causa de su dependencia energética. Sin entrar en mayores consideraciones, dicho objetivo se cumpliría siempre y cuando los insumos energéticos no renovables (en particular los combustibles fósiles) necesarios para la producción de una unidad de biocombustible no fuesen superiores al contenido energético de dicha unidad.

Dicho de otro modo, siempre que pudiese garantizarse que la sustitución de un combustible convencional por un biocombustible sea, en sí misma, una medida de eficiencia energética. De esta forma, para un mismo nivel de actividad y confort, por ejemplo, para recorrer la misma distancia o transportar la misma mercancía, la sociedad realiza un menor esfuerzo en términos energéticos.

Esta consideración, aparentemente trivial, ha dado origen a un intenso debate en el seno de la comunidad científica internacional. Existe evidencia empírica en ambos sentidos de modo que, desde una posición de honestidad intelectual, las siguientes páginas sólo pretenden recorrer dicha evidencia contradictoria, establecer las bases conceptuales que el analista o el decisor habrán de tomar en cuenta a la hora de analizar este aspecto y adoptar una posición a partir del análisis detallado de la mejor literatura disponible al respecto.

En este documento, el análisis se realiza a lo largo del ciclo de vida del biocombustible,<sup>47</sup> evitando así la omisión indebida de algunos efectos significativos. La consideración del ciclo de vida implica incluir en el análisis la fabricación de los insumos empleados en la ruta de conversión del biocombustible (por ejemplo, de los fertilizantes empleados en el cultivo de biomasa), la producción agrícola, el transporte de la materia prima desde la explotación agrícola a las instalaciones de producción industrial, la producción misma del biocombustible, su distribución y su uso. Estos procesos son complejos y están sometidos a la vitalidad del progreso tecnológico, lo que añade nuevos desafíos a una evaluación de estas características.

Es importante señalar que no sólo la literatura presenta evidencia aparentemente contradictoria sino que, además, los estudios publicados hasta la fecha a menudo emplean diferentes unidades y definen de manera distinta las fronteras de las rutas de conversión (es decir, caracterizan de modo heterogéneo el ciclo de vida de los biocombustibles). Como es evidente, este hecho añade nuevas aristas al problema.

Farrell et al. (2006) desarrollaron en este contexto el ERG Biofuel Analysis Meta-Model (EBAMM), diseñado para proporcionar una herramienta transparente, relativamente sencilla, para comparar los procesos de producción de biocombustibles. Sin embargo, el EBAMM ignora algunas tecnologías y no incluye todos los aspectos de la producción de biocombustibles, lo que conduce a pensar en la necesidad de análisis ad hoc más sofisticados en cada caso.

Farrell et al. (ibid.) comparan seis de los artículos más notables sobre el balance energético de los biocombustibles. Su análisis se centra en el estudio de una sola materia prima y ruta de conversión (producción de etanol a partir de maíz), ya que es la que ha producido resultados más desalentadores en relación a su potencial uso para el transporte. Pese a que los seis artículos revisados ofrecen resultados bastante divergentes, la estructura fundamental de sus análisis es virtualmente idéntica.

## 5.2 Indicadores energéticos del ACV

El análisis energético del ciclo de vida permite dividir o desagregar el proceso de producción del biocombustible en fases y analizar su funcionamiento en términos de flujos energéticos, a partir de los cuales es posible construir indicadores o índices agregados.

Los índices son una ayuda más para el proceso de toma de decisiones puesto que aportan información agregada sobre determinados aspectos “técnicos” del proceso de producción del biocombustible. Estos índices se basan en consideraciones termodinámicas y en ellos no se incluyen variables económicas. De manera sencilla, los indicadores tratan de estimar cuánto

---

<sup>47</sup> El análisis de ciclo de vida (en adelante, ACV) es un tipo de metodología basada en los análisis de energía neta, ampliamente utilizados en los años setenta así como en el enfoque de análisis de sistemas. Sirve para cuantificar y evaluar el rendimiento ambiental de un producto o de un proceso “desde la cuna hasta la tumba”. El análisis energético del ciclo de vida (AECV) permite, entre otras cosas, analizar hasta qué punto es renovable un biocombustible y eficiente su proceso de fabricación. También es útil para cuantificar y evaluar el consumo energético del ciclo de vida. El análisis energético proporciona, además, información sobre la cantidad de energía necesaria para producir bienes y servicios. Las ventajas de un análisis en términos energéticos son numerosas pero, de entre todas ellas, podría resaltarse la apuntada por Mead y Pimentel (1995): las unidades energéticas son medidas físico-químicas que no cambian ni son influidas por la actividad económica (y, sin embargo, tienen valor económico). En el contexto de los procesos de producción de biocombustibles, este tipo de análisis puede arrojar información sobre la eficiencia energética del proceso, las emisiones de contaminantes con efectos locales o regionales, y las emisiones de CO<sub>2</sub> y otros gases de efecto invernadero (que, por definición, tienen impactos globales). En particular, el estudio de diversas materias primas para la producción de biocombustibles (especialmente bioetanol), con un enfoque de ACV, se ha centrado en analizar básicamente dos aspectos: el saldo energético y el balance de carbono.

cuesta producir un biocombustible en términos energéticos, o dicho de otra manera, qué esfuerzo (energético) es necesario realizar para obtener una unidad de biocombustible. El criterio subyacente indica que, desde un punto de vista estrictamente termodinámico, si se consume más energía en producir el biocombustible que la que se obtendrá a partir de él, no tendría sentido su producción. Una cuestión al margen de estas consideraciones es que puedan existir motivos de otra índole que justifiquen la producción de biocombustibles.

Los indicadores energéticos habitualmente usados son cocientes o razones de flujos de energía y transmiten información resumida sobre distintos aspectos de interés para entender el funcionamiento de un sistema o proceso. Existen multitud de indicadores. Algunos de los más empleados son los siguientes:

**Energía neta** disponible en un combustible: es igual a la energía bruta producida por su proceso de combustión menos la energía que se ha aportado al proceso de producción del combustible, a lo largo del ciclo de vida (es decir, desde la producción de biomasa e insumos hasta su combustión en el motor).

Cocientes de rendimiento energético de diversa índole: **cociente de energía bruta**

- **Saldo energético** (o energy balance ratio): compara los insumos de energía con la energía resultante, es una medida de la *eficiencia* con la que se utiliza la energía para producir biomasa (por ejemplo, en el caso de un análisis energético de un cultivo) o energía. En el caso de los biocombustibles, el principal insumo energético asociado al cultivo intensivo de la materia prima es la energía fósil. Otros insumos energéticos, como la energía solar y el trabajo humano, suelen ser obviados en este tipo de análisis (el primero por tener carácter renovable y el segundo por su valor insignificante).
- **Rendimiento energético neto** (net energy return): energía saliente menos energía entrante por hectárea. Según Mead y Pimentel (2005), se trata de una medida más sensible a cambios en el rendimiento de la biomasa que un cambio, en un nivel similar, de los insumos energéticos.
- **Rendimiento energético sobre la energía invertida** (energy return on investment, rE) de la fabricación de un biocombustible. El indicador se define como el cociente entre el contenido energético del biocombustible y los insumos de energía no renovable aportados para su fabricación (si su valor es superior a 1 se entiende que el producto contiene más energía que la energía no renovable invertida en su producción, indicando una captura neta de energía renovable; si es menor que 1 indica que en su fabricación se ha consumido más energía no renovable que la que contiene, indicando que el biocombustible no podría ser considerado en términos energéticos como un sustituto de un combustible fósil; si el recurso energético para su producción fuera totalmente renovable, el valor del indicador sería infinito). Algunos autores como Von Blottnitz y Curran (2007) la denominan “razón de bioenergía” puesto que su valor aumenta a medida que los insumos de energía fósil al sistema disminuyen y otros como Malça y Freire (2006) prefieren el término “razón de energía fósil” (o FER). Estos últimos autores apuntan que, en ocasiones, recibe el nombre de “energía neta” y balance global de energía” y que el inverso de esta última razón recibe a veces la denominación de “energía requerida” (Ereq).
- **Energía fósil evitada o sustituida**: es la energía total necesaria para proporcionar una unidad equivalente de gasolina menos toda la energía fósil empleada para producir el biocombustible. Según Von Blottnitz y Curran (2007), este indicador, cada vez más empleado en la literatura, tiene especial interés para comparar opciones de combustibles

- líquidos con usos (bioenergéticos) alternativos de la biomasa como, por ejemplo, la generación de electricidad.
- **Energy renewability efficiency** o “ERenEf” es un indicador propuesto por Malça y Freire (2006) para evaluar el grado de “renovabilidad” de un recurso energético y mide la fracción de la energía final que proviene de una fuente renovable. Se trata del cociente entre el valor energético neto y el contenido energético del biocombustible analizado. Un valor del 100% correspondería a un biocombustible completamente renovable (es decir, que no hubiera recibido ningún aporte de energía fósil). Un valor inferior a cero implicaría que el combustible es no renovable (en ese caso, el biocombustible no podría ser considerado en términos energéticos como un sustituto de un combustible fósil); por ejemplo, el valor para la gasolina es de -22% (ibid.).
  - **Balance energético de un sistema de producción de biocombustible:** es la relación entre la energía producida por el mismo (energía saliente) y la energía consumida (energía aportada) por cada unidad de producto (kg de biocombustible), relevante para reflejar la viabilidad económica y ambiental de un proyecto de biocombustibles.
  - **Saldo energético** (relación entre los insumos de energía no renovable y la energía resultante) de la producción de un biocombustible. Es un índice muy empleado. Algunos autores (da Costa y Silva, 2005) consideran que puede ser interpretado como un índice para analizar la viabilidad técnica, económica y ambiental en la comparación de alternativas para determinar el tipo de cultivo más adecuado para la producción de biodiesel dado un determinado contexto geográfico y económico.

### 5.3 Fases del ciclo de vida

El ACV, como se ha señalado previamente, debería cubrir todas las fases del ciclo de vida del biocombustible; sin embargo, la mayoría de los análisis no van más allá de la fase de producción industrial del mismo. Los análisis completos (aplicados a la eficiencia global de los combustibles para el transporte) suelen recibir la denominación de “well-to-wheel” (del pozo a la rueda) y se pueden dividir en varias fases en función de su nivel de desagregación: “well-to-station” (del pozo a la estación de servicio), “well-to-tank” (del pozo al depósito de combustible), “tank-to-wheel” (del depósito de combustible a la rueda).

En el análisis convencional del ciclo de vida de carácter energético se consideran datos sobre entradas y salidas de energía y materiales (flujos) durante las distintas fases de la vida del biocombustible: desde la producción agrícola de la materia prima y su transporte hasta la planta de procesado; la fase de producción del biocombustible y, por último, la de distribución minorista del mismo.

Algunos autores, como Malça y Freire (2006), hablan de análisis “cradle-to-gate” (se extiende desde el origen hasta la provisión del biocombustible para ser usado) y los consideran preferibles (Von Blottnitz y Curran, 2007, de hecho, afirman que este enfoque es uno de los preferidos por los investigadores), ya que el proceso de combustión del biocombustible no afecta el balance energético (siempre y cuando no sea necesaria una fuente adicional de energía para la realización de dicho proceso).

En el AECV se suelen considerar dos tipos de flujos de energía: directos e indirectos. Los primeros corresponden a la energía en forma de combustibles fósiles, metanol, electricidad y vapor durante todas las fases de la producción del biocombustible (para ello se suele considerar el

poder calorífico de los combustibles,<sup>48</sup> los segundos corresponden a la energía en forma de insumos agrícolas (por ejemplo, pesticidas y fertilizantes), equipamiento, maquinaria agrícola y transporte (para éstos se suele estimar la energía empleada en su fabricación).

## 5.4 ¿Por qué los resultados son diferentes?

Malça y Freire (2006) resaltan que los análisis energéticos de sistemas de producción de biocombustibles muestran con muchísima frecuencia variaciones en los resultados debido a diferentes supuestos sobre variables críticas que tienen un impacto decisivo sobre el balance energético. Entre ellas, cabe destacar las siguientes: rendimientos de la biomasa, tecnologías de transformación, tasas de aplicación de fertilizantes, evaluación de los subproductos, número de insumos energéticos considerado en los cálculos, etc.

- *Eficiencias de conversión* (para convertir los inputs energéticos en energía primaria) Para el ETBE:<sup>49</sup> 91% gas natural, 83% petróleo, 94% carbón y 33% para la electricidad (Malça y Freire, 2006).
- *Insumos de energía primaria* asociados a los fertilizantes y el contenido energético del diesel empleado en las granjas y para las actividades de transporte.
- Datos de *producción agrícola* de cultivos.
- Los *insumos agrícolas* (fertilizantes, agroquímicos y empleo de maquinaria) dependen de las prácticas de cada explotación agraria y los rendimientos agrícolas están sujetos, entre otros, a factores naturales como la climatología y la edafología. Según esto, Malça y Freire (2006) consideran que es posible esperar una gran disparidad ( $\pm 50\%$ ) en los datos de carácter agrícola.
- La *energía incorporada en los materiales* utilizados para la construcción de plantas de fabricación de biocombustibles, los equipamientos para el transporte y la maquinaria agrícola (“energía del capital”) no es considerada en el estudio de Malça y Freire (2006) puesto que la estiman insignificante cuando se reparte a lo largo de la vida útil de dichos equipamientos (un dato para este supuesto se basa en Shapouri, 2002).

### 5.4.1 Discusión con respecto al saldo energético

Según Kim y Dale (2005), numerosos estudios llevados a cabo sobre la producción de etanol a partir de maíz en Estados Unidos sostienen que este biocombustible podría sustituir a los combustibles derivados del petróleo y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. Por otra parte, los estudios de Pimentel muestran que los insumos de energía necesarios para la producción de bioetanol a partir de esta materia prima son mayores que la energía contenida en el mismo (es decir, el saldo energético es negativo).

Las divergencias en los resultados se atribuyen al empleo de diferentes conjuntos de datos (incluyendo fuentes y años) y metodologías (entre otras, los límites del sistema analizado, así como los procedimientos de asignación de energía). Según Graboski (2002), los datos empleados por Pimentel (2003) son obsoletos, las productividades y los insumos de fertilizantes son propias de principios de los 90 (utilizó datos provenientes de un estudio de la FAO (citar) sobre la

---

<sup>48</sup> En función del tipo de análisis se emplea el poder calorífico inferior (lower heating value o LHV) o el superior (higher heating value o HHV). Como se explicará más adelante, la utilización de uno u otro provoca variaciones en los resultados de los análisis.

<sup>49</sup> ETBE: Ethyl tertiary butyl ether, oxigenado obtenido a partir de la reacción del etanol con isobutileno.

industria de los fertilizantes y no los más actualizados y específicos existentes en inventarios de Estados Unidos (citar USDA).

En opinión de Graboski (ibid.), la estimación de Pimentel sobre el insumo energético asociado al regadío está sobreestimada. Además, las estimaciones de la energía empleada en la fabricación del bioetanol son propias de la tecnología empleada a finales de los 70, el rendimiento en bioetanol es muy bajo comparado con los valores medios de la industria de los 90 y, por último, no se consideran los créditos energéticos de los subproductos.

Grupo de estudios posteriores a la fecha: Pimentel (1993), Patzek (2003) y Ferguson (2003): crítica informes USDA (Shapouri et al., 2004): subestimación de la energía empleada en la producción de fertilizantes nitrogenados y para la producción de semillas. Sobreestima la energía asignada a la producción de subproductos. Excluye la energía empleada en regadío y otros insumos energéticos secundarios como maquinaria agrícola, equipamiento, cemento, y acero necesarios para la construcción de plantas para la fabricación de bioetanol. Emplea el LHV. Mediante la consideración de dichos aspectos y la aplicación de un modelo (GREET) consigue un saldo energético de 0,56 (molienda en seco), 0,64 (molienda en húmedo) y un valor medio de 0,60.<sup>50</sup>

El estudio de Pimentel (2003) expone también que los estudios de la USDA excluyen el hecho de que la producción de bioetanol incrementa la degradación ambiental (erosión total, uso de insecticidas, fertilizantes y herbicidas mayores que la de cualquier otro cultivo), plantea también la cuestión de si es ético expandir la superficie de cultivo de maíz (alimento humano) para la producción de bioetanol, en un contexto de inseguridad alimentaria y hambre en numerosos países del mundo (conflicto de uso con el maíz destinado a exportaciones para países menos desarrollados).

## 5.4.2 Poder calorífico de los biocombustibles

Una propiedad que se ha de tener en cuenta en los balances energéticos es el poder calorífico del combustible analizado. Según autores como Sheng y Azevedo (2004) es, de hecho (junto con la composición química, las propiedades de las cenizas, y el contenido de humedad), una de las propiedades más importantes de los biocombustibles que se ha de considerar para la realización de cálculos o simulaciones de sistemas de conversión térmica de los mismos (la combustión es, como ya se ha indicado, el procedimiento más corriente y extendido para convertir la biomasa en energía). El poder calorífico (es decir, la cantidad de calor que produce una unidad de combustible cuando se provoca su combustión) se puede cuantificar en base a dos metodologías diferentes, dando lugar al poder calorífico inferior o neto (lower heating value o LHV), y al poder calorífico superior o bruto (higher heating value o HHV). El primero asume que los productos de combustión contienen vapor de agua y que el calor contenido en el agua no se recupera, mientras que en el segundo caso se asume que el calor contenido en el agua de combustión se recupera en su totalidad. Como consecuencia el HHV es superior al LHV.

Es necesario tener en cuenta qué tipo de valor se ha empleado en cada estudio puesto que la elección de uno u otro implica supuestos de partida diferentes y, por tanto, puede afectar la

---

<sup>50</sup> Según un estudio no publicado del Imperial College para el DTI (ICCEPT, 2003) algunas rutas para obtener biodiesel y bioetanol pueden tener un saldo energético negativo o ligeramente positivo. Según el citado estudio, las rutas de biodiesel y bioetanol son, generalmente, intensivos en términos energéticos y los balances energéticos significativamente positivos sólo son posibles si se emplean combustibles renovables (básicamente, los residuos provenientes de la biomasa empleada como insumo) para producir energía para la realización del proceso y cuando la energía se distribuye a los subproductos. Sin embargo, otro estudio reciente de la Universidad de Sheffield Hallam para el DTI en el que se examinan una serie de rutas de producción de distintos biocombustibles del Reino Unido, obtuvo resultados bastantes diferentes (esto muestra las consecuencias de las diferencias en metodología y de supuestos).

adecuada comparación de los datos (por ejemplo, Patzek 2006, afirma que desde hace años él utiliza el HHV puesto que así asume la incorporación de un supuesto de sostenibilidad tecnológica de un proceso bajo las dos primeras leyes de la Termodinámica). En opinión de Bossel (2003) el uso del LHV en un análisis well-to-wheel es posible si se comparan diferentes tecnologías de conversión que emplean el mismo combustible obtenido en base a diferentes materias primas y distintas rutas de producción. En el resto de los casos, para que los resultados sean comparables, es necesario emplear el HHV.

### **5.4.3 Consideración de los créditos (energía contenida) en los subproductos**

Malça y Freire (2006) plantean un problema metodológico relevante en el marco del análisis de ciclo de vida energético de la fabricación de un biocombustible: la asignación del consumo de recursos y de las emisiones asociadas a dicho ciclo de vida entre los distintos subproductos obtenidos. Este aspecto ha sido uno de los más polémicos de la metodología del ciclo de vida y, en opinión de los mismos autores, se ha tendido a subestimar su importancia. No existe tampoco un único procedimiento adecuado de asignación para todos los procesos de biocombustibles y, conforme a la norma ISO 14041, es recomendable llevar a cabo un análisis de sensibilidad cuando exista más de una alternativa aplicable (en la citada referencia se puede obtener información adicional sobre esta cuestión).

Las diferencias entre los resultados obtenidos al aplicar distintos métodos de asignación de emisiones y de consumo de recursos pueden ser notables, como constatan los autores en su estudio (especialmente para el caso de algunos cultivos). Así, por ejemplo, tras aplicar el AECV al etanol producido a partir de trigo, los valores de un indicador empleado como base para la comparación pueden variar más del 50% en función del método de asignación empleado; para la remolacha azucarera, entre el 33% y el 37% (en el primer caso, la producción de los subproductos es más importante que en el segundo).

### **5.4.4 Límites del sistema**

Como se mencionó anteriormente, la selección de los límites del sistema a analizar puede tener una incidencia significativa sobre los resultados de un estudio, teniendo como consecuencia en algunos casos que los resultados de diferentes estudios no sean estrictamente comparables.

Como ejemplo se puede mencionar que según Patzek (2004), Shapouri et al. (2002) y Wang et al. (1997) ignoraron en sus estudios la energía necesaria para la producción de las semillas híbridas de maíz (ie. subestimaron la energía fósil necesaria para la producción de semillas de maíz), y sólo incluyeron el combustible diesel necesario para plantarlas (según Patzek, las manipulaciones necesarias para conseguir las semillas híbridas suponen cerca de 7 veces más energía que aquella presente en igual masa de semillas de maíz).

### **5.4.5 Factores que afectan a la productividad**

Existen múltiples factores, además de las especies y los emplazamientos, que pueden afectar el rendimiento de un cultivo (Mead y Pimentel, 2006). Entre ellos figuran los tratamientos silvícolas, los cuales comprenden la maquinaria e insumos tales como fertilizantes y herbicidas. Según estos autores, debería utilizarse el análisis energético para la toma de decisiones silvícolas (como complemento de los ya empleados normalmente: modelos de simulación sobre el crecimiento y análisis económico). Indicadores como el rendimiento por hectárea (de energía neta) podrían ser muy útiles para ello. En este tipo de análisis se tiene en cuenta la energía incorporada en la fabricación de la maquinaria, fertilizantes y herbicidas.

Por otro lado, es importante destacar la variabilidad en los resultados de diferentes estudios que se mencionó previamente. La mayoría de los estudios de EEUU y Europa evalúan granos (es decir, almidón y no azúcares) para la producción de bioetanol, y plantas oleaginosas para la producción de biodiesel. Algunos estudios han investigado los cultivos con azúcares (incluyendo la caña de azúcar en Brasil). Sobre este último aspecto, el metaanálisis de 47 estudios recientes sobre bioetanol llevado a cabo por Von Blotnitz y Curran (2007) confirma que, hasta el momento, se ha prestado menos atención a la realización de ACV más completos (es decir, que evalúen más aspectos aparte de la energía y el carbono) sobre cultivos tropicales que son fuente de azúcares (en su opinión los más productivos) y sobre materias primas celulósicas (en su opinión, potencialmente más abundantes y sostenibles).

En la actualidad, existen todavía relevantes fluctuaciones en los resultados de las principales investigaciones científicas sobre eficiencia de producción, saldo energético y rendimiento del cultivo, para diferentes tipologías de biocombustibles, tanto de primera como de segunda generación, lo que demuestra, por un lado, la complejidad y diversificación de los supuestos tecnológicos de base y, por el otro, la relativa falta de madurez de la “ciencia” relacionada con los biocombustibles.

## Capítulo 6: Impactos ambientales

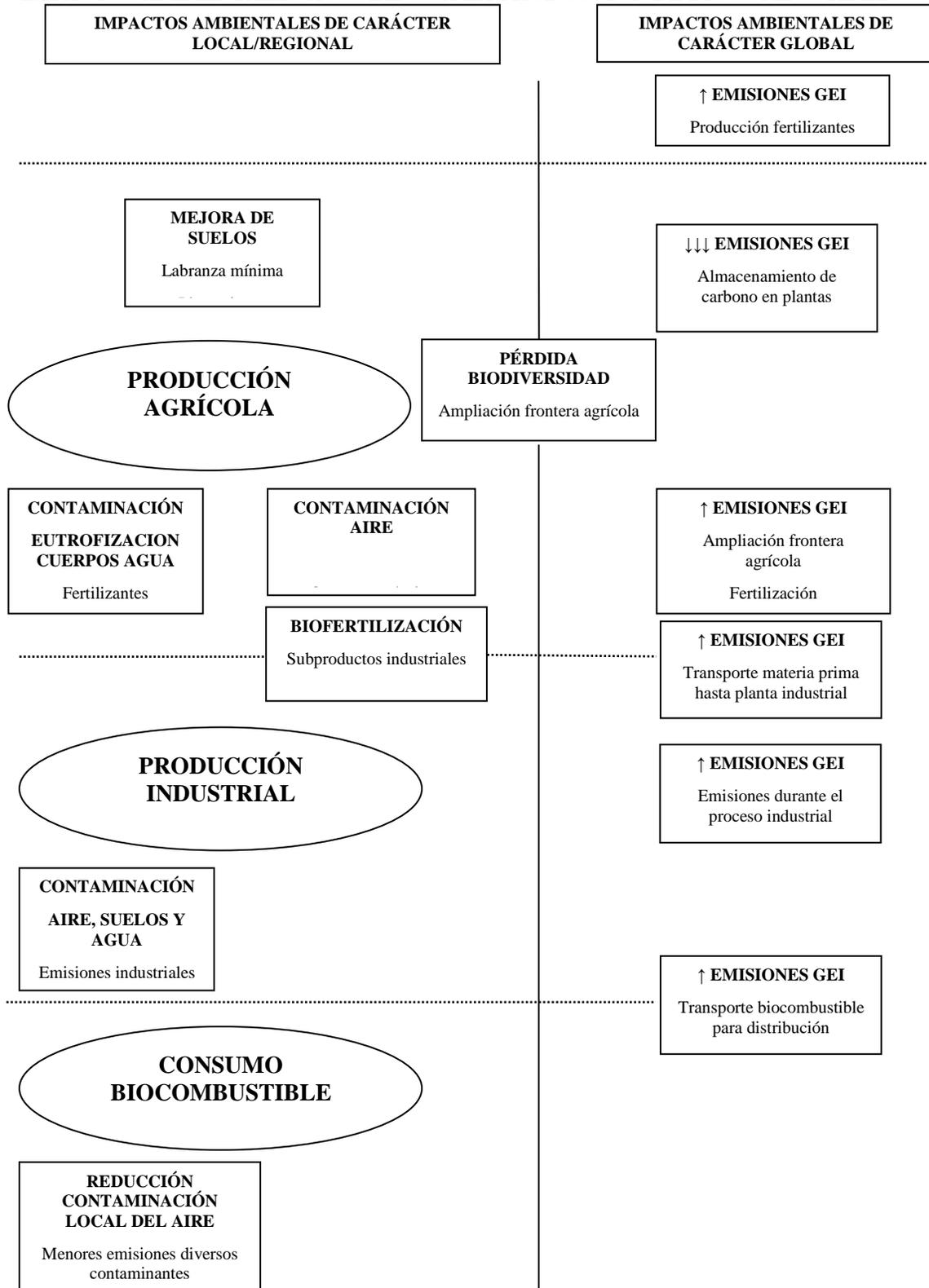
### 6.1 Introducción

Las consideraciones ambientales no siempre constituyen el motor principal de las políticas que están impulsando la utilización de biocombustibles en muchas áreas del mundo. Sin embargo, ello no significa que estas políticas sean neutrales desde el punto de vista ambiental. En efecto, la extensión del uso de los biocombustibles genera tanto beneficios como riesgos ambientales.

El objetivo de este capítulo es dar cuenta de los principales impactos ambientales que se pueden identificar en las etapas de producción y uso de biocombustibles. El análisis se desarrolla siguiendo un enfoque analítico de ciclo de vida (ACV), en el que se identifican tres etapas: a) la producción agrícola, b) la transformación industrial en combustibles líquidos, y c) el consumo como combustible en el sector transporte.

También es necesario considerar actividades de transporte y distribución (de la materia prima y del biocombustible), así como impactos ambientales asociados a la producción de determinados insumos y capital productivo, como fertilizantes, componentes químicos del proceso industrial, maquinaria agrícola, etc. Parte de estos ítems, aunque no todos, son incluidos en las estimaciones totales de emisiones de gases de efecto invernadero. También se pueden distinguir tres niveles de impacto: local, regional y global. El Gráfico 6.1 muestra un panorama de los impactos asociados a la producción y consumo de biocombustibles.

**GRÁFICO 6.1**  
**IMPACTOS AMBIENTALES ASOCIADOS A LA PRODUCCIÓN DE BIOCOMBUSTIBLES**



## 6.2 Impactos ambientales en la etapa de producción agrícola

La etapa de producción agrícola presenta la mayor diversidad de situaciones posibles en función del uso actual de la tierra, del cultivo escogido como materia prima (anual o perenne) y de la forma de producción (uso más o menos intensivo de fertilizantes, pesticidas, maquinaria y agua), principalmente.

Además, en esta fase se registran la mayor parte de los *impactos ambientales negativos* vinculados principalmente al uso intensivo de agroquímicos, degradación de suelos y sobreexplotación de los recursos hídricos. Se trata, no obstante, de situaciones muy dependientes de condiciones específicas locales y, por tanto, no generalizables. El principal riesgo ambiental es, sin duda, la ocupación de áreas naturales para el cultivo de las materias primas para la obtención de biocombustibles, ya sea de manera directa, o bien como efecto de la sustitución y del desplazamiento de otros cultivos. La pérdida de estas áreas naturales, que juegan un papel crucial en la provisión de bienes y servicios ambientales, puede contribuir al aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero por la vía del cambio en el uso de la tierra.

### 6.2.1 Uso de la tierra

Un primer elemento a considerar es el uso actual de la tierra que se va a utilizar para la producción de la materia prima. Desde el punto de vista ambiental, las situaciones posibles van desde los impactos netamente negativos por la tala (y/o quema) de bosques, hasta situaciones potencialmente positivas como la recuperación de terrenos degradados mediante la utilización de especies arbóreas. En otros casos la tierra ya se cultiva y cambia la producción o incluso se mantiene el mismo cultivo.

Cuando el cultivo se asocia a la deforestación, se producen impactos ambientales negativos de pérdida de biodiversidad, afectación de ciclos hídricos, y erosión. La gravedad de estos impactos depende de la magnitud de la expansión de los cultivos y de los bienes y servicios ambientales que proveen los ecosistemas afectados. En ciertos casos los daños pueden tener dimensión regional e incluso global. Cuando la deforestación se realiza a través de quemadas, además de los contaminantes que provocan impactos locales, se liberan gases de efecto invernadero. El promedio de carbono contenido sólo en la vegetación (sin considerar el suelo) de una hectárea de bosque tropical es 120,4 toneladas,<sup>51</sup> su liberación a través de la quema equivale a las emisiones de CO<sub>2</sub> de la combustión de 177.000 litros de gasolina.

Las políticas de apoyo y los objetivos de sustitución de combustibles convencionales por biocombustibles, especialmente en los países desarrollados,<sup>52</sup> están generando una preocupación creciente en relación a los probables impactos asociados con la expansión de la frontera agrícola en los países en desarrollo. Un estudio de OECD<sup>53</sup> estima que la sustitución de un 10% de los combustibles fósiles por biocombustibles en EEUU, Canadá y la Unión Europea (UE15) requeriría entre 30% y 70% de sus respectivas áreas de cultivo actuales.<sup>54</sup> Un desplazamiento de combustibles convencionales de esta magnitud implicaría entonces enormes dificultades para

---

<sup>51</sup> (IPCC, 2000) Uso de la tierra, cambio en el uso de la tierra y silvicultura.

<sup>52</sup> Muchos países en desarrollo también se han fijado objetivos de sustitución de combustibles convencionales por biocombustibles y están implementando programas de apoyo.

<sup>53</sup> (OECD, 2005) - Agricultural Market Impacts of Future Growth in the Production of Biofuels.

<sup>54</sup> Asumiendo las mismas tecnologías de producción, rendimientos de cultivo y en ausencia de comercio internacional. En otro estudio de la IEA (IEA, 2004) (Biofuels for transport: An International perspective, OECD, París), la sustitución del 5% en 2010 del combustible convencional por etanol y biodiesel requiere la utilización del 21% de la tierra cultivada en EEUU y el 20% en la Unión Europea.

compatibilizar las necesidades de tierra para cultivos energéticos con las necesidades para la producción de alimentos y la protección de los espacios naturales. La conversión de áreas naturales a tierras de cultivo se vería incentivada por un escenario previsible donde la tendencia del mercado sea hacia un aumento de los precios internacionales.

El extraordinario crecimiento de la producción de soja en países como Brasil y Argentina se explica en gran medida por la incorporación de nuevas tierras. Así, un 41% del incremento en la superficie sembrada con soja en Argentina (entre 1996 y 2004 pasó de 6 a 14 millones de ha.) se basó en la conversión de bosques y sabanas (CEPAL, Medio ambiente y desarrollo, 118). Estudios recientes de la expansión de la soja en el sur de la Amazonía brasileña,<sup>55</sup> muestran la responsabilidad creciente de este cultivo en los procesos de deforestación, en comparación con la conversión a producción pecuaria. En el Estado de Mato Grosso, en el periodo 2001-2004, el área deforestada para la producción de soja duplicó la destinada a pastos. La investigación encontró una correlación directa entre el área deforestada y el precio medio anual de la soja. El incremento en la producción de biodiesel a partir de soja intensificaría los procesos de conversión de ecosistemas naturales a la agricultura. Actualmente, la mayor parte del biodiesel producido en EE.UU. utiliza soja como materia prima y las metas de producción en Brasil descansan principalmente en el aceite de soja (sustitución de 2% del diesel oil en 2008 y de 5% en 2014, es decir B2 y B5).

Análogamente, la expansión de la producción de aceite de palma en los países del sudeste asiático responde principalmente a la creciente demanda de biodiesel. El crecimiento de la producción está basado en el incremento de la superficie cultivada y en un uso más intensivo de fertilizantes. Una de las consecuencias de esta expansión es la conversión de grandes superficies de bosque tropical al cultivo de palma aceitera. El gobierno de Indonesia apoya este desarrollo y está promoviendo el establecimiento de 3 millones de hectáreas de nuevas plantaciones de palma aceitera en un lapso de cinco años (AIDEnvironment, 2006; The Kalimantan Border Oil-Palm Mega Project).<sup>56</sup>

En Brasil la expansión de las plantaciones de caña de azúcar en los últimos tiempos ha tenido lugar principalmente por sustitución de otros cultivos, en el centro-sur del país, sin afectar directa y significativamente las áreas ambientalmente más sensibles. La ocupación de nuevos territorios (“cerrados”) fue relativamente pequeña, salvo a través de la presión originada por las actividades agropecuarias desplazadas. Actualmente existe un área potencial de expansión del cultivo que no afectaría áreas naturales. En otras condiciones de desarrollo, un impulso a la producción de caña de azúcar en algunos países de la región podría implicar la pérdida de bosques y otros hábitat naturales.<sup>57</sup>

La conversión de espacios naturales causada, directa o indirectamente, por la expansión de cultivos energéticos constituye la principal amenaza ambiental asociada al fomento de los biocombustibles. En relación con el problema del calentamiento global, se puede dar la paradoja de que la reducción de emisiones asociada a un menor uso de combustibles fósiles se vea compensada, en mayor o menor medida (incluso hasta generando emisiones netas de GEI), por un incremento de las emisiones asociado al cambio en el uso del suelo.

---

<sup>55</sup> PNAS, 2006 - Cropland expansion changes deforestation dynamics in the southern Brazilian Amazon, Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA, Douglas C. Morton et al.

<sup>56</sup> En Holanda, la importación de aceite de palma de esta zona está siendo seriamente cuestionada por los impactos ambientales asociados (IHT, 31 de Enero de 2007).

<sup>57</sup> Es posible encontrar referencias explícitas a la expansión de la frontera agrícola en algunas propuestas para el fomento de la producción de etanol. La propuesta de Ley de Oxigenación de Combustibles de Guatemala contempla incrementar la superficie cultivada en 32.000 ha. ampliando la frontera agrícola del país.

Desde la perspectiva ambiental, también podemos encontrar situaciones con impacto positivo en las que el cultivo de la materia prima para la producción del biocombustible se realiza en tierras degradadas, utilizando especies que contribuyen a estabilizar los suelos (puede ser el caso de especies como la *Jatropha*<sup>58</sup> cuyas semillas se utilizan en la producción de biodiesel).

Independientemente de las situaciones descritas anteriormente, el desarrollo comercial de tecnologías para la producción de biocombustibles a partir de lignocelulosa (biomasa procedente de pastos, árboles y residuos forestales) disminuiría drásticamente los riesgos relativos a la pérdida de espacios naturales, así como otros impactos ambientales negativos que se analizan a continuación.

## 6.2.2 Otros impactos: suelos, agua y aire

Algunos de los impactos ambientales más importantes en la fase de producción agrícola se relacionan con la intensidad de cultivo y con determinadas prácticas culturales. La obtención de altos rendimientos por hectárea requiere, además de buen material genético,<sup>59</sup> del uso intensivo de agroquímicos (fertilizantes, pesticidas) y agua.

Los impactos ambientales asociados al uso de fertilizantes, especialmente los nitrogenados, son de tres tipos:

- arrastre del nitrógeno y del fósforo hacia cuerpos de agua provocando la proliferación de algas y la disminución del oxígeno disponible (eutrofización);
- problemas graves de salud si la lixiviación de nitratos y fosfatos llega a acuíferos usados para el abastecimiento de poblaciones;
- por último, el uso de fertilizantes incrementa las emisiones de gases de efecto invernadero a través de dos vías: durante el proceso de producción de los fertilizantes sintéticos y en su aplicación al cultivo a través de la liberación de N<sub>2</sub>O (uno de los gases de efecto invernadero).<sup>60</sup>

El uso de pesticidas también se relaciona con la contaminación del suelo, agua y aire en procesos de bio-acumulación. En concentraciones altas pueden provocar daños importantes a la salud. El impacto ambiental de los agroquímicos depende de factores tales como la capacidad de asimilación del medio, la modalidad de aplicación (aplicación correcta o no, en términos de dosis y momento), y el tipo de producto utilizado, así como de la existencia y cumplimiento de normativa sobre el uso de agroquímicos. En el caso de Brasil, las inversiones en investigación agrícola han generado variedades resistentes a diferentes plagas y enfermedades por lo que el uso de pesticidas no es especialmente alto respecto a otros cultivos.

Considerando el uso de *macronutrientes* del suelo, es decir nitrógeno, fósforo y potasio, los cultivos presentan diferentes grados de eficiencia. Ello se traduce en distintas necesidades de fertilización y en situaciones de pérdida progresiva de nutrientes y de fertilidad del suelo cuando no se proporcionan los requerimientos nutricionales mínimos. En la Tabla 6.1 se presentan los resultados para diferentes cultivos en términos de energía de biomasa por gramo de macronutriente utilizado por el cultivo.

---

<sup>58</sup> La especie *Jatropha curcas* es una oleaginosa perenne rústica, resistente a sequías y de porte arbustivo. Recibe distintos nombres en los países de la región: tempate, piñón botija, lechero, etc.

<sup>59</sup> En varios de los cultivos más importantes para la producción de biocombustibles (maíz, soja, colza) la utilización de semillas transgénicas está muy extendida, con los riesgos ambientales asociados. La utilización de este material genético requiere del establecimiento y del cumplimiento de normas relativas a bioseguridad.

<sup>60</sup> Las emisiones de GEI asociadas a la producción y uso de fertilizantes representan un porcentaje considerable de las emisiones totales en los procesos de producción de biocombustibles. En los proyectos presentados en el marco del MDL, el porcentaje oscila entre 30-50%.

**TABLA 6.1**  
**EXTRACCIÓN DE NUTRIENTES POR UNIDAD DE ENERGÍA GENERADA SEGÚN CULTIVO**

Cultivo	Gramo de Nitrógeno por MJ <sup>61</sup>	Gramo de Óxido de Fósforo por MJ	Gramo de Óxido de Potasio por MJ
Bioetanol			
Caña azúcar	0,7	0,5	1,9
Maíz	2,4	1,0	2,4
Biodiesel			
Soja <sup>62</sup>	8,3	3,0	13,0
Girasol	4,0	2,0	8,0
Palma	0,3	0,2	1,1
Colza	4,7	2,0	6,3

Fuente: CEPAL, a partir de varias fuentes.

En este caso sólo se considera la energía contenida en los biocombustibles, obtenida a partir de los rendimientos en la producción agrícola y en la conversión a bioetanol o biodiesel sin considerar la energía contenida en los sub-productos. La caña de azúcar y la palma presentan los mayores niveles de eficiencia en la utilización de nutrientes. En el caso de la producción de caña de azúcar, la vinaza (un residuo de la producción industrial) es prácticamente reciclada en su totalidad mediante sistemas de fertirrigación, lo que reduce las necesidades de aplicación de fertilizantes sintéticos. Otro de los subproductos, la “torta” residual (filtercake), también se utiliza como fertilizante.

Un estudio más detallado sobre el uso de agroquímicos llevado a cabo en EE.UU. comparando entre etanol a partir de maíz y biodiesel a partir de soja (PNAS, 2006) muestra mejores resultados en el caso del segundo cultivo. Por cada unidad de energía ganada, el biodiesel de soja usa sólo el 1,0% del nitrógeno, el 8,3% del fósforo y el 13% del pesticida (en peso) del que requiere el etanol de maíz. Este estudio considera los balances netos de energía incluyendo sub-productos y la energía utilizada en los procesos agrícola e industrial.

Según el tipo de cultivo utilizado como materia prima, también se pueden anticipar algunos impactos ambientales. Así, los cultivos leñosos y los cultivos como la caña de azúcar, que permanecen varios años hasta su renovación, son en general menos propensos a la erosión que los cultivos de carácter anual (soja, girasol), si bien para estos últimos existen técnicas (siembra directa) que reducen los riesgos de erosión y degradación de suelos. Por otro lado, los cultivos leñosos cumplen la función de sumideros y reservorios de carbono. Datos de Brasil muestran que las pérdidas de suelo por erosión para la caña de azúcar son relativamente pequeñas (12,4 ton/ha/año) en comparación con otros cultivos como arroz, soja o frijol. (PPT UNICAMP, 2005).

Aunque existe la idea generalizada de que la principal causa de pérdida de nutrientes del suelo es la erosión, la magnitud de las pérdidas asociadas a la extracción de la cosecha y de los residuos es muy similar a aquella.<sup>63</sup> La degradación de suelos a causa de la erosión depende de una serie de variables entre las que el tipo de cultivo empleado es sólo uno de los factores a considerar, y no el más importante.<sup>64</sup> En la Tabla 6.2 se presenta el rango de coeficientes que se utiliza para estimar la pérdida de suelos por erosión correspondiente a diversos cultivos, de

<sup>61</sup> MJ: megajoule.

<sup>62</sup> Si bien la soja presenta requerimientos muy elevados de nitrógeno (N), una gran parte de estos son cubiertos vía la Fijación Biológica del Nitrógeno (FBN). En el cuadro se ha considerado que la mitad de los requerimientos nutricionales se cubren de esta forma.

<sup>63</sup> Valuing Nutrients in Soil and Water, 2004.

<sup>64</sup> De acuerdo a la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos (USLE en sus siglas en inglés), las variables involucradas son: lluvia e intensidad de lluvia, características propias del suelo, pendiente, operaciones del cultivo y prácticas de conservación de suelos.

acuerdo a las prácticas agronómicas habituales para cada uno de ellos. Cuanto más alto es el factor, mayor contribución a la pérdida de suelos.

**TABLA 6.2**  
**FACTORES RELATIVOS A PRÁCTICAS DE CULTIVO UTILIZADOS EN LA USLE<sup>65</sup>**

Práctica	Promedio anual factor
Suelo descubierto	1,00
Bosque	0,001
Maíz (alta productividad, labranza convencional)	0,50-0,90
Maíz (baja productividad, labranza mínima o cero)	0,02-0,10
Soja (labranza convencional) <sup>66</sup>	0,20-0,50
Árboles de palma	0,10-0,30
Caña de azúcar	0,13-0,40

Fuente: Morgan (1995) Soil Erosion & Conservation.

El impacto de la expansión del monocultivo de soja en los suelos y acuíferos de la pampa húmeda argentina es objeto de arduas discusiones. Por un lado se reconoce el efecto positivo de la siembra directa en la disminución de la erosión de suelos. Por otro lado se argumenta que la siembra directa implica un mayor uso de glifosato aunque se reduzca el uso de otros pesticidas. En áreas sujetas al monocultivo de soja se ha evidenciado la pérdida de materia orgánica, la pérdida neta de nutrientes y, por tanto, una disminución de la fertilidad del suelo. Respecto a la contaminación de acuíferos por pesticidas, actualmente no existen estudios concluyentes. (CEPAL, 2005 SMAyD, 118).

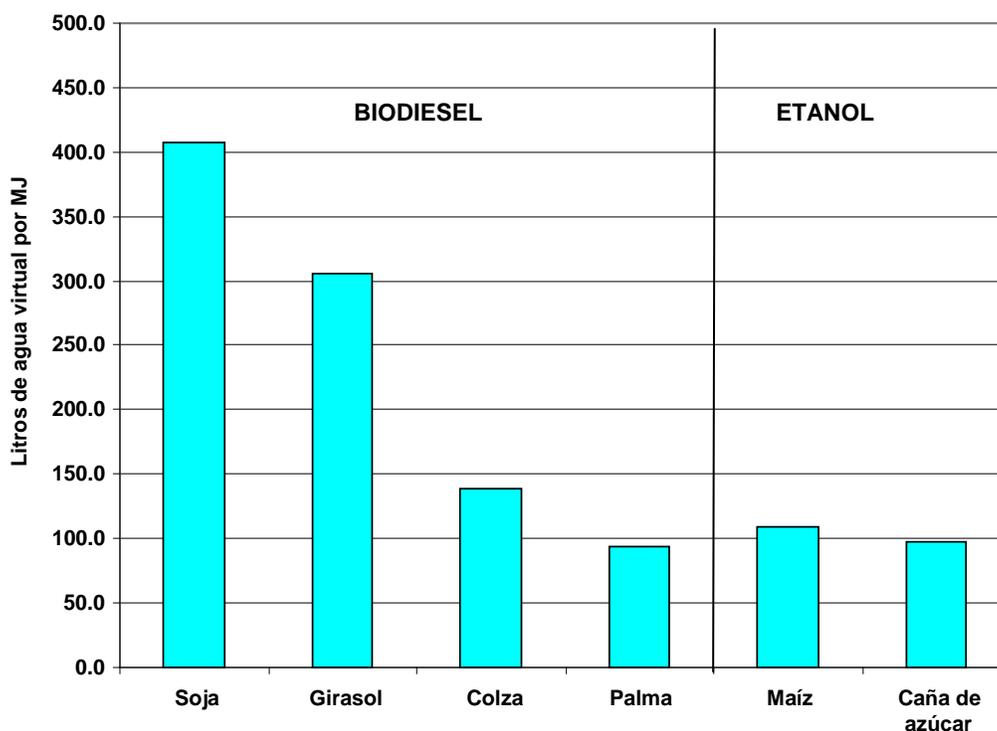
En relación al consumo de agua, actualmente la mayor parte de la producción agrícola destinada a biocombustibles depende principalmente del agua de lluvia. Es el caso de la producción de maíz en EE.UU. (sólo un 15% de la superficie total destinada a este cultivo es irrigada) y de caña de azúcar en Brasil. En el Gráfico 6.2 se muestra la utilización de agua virtual<sup>67</sup> en cada cultivo por unidad de energía asociada al biodiesel o al bioetanol. Esta información se obtuvo a partir de datos sobre el promedio mundial de uso de agua por tonelada de cada producto. Los cultivos más eficientes en el uso de agua son la caña de azúcar (bioetanol) y la palma (biodiesel).

<sup>65</sup> USLE: Ecuación Universal de Pérdida de Suelos

<sup>66</sup> En el caso de labranza cero, cada vez más extendida en el cultivo de soja, el factor se reduce considerablemente (entre 0,03 y 0,06) Brady, N.C., Weil, R.R. 1999. *The Nature and Properties of Soils*. 13th Ed. Macmillan Publishing. New York. 881p.

<sup>67</sup> Agua virtual se define como el volumen teórico de agua requerido para producir un bien o servicio.

**GRÁFICO 6.2**  
**CONSUMO DE H<sub>2</sub>O VIRTUAL EN LA PRODUCCIÓN AGRÍCOLA**  
**POR UNIDAD DE ENERGÍA GENERADA**



Fuente: CEPAL y Chapagain, A.K. and Hoekstra, A.Y. (2004) 'Water footprints of nations', Value of Water Research Report Series N° 16, UNESCO-IHE, Delft, the Netherlands.

Pese a estos datos, resulta difícil establecer generalizaciones ya que la escasez de agua es un fenómeno que tiene una expresión principalmente local y está asociado a condiciones específicas. La escasez y la competencia por el agua resultan de desequilibrios entre la disponibilidad, por un lado, y la demanda por otro, en contextos institucionales determinados. Como consecuencia, resulta difícil evaluar los efectos que el impulso a la producción de biocombustibles pueden tener sobre la disponibilidad de recursos hídricos en la fase agrícola. Para responder a un aumento en la demanda de materias primas agrícolas para la producción de biocombustibles existen dos estrategias no excluyentes entre sí que pueden repercutir sobre los recursos hídricos:

- *Intensificar la producción en la superficie existente.* Una de las formas de aumentar la producción por hectárea es la transformación de tierras al sistema de regadío, acompañada generalmente de un incremento en el uso de agroquímicos. En estos casos una mala gestión de los recursos hídricos puede llevar a la sobreexplotación y contaminación de acuíferos. Otros riesgos ambientales asociados con las áreas bajo riego son los problemas de salinización e hidromorfismo en suelos y la proliferación de vectores de algunas enfermedades como la malaria.
- *Incrementar la superficie bajo cultivo.* Puede ser a través de la utilización de tierras no agrícolas o de la sustitución de cultivos preexistentes. La expansión de la frontera agrícola asociada a los cultivos energéticos, tanto en forma directa como indirecta (i.e. cuando el cultivo sustituido por la materia prima para la producción de biocombustibles

se desplaza hacia tierras no agrícolas), puede tener efectos significativos sobre la disponibilidad de recursos hídricos, especialmente cuando la incorporación de tierras se hace a costa de áreas boscosas. Los bosques juegan un papel clave en la captura del agua y en la regulación del ciclo hídrico, por lo que su sustitución (sobre todo por cultivos anuales) genera un aumento de la escorrentía y por lo tanto de la disponibilidad de agua. Este fenómeno también aumenta el riesgo de inundaciones a escala local. Cuando la conversión de tierras y la pérdida de bosques es de gran magnitud puede verse afectado incluso el régimen de lluvias regional.

Determinados cambios tecnológicos, como la obtención de material genético más eficiente en el uso de agua y más resistente a sequías y al estrés hídrico, así como sistemas más eficientes de riego, contribuirían a un uso más racional de los recursos hídricos.

En el caso del biodiesel obtenido a partir de aceites usados y grasas animales, la principal ventaja desde el punto de vista ambiental es el reciclaje de estos productos, evitando su vertido, la contaminación de cuerpos de agua y el incremento en los costos de depuración de aguas residuales donde se producen estos residuos.

Respecto a las prácticas culturales, en muchos países es una práctica habitual la quema de las plantaciones de caña para eliminar residuos vegetales y malezas que reducen la eficiencia de la cosecha. Este tipo de práctica afecta a las poblaciones y ecosistemas cercanos y constituye uno de los factores de emisión de gases de efecto invernadero. El impacto de esta práctica en la incidencia de enfermedades respiratorias está en discusión; otros impactos generan molestias en las poblaciones, tales como la contaminación visual y el aumento en la suciedad de la ropa por las partículas y pavesas del aire. Se trata de una práctica generalmente regulada, y en algunos países como Brasil se está prohibiendo de manera progresiva (para alcanzar el 100% en 2018) en zonas donde es posible la cosecha mecanizada (ESMAP, 2005).

Como ya se mencionó en el apartado sobre el uso de la tierra, el desarrollo comercial de tecnologías para la producción de biocombustibles a partir de lignocelulosa (biomasa procedente de pastos, árboles, residuos forestales, agrícolas y agroindustriales) disminuiría sensiblemente los problemas ambientales relativos al suelo, agua y aire, en comparación con los cultivos energéticos actuales.

### **6.3 Impactos ambientales en la etapa de transformación industrial**

Uno de los principales residuos que se genera en la fase de destilación y deshidratación durante la producción de etanol a partir de la caña de azúcar es la vinaza, un efluente industrial rico en materia orgánica y potasio. En el pasado, la disposición de este efluente en cuerpos de agua superficiales generó graves problemas ambientales. Actualmente, la vinaza es reciclada prácticamente en su totalidad mediante sistemas de fertirrigación. Otro de los subproductos de la producción de biocombustibles, la “torta” residual (filtercake) se utiliza como suplemento en la alimentación animal y también como fertilizante.

En EE.UU. el vertido de efluentes de las plantas de producción de etanol a partir de granos, se ha convertido en una preocupación ambiental importante.<sup>68</sup>

---

<sup>68</sup> ESMAP, 2005; Ted Williams. "Drunk on Ethanol." Audubon. Aug. 2004. <http://magazine.audubon.org/incite/incite0408.html>).

Las emisiones de CO, NO<sub>x</sub>, COV<sup>69</sup> (especialmente aldehídos), de material particulado y olores, requiere de sistemas de control y de filtros de acuerdo a lo exigido por la legislación vigente en cada país (se trata de proyectos que deben llevar a cabo una evaluación de impacto ambiental). La contaminación del aire en la producción de bioetanol constituye un problema serio en EE.UU.; desde 1992 la EPA<sup>70</sup> comenzó a investigar el incumplimiento de la legislación vigente sobre contaminación del aire e incrementó los controles y el requerimiento de equipos para reducir las emisiones de contaminantes del aire.<sup>71</sup> Otro problema ambiental es el consumo de agua en el proceso industrial.<sup>72</sup>

Respecto a la producción de biodiesel, se puede distinguir el proceso en el que se obtienen los aceites vegetales, las grasas animales o el aceite de cocina, del proceso en el que a partir de estos insumos se obtiene el biodiesel junto con la glicerina. En general, la fabricación de biodiesel no implica emisiones significativas de contaminantes al aire. Durante este proceso pueden producirse emisiones marginales de metanol por venteo y de SO<sub>x</sub>.<sup>73</sup>

Respecto a vertidos a cuerpos de agua, la producción de biodiesel es un proceso que genera aguas aceitosas y jabonosas; dependiendo de la eficiencia del separador de aceites, pueden producirse mayores o menores emisiones de aceites que afectarían la DBO.<sup>74</sup> El tratamiento de efluentes también dependerá de la norma ambiental establecida para el cuerpo receptor (cuando ésta exista).

Un estudio llevado a cabo en EE.UU. del ciclo de vida del biodiesel obtenido a partir de la soja en comparación con el del diesel oil (Brinkman *et al.*, 2005), muestra los siguientes resultados:

El consumo de agua en la producción de biodiesel es en torno a tres ordenes de magnitud mayor que el correspondiente al diesel oil convencional (32,16 litros de agua por MJ en el caso del biodiesel, frente a 0,01 lt/MJ en el caso del diesel oil)

En el ciclo de vida del diesel oil las emisiones de aguas residuales son casi cinco veces mayores que las generadas en el proceso del biodiesel (0,04 litros/MJ frente a 0,17 litros/MJ en el caso del diesel oil). La mayor parte de las aguas contaminadas (64%) se producen en el proceso de transformación industrial a biodiesel.

El biodiesel genera sólo un 5% de las sustancias peligrosas que genera el diesel oil.

En la fase de producción del aceite vegetal pueden producirse situaciones diversas, dependiendo de la materia prima y del proceso utilizado, así como de los equipos (principalmente filtros) utilizados para reducir las emisiones de efluentes (aceites y grasas minerales) hacia cuerpos de agua. La aplicación y fiscalización de la normativa existente, y el funcionamiento del proceso de evaluación de impacto ambiental de los proyectos en cada país constituye un factor determinante del impacto ambiental del proceso.

---

<sup>69</sup> Monóxido de Carbono (CO), Óxidos de Nitrógeno (NO<sub>x</sub>), Compuestos Orgánicos Volátiles (COV).

<sup>70</sup> EPA: Environmental Protection Agency, Agencia de Protección Ambiental de los EE.UU.

<sup>71</sup> Entre 2002 y 2005 la EPA llegó a acuerdos con los dos principales productores de etanol procedente de grano (ADM y Cargill), lo que obligó a estas empresas a pagar más de 485 millones de dólares en equipos para reducir las emisiones de gases contaminantes en 79 plantas a lo largo del país. "Ethanol Plant Clean Air Act Enforcement Initiative." U.S. Environmental Protection Agency. <http://www.epa.gov/compliance/resources/cases/civil/caa/ethanol/>

<sup>72</sup> En Brasil se ha reducido el consumo de agua desde 5m<sup>3</sup> hasta 1,83 m<sup>3</sup> por tonelada de caña (PPT Suani); es decir unos 26 litros de agua por cada litro de etanol (considerando una producción de 70 litros/tonelada de caña).

<sup>73</sup> SO<sub>x</sub>: óxidos de azufre.

<sup>74</sup> DBO: demanda bioquímica de oxígeno, cantidad de oxígeno que necesitan los microorganismos para descomponer la materia orgánica presente en un efluente.

## 6.4 Impactos ambientales en la etapa de consumo de los biocombustibles

### 6.4.1 La contaminación del aire en las ciudades y el transporte rodado

En la mayor parte de las ciudades de América Latina y el Caribe, el transporte vial es el principal responsable de la contaminación del aire. Los principales contaminantes locales son el monóxido de carbono (CO), el material particulado (MP), el dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), los óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) y los compuestos orgánicos volátiles (COV), categoría esta que incluye los hidrocarburos (HC), aldehídos y compuestos aromáticos como el benceno (ver Tabla 6.3).

**TABLA 6.3**  
**PRINCIPALES CONTAMINANTES DEL AIRE LOCALES**

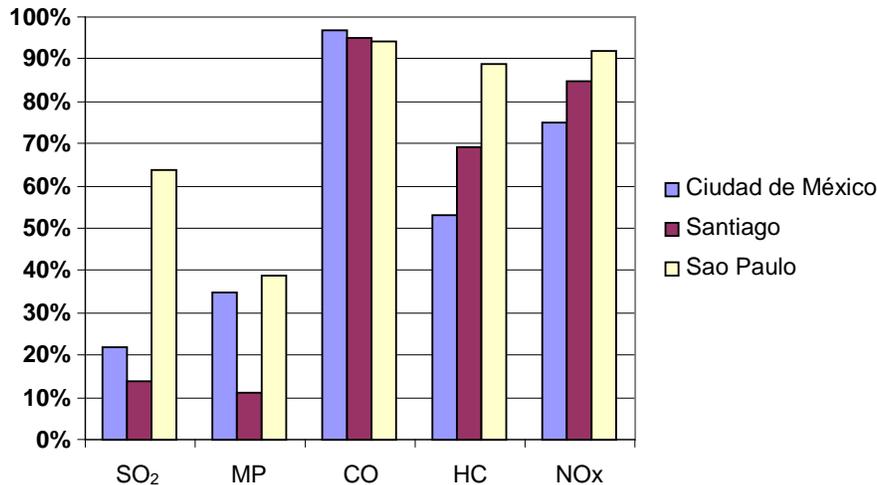
Contaminante	Características	Efectos generales sobre la salud	Efectos generales sobre el medio ambiente
Dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> )	Es un contaminante primario y también precursor en la formación de MP10 y MP2,5 <sup>75</sup> en forma de sulfatos; también puede generar ácido sulfúrico	Agravamiento de problemas respiratorios (edema, asma, bronquitis) y cardiovasculares	Contribuye a la formación de lluvia ácida, con corrosión en materiales y daños a la vegetación
Óxidos de nitrógeno (NO <sub>x</sub> )	Es un contaminante primario y también precursor en la formación de MP2,5 y de ozono	Daños a pulmones y vías respiratorias, formación de edemas, aumento en la susceptibilidad a infecciones respiratorias	Contribuye a la formación de lluvia ácida, con corrosión en materiales y daños a la vegetación
Monóxido de carbono (CO)	Gas resultante de la combustión incompleta en los vehículos	Reduce la capacidad de transporte de oxígeno a la sangre; afecta a los sistemas cardiovascular, nervioso y pulmonar	
Material particulado MP10 y MP2,5	Partículas dispersas en la atmósfera como polvo, cenizas, hollín, partículas metálicas, cemento y polen de diámetro igual o inferior a 10 µm; la fracción respirable más pequeña es conocida como MP2,5, es decir inferior a 2,5µm	Debido a su tamaño puede alcanzar los alvéolos pulmonares; potencial cancerígeno y mutagénico; alergias, asma, bronquitis crónica, silicosis	Daño a la vegetación, deterioro de visibilidad y contaminación de suelos
Ozono (O <sub>3</sub> )	Es un contaminante secundario resultante de la reacción química entre NO <sub>x</sub> y compuestos orgánicos en presencia de luz solar	Tos y dolor de cabeza, irritación de ojos, nariz y garganta; dolor de tórax; cierre de las vías respiratorias; náuseas; aumento en la incidencia de ataques asmáticos	Daños a la vegetación y disminución de cosechas
Compuestos orgánicos volátiles (COV)	Gases fotoquímicamente reactivos, precursores de ozono	Cancerígenos y mutagénicos	

Fuente: CETESB (2006) y CONAMA (2006).

<sup>75</sup> MP10 y MP2,5: Partículas dispersas en la atmósfera como polvo, cenizas, hollín, partículas metálicas, cemento y polen de diámetro igual o inferior a 10 micrones y 2,5 micrones respectivamente (1 micrón = 10<sup>-6</sup> metros).

En el Gráfico 6.3 se puede observar la importancia de la contribución del transporte a los problemas de contaminación en las ciudades; los principales impactos de la contaminación son daños a la salud, a los materiales de construcción (edificios y viviendas), y principalmente a la vegetación, suelos y cuerpos de agua a través de la lluvia ácida.

**GRÁFICO 6.3**  
**CONTRIBUCIÓN DEL TRANSPORTE RODADO A LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE**  
**EN TRES CIUDADES DE AMÉRICA LATINA**



Fuente: WRI, 1997.

Diferentes variables afectan a la magnitud y poder contaminante de las emisiones de los vehículos, desde el tipo y calidad del combustible (gasolina, diesel oil, gas natural comprimido, gas licuado de petróleo), pasando por la edad de los vehículos hasta su mantenimiento.

Por ejemplo, el combustible diesel se considera el principal responsable de la contaminación por material particulado fino. Las emisiones de SO<sub>2</sub> dependen en gran parte del contenido de azufre del combustible. La edad del motor y la ausencia de catalizadores, inyectores y filtros de partículas aumentan notablemente el poder contaminante de los vehículos. Si bien no se disponen de datos estadísticos, en muchos de los países de América Latina y el Caribe es posible encontrar una alta proporción de vehículos de más de diez años de antigüedad.

#### **6.4.2 Cambios en contaminantes locales asociados a la introducción de biocombustibles**

Los biocombustibles son generalmente menos tóxicos que los combustibles fósiles ya que pueden reducir las emisiones de CO (monóxido de carbono), HC (hidrocarburos), SO<sub>2</sub> (dióxido de azufre) y material particulado. Por el contrario, en algunos casos, como en las mezclas de bioetanol con gasolina, se producen aumentos en las emisiones de COV (compuestos orgánicos volátiles). El impacto de los biocombustibles (bioetanol y biodiesel) en las emisiones de NO<sub>x</sub> generalmente es de poca magnitud y puede tener signo positivo o negativo dependiendo de las condiciones. Por otro lado, los biocombustibles presentan menos riesgos de toxicidad durante su manipulación.

En general, la contribución de los biocombustibles a la mejora de la calidad del aire en las ciudades es poco significativa cuanto mayor es la calidad del combustible convencional y menor es

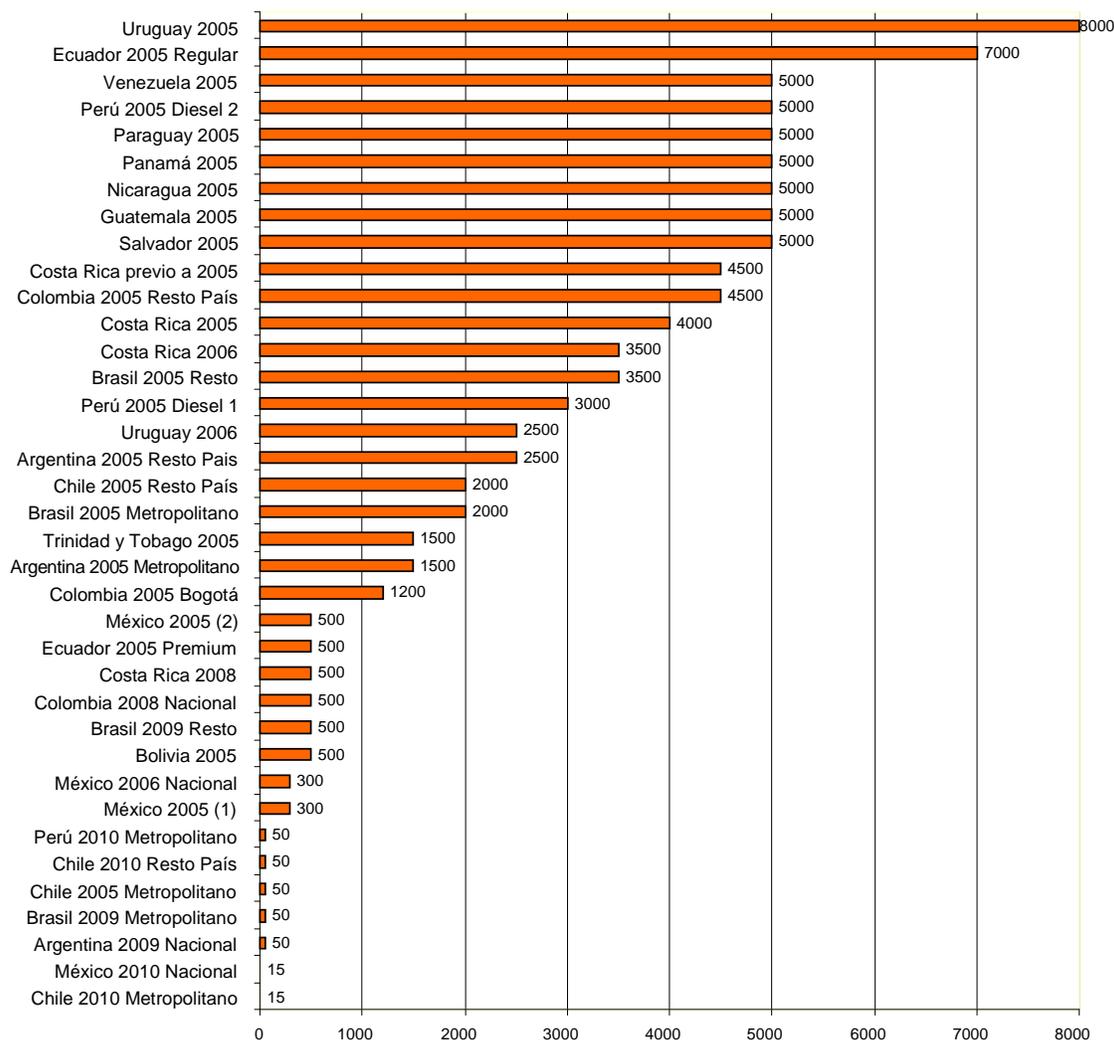
la edad del parque vehicular. Existe cierto potencial de contribución positiva significativa en el caso de ciudades con un promedio de edad de los vehículos alto y estándares de emisiones de vehículos y calidad de los combustibles baja. Esta situación puede ser característica de algunos países de la región, aunque en la mayor parte de los países se registraron avances en estas áreas. Por otro lado, las altas tasas de crecimiento del parque vehicular limitan considerablemente el potencial efecto positivo de estas medidas. Una política de mejora de la calidad del aire en las ciudades precisa descansar de manera principal en otras medidas y la introducción de biocombustibles sólo puede considerarse como una medida de carácter complementario.

En los países desarrollados, la implementación de estándares de control de emisiones cada vez más estrictos reduce los potenciales impactos positivos de los biocombustibles en la calidad del aire respecto de los impactos asociados a los combustibles convencionales. En los países en desarrollo, la contribución de los biocombustibles a la reducción de la contaminación local del aire puede ser bastante mayor, especialmente cuando los estándares respecto a emisiones son menos estrictos (se pueden utilizar combustibles convencionales más contaminantes) y la edad de los vehículos es mayor.

Uno de los beneficios más importantes de los biocombustibles es la reducción de las emisiones de algunos contaminantes locales. El contenido de azufre de la gasolina y el diesel está directamente relacionado con las emisiones de  $\text{SO}_2$ . Los biocombustibles *están libres de azufre*, por lo que su uso, ya sea sustituyendo totalmente al combustible fósil o como mezcla, reduce las emisiones de  $\text{SO}_2$ . La magnitud de los beneficios asociados a la reducción de emisiones de  $\text{SO}_2$  depende, entre otros factores, del contenido de azufre de los combustibles convencionales y de la edad del parque vehicular. Cuanto mayor sean el contenido en azufre de los combustibles fósiles y la edad promedio de los vehículos, mayor es el beneficio potencial de la introducción de los biocombustibles.

En el Gráfico 6.4 se puede observar el contenido de azufre en el diesel oil en partes por millón (ppm) en varios países de América Latina y el Caribe. En algunos países se distingue entre el uso en áreas metropolitanas y en el resto del país. Los países donde los beneficios potenciales de introducir biodiesel son mayores desde el punto de vista de las emisiones específicas de  $\text{SO}_2$  (emisiones por unidad de combustible utilizado) son Uruguay, Ecuador, Venezuela y los países centroamericanos, mientras que los beneficios, en términos de emisiones específicas, serían de poca magnitud en Perú, Chile, Argentina, Brasil y México, especialmente porque en los años próximos entran en vigor normativas que introducen reducciones adicionales del contenido en azufre del combustible diesel.

**GRÁFICO 6.4**  
**CONTENIDO DE AZUFRE (PPM) EN EL DIESEL OIL DE PAÍSES DE AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE**



Fuente: CEPAL, a partir de varias fuentes.

### 6.4.3 Cambios en los contaminantes locales asociados al uso de bioetanol

Las principales ventajas ambientales vinculadas al bioetanol y al gasohol<sup>76</sup> son la reducción en emisiones de CO, hidrocarburos y otros compuestos (como bencenos). Cuanto más antiguo es el motor (con carburador, sin catalizador), más significativo es el potencial de ventajas ambientales. En los motores más modernos la utilización del gasohol lleva a una mejora marginal en las emisiones. Entre los aspectos que explican este hecho se encuentra el aumento en las emisiones específicas de aldehídos y de NOx asociados a las mezclas de bioetanol y gasolina. Por otro lado, la introducción de bioetanol permite sustituir el MTBE (producto con riesgos ambientales,

<sup>76</sup> Mezcla de gasolina con alcohol.

crecientemente prohibido en todo el mundo) como oxigenante y el plomo,<sup>77</sup> u otras sustancias igualmente tóxicas, para aumentar el octanaje o disminuir la tendencia a la detonación (CEPAL, 2004, LC/MEX/L.606).

La Compañía Estatal de Tecnología de Saneamiento Básico y Protección Ambiental (CETESB), vinculada a la autoridad ambiental del gobierno de San Pablo estima que la adición de bioetanol a la gasolina generó reducciones del orden del 50% en la emisión de CO de la flota antigua de vehículos. En el lado negativo, los vehículos movidos por bioetanol y gasohol son los principales responsables de la emisión de aldehídos. Antes de 1980, cuando la gasolina era el único combustible en uso, las emisiones de CO eran superiores a 50g/Km recorrido por un vehículo estándar; actualmente son menores a 1g/Km (0,73 g/Km en vehículos a gasohol y 0,63 g/Km en vehículos movidos por bioetanol) gracias a la introducción de bioetanol y a cambios tecnológicos. Por otro lado, Brasil fue un país pionero en la eliminación del plomo como aditivo gracias a la introducción del bioetanol (CETESB, 2006).

Es posible encontrar otras pruebas en donde los resultados difieren en mayor o menor medida de lo ocurrido en Brasil. Por ejemplo, pruebas piloto llevadas a cabo por la empresa petrolera estatal de Costa Rica (RECOPE) empleando mezcla de gasolina y 10% de bioetanol (E10) mostraron niveles similares de emisiones de CO y de HC que los de la gasolina regular (RECOPE, 2005). El mismo combustible (E10) utilizado en un estudio llevado a cabo en el Reino Unido mostraba menores emisiones de CO (21% de reducción) y de material particulado (46% de reducción); no encontraron variaciones significativas en las emisiones de NO<sub>x</sub>, y los aldehídos aumentaron en 510% (ESMAP, 2005).

Otro estudio de la Agencia de Protección Ambiental (EPA) de los Estados Unidos para el año 2002, también muestra ligeras variaciones en las emisiones de NO<sub>x</sub> desde 10% de reducción a 5% de aumento en mezclas de gasolina con baja proporción de bioetanol, en comparación con la gasolina convencional. En mezclas con mayor porcentaje de bioetanol (E85), una investigación del Laboratorio Nacional de Energía Renovable de EE.UU. en 1998 mostraba niveles de emisiones similares a las de una gasolina reformulada (IEA, 2004). La única diferencia reseñable se refiere a las mayores emisiones de aldehídos, especialmente acetaldehídos, cuyas emisiones aumentan 40 veces (de 0,0002 gr/km a 0,081 gr/km) en la mezcla E85, si bien todavía se mantienen en niveles muy bajos.

#### **6.4.4 Cambios en los contaminantes locales asociados al uso de biodiesel**

El biodiesel y el diesel oil presentan propiedades físicas y químicas similares. De acuerdo a la EPA (EPA, 2002), con excepción del NO<sub>x</sub>, el biodiesel puro y sus mezclas con diesel presentan menores emisiones específicas de contaminantes que el diesel convencional. Aunque las emisiones específicas varían dependiendo del motor, condiciones del vehículo y calidad del combustible, las potenciales reducciones de contaminantes son considerables y se incrementan casi linealmente al aumentar la proporción de biodiesel en la mezcla. En comparación con el combustible diesel de origen fósil, el biodiesel puro (B100), elimina las emisiones de SO<sub>2</sub>, reduce las emisiones de CO y COVs, especialmente bencenos, y de material particulado; tan solo se aprecia un aumento en las emisiones de NO<sub>x</sub>. Otras ventajas de carácter ambiental son su alta biodegradabilidad y que la ausencia de azufre permite el uso de catalizadores.

En la Tabla 6.4 se muestran dos estudios sobre desempeño ambiental del biodiesel B20 y B100 obtenido a partir de soja. Un estudio fue realizado por la Agencia de Protección Ambiental

---

<sup>77</sup> La eliminación del plomo en la gasolina ya es un hecho en la mayor parte de los países de la región.

(EPA) de EE.UU. en 2002 y el otro fue llevado a cabo por el Laboratorio Nacional de Energía Renovable de EE.UU. en 1998 en buses urbanos. Los resultados obtenidos son muy similares.

**TABLA 6.4**  
**CAMBIOS EN EMISIONES CONTAMINANTES DE BIODIESEL B20 Y B100 RESPECTO AL DIESEL CONVENCIONAL**

Emisión contaminante	B100		B20	
	EPA, 2002	NREL, 1998	EPA, 2002	NREL, 1998
Hidrocarburos (no quemados)	-67%	-46%	-20%	-9%
Monóxido de carbono (CO)	-48%	-68%	-12%	-14%
Material particulado	-47%	+9%	-12%	+2%
Óxidos de nitrógeno (NOx)	+10%	-	+2% y -2%	-20%
Óxido de azufre (SO <sub>2</sub> )	-100%		-20%	

Fuente: “A Comprehensive Analysis of Biodiesel Impacts on Exhaust Emissions” visit [www.epa.gov/otaq/models/biodsl.htm](http://www.epa.gov/otaq/models/biodsl.htm). y NREL (1998) (5) Sheehan, J., Camobreco, V., Duffield, J., Graboski, M. & Shapouri, H. (1998) Life Cycle Inventory of Biodiesel and Petroleum Diesel for Use in an Urban Bus (Natl. Renewable Energy Lab., Golden, CO), NREL Publ. N° SR-580-24089.

Por último, hay influencia del tipo de aceite sobre las propiedades del biodiesel. Respecto a las emisiones contaminantes, el biodiesel con base en grasas animales tiene menores aumentos en las emisiones de NO<sub>x</sub>, y mayores reducciones en las emisiones de CO y material particulado que el biodiesel con base en colza y soja (ESMAP, 2005). Por otro lado, la utilización de aceite usado de cocina o similares como materia prima se asocia a otro tipo de beneficios ambientales como la reducción de vertidos al sistema de tratamiento de aguas o el reciclaje ilegal para reventa como aceite de cocina.

### 6.4.5 Biocombustibles, contaminación del aire y crecimiento del parque automotor

Si bien en términos generales los biocombustibles presentan menores emisiones contaminantes que los combustibles fósiles, estos efectos positivos se ven rápidamente neutralizados por el crecimiento del parque automotor. Por ello, la mejora en la calidad del aire de las ciudades seguirá dependiendo principalmente de otras medidas como la mejora en la calidad de los combustibles fósiles, normas más estrictas para las emisiones de los vehículos y fiscalización de su cumplimiento, así como mejoras en las modalidades y calidad del transporte público.

Teniendo en cuenta las tasas y el potencial de crecimiento del parque automotor, para que las ventajas ambientales de la introducción de biocombustibles fueran significativas debería hacerse a una escala que no está prevista en los planes de casi ningún país de la región. También podrían darse mejoras en la calidad del aire en las ciudades que poseen un parque de automotores envejecidos y combustibles de baja calidad.

Como ha señalado la Oficina Europea del Medio Ambiente (ESMAP, 2005) el sector transporte está creciendo a una tasa anual de 2%, por lo que una sustitución de combustibles del 5,75% (meta establecida en la Directiva 2003/30/CE para el año 2010) sería neutralizada por el

crecimiento del sector en sólo tres años. Por este motivo, ESMAP no considera la introducción de biocombustibles como una medida capaz de proporcionar beneficios ambientales significativos y aconseja centrarse en políticas más efectivas que busquen reducir el crecimiento del sector.

En América Latina y el Caribe la tasa de crecimiento del parque vehicular es bastante mayor, por lo que los beneficios ambientales asociados a la introducción de los biocombustibles pueden verse rápidamente neutralizados por el crecimiento del sector (ver Tabla 6.5).<sup>78</sup>

**TABLA 6.5**  
**DIMENSIÓN Y VARIACIÓN DEL PARQUE AUTOMOTOR EN ALGUNOS PAÍSES DE**  
**AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE (1995-2003)**

País	1995	2003	% de crecimiento en el periodo	% de crecimiento anual	Número de vehículos cada 1.000 habitantes 2003
Bolivia	392 780*	486 921	23,9%	5,5%	54
Brasil	26 609 232	36 658 501	37,8%	4,1%	201
Chile	1 632 283	2 195 878	34,5%	3,8%	138
Colombia	2 246 893	3 454 126	53,7%	5,5%	78
México	11 961 930	17 784 446+	48,7%	6,8%	172
Panamá	255 955	334 525	30,7%	3,4%	107
Paraguay	342 024	473 888#	38,6%	4,8%	80
Perú	862 589	1 342 173#	55,6%	6,5%	49

Fuente: CEPAL, Anuario Estadístico de América Latina y el Caribe 2005.

Notas: \* año 1999, + año 2001, # año 2002.

La brecha respecto al número de vehículos por habitante entre los países desarrollados y los países de la región es amplia, ya que en el año 2004 el número de automóviles por cada 1.000 habitantes en la Unión Europea-25 era de 472 y en EE.UU. en 2003 de 759. El potencial de crecimiento del parque automotor por tanto, si no hay cambios drásticos de política, es muy alto.

## 6.5 Biocombustibles y emisiones de gases de efecto invernadero

En términos generales los biocombustibles emiten menos contaminantes que los combustibles convencionales, tanto en lo que se refiere a los contaminantes que afectan a la calidad del aire de las ciudades, como a los gases de efecto invernadero, es decir, contaminantes globales. Los estudios de ciclo de vida en general muestran reducciones, de mayor o menor cuantía, en relación a los combustibles fósiles (ver Tablas 6.6 y 6.7).

En Europa, la sustitución de combustibles tradicionales por biocombustibles se considera una medida relevante para el cumplimiento de los compromisos establecidos en el *Protocolo de Kyoto*. De hecho, la principal justificación para el fomento del uso de biocombustibles en la Unión Europea, junto con el aumento de la seguridad energética, es su contribución a la disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero para cumplir los compromisos del Protocolo de Kioto (Directiva 2003/30/CE del Parlamento Europeo y del Consejo). Se considera

<sup>78</sup> Lo ocurrido en EE.UU. respecto a las mejoras tecnológicas es también ilustrativo. Entre 1979 y 1997 la eficiencia de los motores ha pasado de 14,5 a 21,5 millas por galón (6,16 a 9,14 Km. por litro). Sin embargo, este aumento en la eficiencia ha contribuido a un aumento en el uso del vehículo, reduciendo la efectividad de la política entre 10-30% (rff report 2003). Se estaría cumpliendo, de alguna manera, la paradoja de Jevons según la cual la introducción de tecnologías con mayor eficiencia energética puede, a la postre, aumentar el consumo total de energía.

que, en determinadas circunstancias, los biocombustibles emiten entre 40% y 80% menos GEI que otros combustibles fósiles (Libro Verde - Hacia una estrategia europea de seguridad del abastecimiento energético (2000)).

En Estados Unidos, el Departamento de Energía ha establecido la meta de desplazar el 30% de la demanda de gasolina de 2004 a través del uso de biocombustibles, principalmente bioetanol, en 2030. Si bien la disminución de GEI no aparece entre las principales razones para impulsar el consumo de los biocombustibles en las políticas energéticas de EE.UU., un informe conjunto de los Departamentos de Agricultura y Energía estimaba en 78% la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> del biodiesel (B100) en comparación con el diesel. (Biodiesel Lifecycle Inventory Study).

Sin embargo, la producción de biocombustibles se encuentra entre las medidas de menor costo-efectividad para reducir emisiones de GEI. Estimaciones de la Iniciativa Global sobre subsidios (Steenblik, 2007)<sup>79</sup> para países de la OECD indican que los subsidios pagados (i.e. transferencias de diversa naturaleza) por tonelada métrica de CO<sub>2</sub>eq reducida varían entre US\$ 250 y US\$ 5500 en el caso del etanol y entre US\$ 250 y US\$ 1750 en el caso del Biodiesel.

Para los países en desarrollo, que no están sujetos a compromisos de reducción de sus emisiones de GEI, el potencial interés de este aspecto de los biocombustibles deriva de la posibilidad de obtener financiamiento para impulsar sus proyectos de fomento de biocombustibles a través del Mecanismo de Desarrollo Limpio,<sup>80</sup> uno de los llamados mecanismos flexibles para reducir emisiones de GEI establecidos en el Protocolo de Kioto.

Sin embargo, el *Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL)* no ha tenido un papel relevante en la promoción del uso de los biocombustibles. De hecho, son pocas las metodologías propuestas que han sido aprobadas. Teniendo en cuenta las bajas reducciones asociadas al uso de los biocombustibles (en comparación con otras opciones), los ingresos potenciales por la venta de certificados de reducción de emisiones en el marco del MDL tampoco parecen resultar decisivos para bajar los precios relativos de los biocombustibles actualmente en producción. Ello puede cambiar, no obstante, con el desarrollo comercial de biocombustibles lignocelulósicos, que además de representar una opción interesante desde el punto de vista del costo-efectividad, presenta ventajas ambientales adicionales (por ejemplo, la posibilidad de recuperar áreas degradadas).

### **6.5.1 El papel de los biocombustibles en la reducción de emisiones de GEI**

En los dos cuadros siguientes se presentan los resultados de numerosos estudios llevados a cabo sobre los cambios en las emisiones de GEI al sustituir combustibles convencionales por biocombustibles.

---

<sup>79</sup> Steenblik, Ronald. 2007. Biofuels, at what cost? Power Point Presentacion. Global Subsidies Initiative, International Institute for Sustainable Development, Canada.

<sup>80</sup> El Mecanismo de Desarrollo Limpio permite a los países industrializados reducir las emisiones de GEI a través de proyectos, en los países en desarrollo donde los costos de reducción son inferiores a los costos de los países industrializados. Ello es posible porque los GEI se distribuyen uniformemente en la atmósfera y por lo tanto la reducción y/o secuestro de estos gases en cualquier sitio del planeta produce el mismo efecto.

**TABLA 6.6**  
**CAMBIOS EN LAS EMISIONES DE GEI (EN CICLO DE VIDA) POR DISTANCIA RECORRIDA**  
**SUSTITUYENDO GASOLINA CONVENCIONAL POR BIOETANOL**

<b>Materia prima</b>	<b>Cambio (%)</b>	<b>Fuente y año</b>
Derivado de azúcar		
Caña de azúcar (Brasil)	-92	Macedo et al. – 2002
Caña de azúcar (Brasil)	(-87 a -96)	Macedo et al. – 2004
Caña de azúcar (Tailandia)	-79	Proyecto MDL – 2004
Remolacha	-50	Comisión Europea – 1994
Remolacha	-41	GM et al. – 2002
Remolacha	(-35 a -56)	Amstrong et al. - 2002
Derivado de almidón		
Maíz (E100)	(-20 a -40)	Marland y Turhollow – 1991
Maíz (E100)	(+80 a -70)	Delucchi – 1991
Maíz (E100)	(0 a -60)	Ahmed y Morris – 1994
Maíz (E95)	+21	Delucchi – 1996
Maíz (E85)	(-14 a -19)	Wang et al. – 1999
Maíz	-38	Levelton - 2000
Maíz (E85)	-68	GMC/Argonne – 2001
Maíz	+30	Pimentel -2001
Maíz (E85)	(-20 a -30)	Brinkman et al. – 2005
Maíz (E85)	(-17 a -23)	Wang – 2005
Maíz (E100)	(-40 a -60)	Kim y Dale – 2005
Maíz (E100)	-12	Hill et al. – 2006
Maíz	-13	Farrel et al. -2006
Trigo	-19	Comisión Europea – 1994
Trigo	-47	ETSU – 1996
Trigo	-29	Levington -2000
Trigo	-47	Amstrong et al. -2002
Derivado de celulosa		
Madera	(-68 a -102)	Wang et al. -1999
Madera	-107	Wang – 2001
Madera (álamo)	-51	GM et al. – 2002
Madera	-79	Viewls – 2005
Madera (E85)	-70	Brinkman et al. – 2005
Madera (E85)	-64	Wang – 2005
Resíduo de madera (E85)	-81	Beer et al. – 2001
Resíduo de madera	-83	Viewls – 2005
Pasto	-73	Wang – 2001
Heno	-68	Levelton – 2000
Resíduo de cultivo (paja)	-82	GM et al. – 2002
Residuo de cultivo (tallos y hojas)	-61	Levelton – 2000
Paja de trigo	-57	Levelton - 2000

Fuente: CEPAL, a partir de varias fuentes.

**TABLA 6.7**  
**CAMBIOS EN LAS EMISIONES DE GEI (EN CICLO DE VIDA) POR DISTANCIA RECORRIDA**  
**SUSTITUYENDO DIESEL CONVENCIONAL POR BIODIESEL**

Materia prima	Cambio (%)	Fuente y año
Colza	-56	ETSU – 1996
Colza	-51	Levelton – 2000
Colza	-58	Levington – 2000
Colza	-54	Beer et al. – 2001
Colza	-49	GM et al. – 2002
Colza	-21	Amstrong et al. – 2002
Colza	-38	Novel – 2003
Soja	-78	Sheehan et al. – 1998
Soja	-63	Levelton – 1999
Soja	-65	Beer et al. – 2001
Soja	-53	Novem – 2003
Soja	+173	Delucchi – 2003
Soja	-40	Hill et al. – 2006
Aceite de cocina usado	-92	Beer et al. – 2001
Aceite de cocina usado	-83	Proyecto MDL (2004)
Sebo	-55	Beer et al. – 2001
Palma	-50	Proyecto MDL – 2004
Girasol	-87	Proyecto MDL – 2004
Jatropha y otras semillas	-96	Proyecto MDL - 2004

Fuente: CEPAL, a partir de varias fuentes.

En algunos casos, notablemente en maíz en el caso de bioetanol y soja en el caso de biodiesel, el rango de resultados es muy amplio. Ello es debido en gran medida a los diferentes supuestos adoptados al llevar a cabo los estudios respecto a la técnica de cultivo utilizada, utilización de sub-productos del proceso productivo, eficiencia de uso del combustible en el vehículo (consumo de combustible por kilómetro) y otros.

Dependiendo de los supuestos adoptados y del nivel de detalle de los estudios, la variación en los resultados puede ser muy grande, incluso provocando cambios de signo. Es necesario aclarar que los estudios sobre combustibles derivados de la celulosa son principalmente llevados a cabo en condiciones de laboratorio.

En la mayor parte de los casos, la sustitución de combustibles convencionales por biocombustibles (E100, B100) genera reducciones importantes de GEI. Las reducciones podrían ser mayores si los sub-productos sustituyeran producciones en otra parte (insumos para alimentación de ganado o glicerina), y si parte de la biomasa se pudiese utilizar para la producción de energía eléctrica, como se hace actualmente en muchas plantas de producción de bioetanol en Brasil. Por otro lado, los estudios muestran que las reducciones de emisiones de GEI más significativas se producen en los biocombustibles obtenidos a partir de celulosa.

En el caso de etanol a partir de maíz hay que considerar la energía utilizada en el cultivo, en el transporte y en el proceso de transformación industrial. Diferentes supuestos respecto a la distribución de la energía entre la producción de bioetanol y otros subproductos, y de utilización de fertilizantes y pesticidas pueden tener impactos muy grandes en el balance de emisiones de GEI. En muchos estudios, entre un 5% y 15% de las emisiones de GEI se atribuyen a los sub-productos (IEA, 2004).

También los supuestos respecto al uso de fertilizantes nitrogenados pueden cambiar significativamente las estimaciones de reducción de emisiones de GEI. En el ciclo de vida del etanol de maíz la principal contribución a las emisiones de GEI procede de las prácticas agrícolas (34% a 44%). En este sentido, hay técnicas, como las prácticas de conservación de suelos, que reducen el consumo de combustible, la erosión del suelo y las necesidades de fertilizante (Farrel et al, 2006).

En la producción de etanol a partir de caña de azúcar en Brasil una parte muy importante de la electricidad utilizada procede del bagazo, por lo que el requerimiento de energía fósil en el proceso de transformación, y por tanto las emisiones de GEI, son cercanas a cero (incluso pueden ser menores a cero cuando hay exportación neta de la energía producida en los ingenios).

En el proceso de obtención de biodiesel, la producción de glicerina puede desplazar producción en otro lugar o proporcionar un combustible adicional para el proceso. En el primer caso, las estimaciones de reducción de emisiones se incrementan en un 30% adicional (IEA, 2004) según estudios llevados a cabo para la colza. Como era de esperar, el biodiesel elaborado a partir de aceite usado de cocina muestra muy buenos resultados de reducción de emisiones de GEI.

## 6.5.2 Biocombustibles y los costos de reducir emisiones de GEI

Una primera reflexión sobre la relación biocombustibles-reducción de emisiones de GEI es que la inversión en biocombustibles, en las condiciones actuales, no es la manera más eficiente de reducir emisiones.

Por un lado, ya se mencionó anteriormente que el crecimiento del parque automotriz neutraliza en poco tiempo las reducciones logradas vía el fomento de los biocombustibles. Además, en comparación con otras medidas de mitigación de emisiones de GEI, los costos actuales, excepto en el caso del bioetanol en Brasil, son bastante superiores, aunque se esperan reducciones en el futuro.

En la Tabla 6.8 se presentan algunas de estas estimaciones.

**TABLA 6.8**  
**COSTOS ACTUALES Y FUTUROS DE REDUCCIÓN DE EMISIONES DE GEI MEDIANTE**  
**BIOCOMBUSTIBLES**

Costos actuales (US\$/ton CO <sub>2</sub> eq) <sup>1</sup>	Costos futuros (US\$/ton CO <sub>2</sub> eq)	Fuente y año
390 - 910	52 - 260	Viewls – 2005
>100		Bakker - 2006
130 - 390	65 - 130	Hamelinck – 2004
>250	50 - 100	IEA – 2004
<b>Brasil</b>		
10 - 30		Bakker - 2006
20 - 60		IEA – 2004
44		Moreira y Goldemberg – 1999

Fuente: CEPAL, a partir de varias fuentes.

<sup>1</sup> Los costos presentados en euros se han convertidos a US\$ a la tasa de cambio de 1 € = 1,3 US\$.

La baja costo-efectividad de los biocombustibles se debe a los altos costos de producción para reducciones relativamente modestas de GEI. Las reducciones de costos unitarios en el futuro estarán vinculadas a la mejora en los procesos de producción de los biocombustibles actuales y al desarrollo de biocombustibles a partir de celulosa, que generan mayores reducciones de emisiones de GEI (Viewls, 2005).

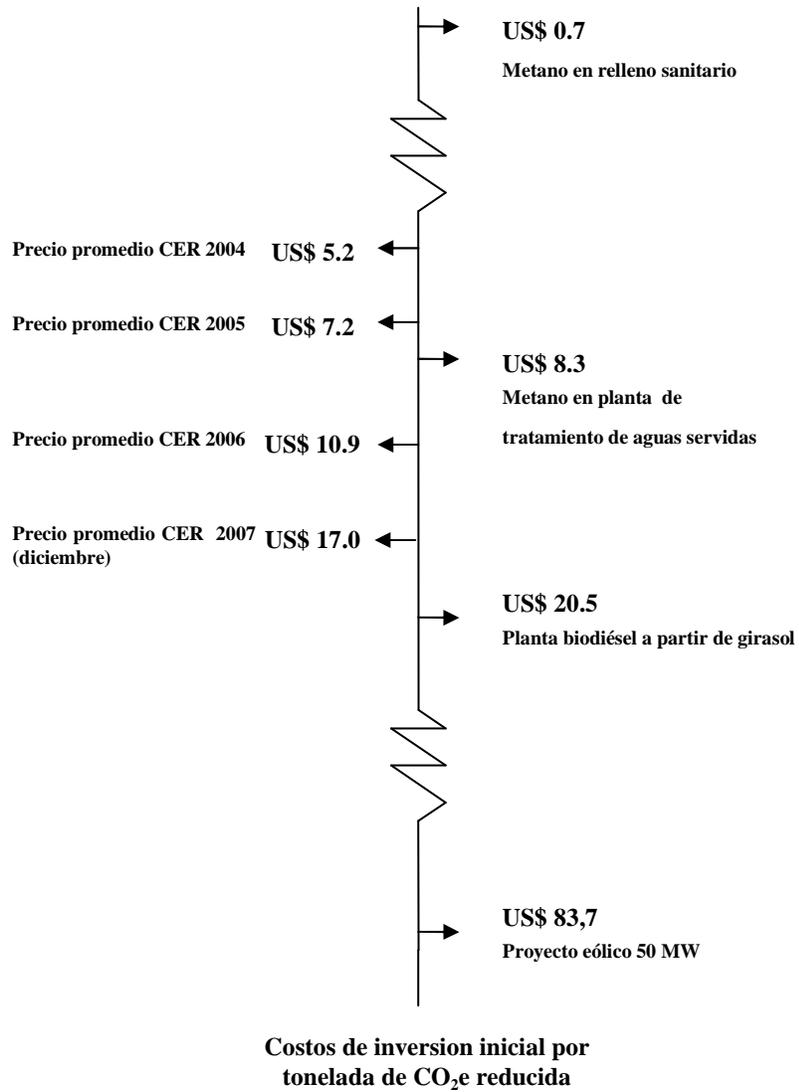
A continuación se presentan ejemplos de distintos proyectos y sus reducciones asociadas, considerando solo a inversión inicial (sin considerar otros costos) y un periodo de 10 años de reducción de emisiones. Así, la reducción de una tonelada de CO<sub>2</sub>eq mediante la quema de metano de un relleno sanitario controlado demanda una inversión de US\$1.4. Un proyecto similar pero con aguas servidas eleva la inversión unitaria hasta US\$8.33.

De los proyectos de biocombustibles presentados a la Junta Ejecutiva del MDL, el costo de inversión por tonelada de CO<sub>2</sub>e reducida mediante biodiésel fabricado a partir de girasol es de US\$20.5; este valor se encuentra por encima de los precios promedio de tonelada reducida de carbono pagados en 2007 en proyectos MDL (Carbonpositive, 2007). La inversión en biocombustibles se compara favorablemente con otras alternativas energéticas, como los proyectos de energía eólica, en que los costos de inversión por tonelada de CO<sub>2</sub>eq reducida pueden alcanzar US\$83,7.<sup>81</sup>

---

<sup>81</sup> No se trata de una revisión exhaustiva por lo que las cifras se pueden considerar indicativas: i) para el proyecto de biocombustibles se ha tomado la información del documento (PDD) presentado a la Junta Ejecutiva de MDL. Se trata de un proyecto de producción de biodiesel a partir de girasol con una inversión inicial de US\$9 millones para reducir 442,270 toneladas de CO<sub>2</sub>e en diez años; ii) el dato del relleno sanitario se refiere al relleno de Montevideo; la inversión inicial es de US\$1.6 millones para una reducción en diez años de 2.28 millones de toneladas de CO<sub>2</sub>e; iii) la captura de metano en tratamiento de aguas servidas representa una inversión de US\$4 millones para una reducción de 48.000 toneladas en diez años (información de un proyecto MDL gestionado por la CAF); iv) el proyecto eólico implica una inversión de US\$67 millones para una potencia de 50MW y una reducción de 800,000 toneladas de CO<sub>2</sub>e en diez años (información de 2005 referida al financiamiento por parte del BNDES de tres parques eólicos de 50 MW cada uno en el municipio de Osorio en Río Grande do Sul).

**GRÁFICO 6.5**  
**COSTOS DE INVERSIÓN INICIAL POR REDUCCIÓN DE TONELADA DE CO<sub>2</sub>EQ**



Fuente: CEPAL, a partir de varias fuentes.

### 6.5.3 Los proyectos de biocombustibles en el Mecanismo de Desarrollo Limpio

Hasta el momento han sido presentados 5 proyectos MDL de biocombustibles, cuatro de ellos para la producción de biodiesel (dos en Tailandia basados en aceite de palma y girasol, respectivamente; uno en la India a partir de especies arbóreas, principalmente *Jatropha*, y otro en China utilizando aceite usado de cocina). El proyecto de etanol a partir de caña de azúcar es de Tailandia.

De las metodologías asociadas a los proyectos, basadas en el ciclo de vida, ha sido aprobada la de producción de biodiesel a partir de aceite de cocina usado (metodología de línea de base y monitoreo AM0047). En fase avanzada de aprobación se encuentra la metodología vinculada a la producción de etanol a partir de caña de azúcar (asociada a un proyecto a desarrollarse en Tailandia). Las otras metodologías se encuentran en distintas fases de aprobación.

En la Tabla 6.9 se brinda información sobre los proyectos presentados y estimaciones de los hipotéticos ingresos para distintos niveles de precios para la tonelada de CO<sub>2</sub>.<sup>82</sup>

**TABLA 6.9**  
**PROYECTOS MDL DE BIOCMBUSTIBLES**

Proyecto	Producción (kl/año)	Reducción tCO <sub>2</sub> eq/ año (% reducción)	Estimación de Ingresos anuales US\$			Ingresos por litro Centavos dólar/litro		
			US\$ 5	US\$ 10	US\$ 17	US\$ 5	US\$ 10	US\$ 17
Precio Ton CO <sub>2</sub>			US\$ 5	US\$ 10	US\$ 17	US\$ 5	US\$ 10	US\$ 17
Bioetanol caña azúcar (Tailandia)	22.950	40.196 (79%)	200.980	401.960	683.332	0,88	1,75	2,98
Biodiesel aceite cocina (China)	57.274	123.211 (83%)	616.055	1.232.110	2.094.587	1,08	2,15	3,66
Biodiesel girasol (Tailandia)	17.182	44.217 (87%)	221.085	44.170	751.689	1,29	2,57	4,37
Biodiesel semillas árbol (India)	10.206	26.798 (96%)	133.990	267.980	455.566	1,31	2,63	4,46
Biodiesel palma (Tailandia)	103.093	145.044 (50%)	725.220	1.450.440	2.465.748	0,70	1,41	2,39

Fuente: CEPAL con base en los documentos de proyecto (PDD).

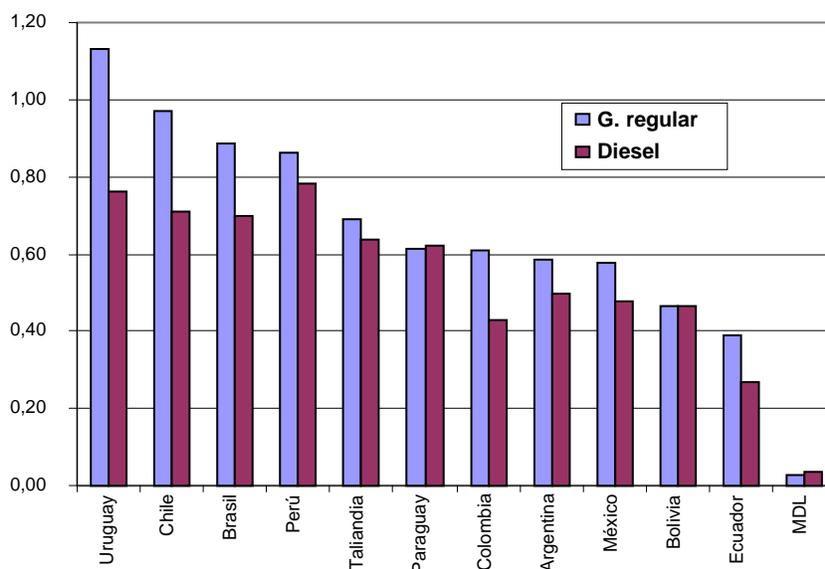
<sup>82</sup> Se ha tomado US\$17 por ser el precio máximo del que se tiene conocimiento en 2005 (IETA, Banco Mundial, 2006).

De los proyectos presentados, el más conservador al establecer las emisiones y fugas del proyecto es el de producción de biodiesel a partir de aceite de palma en Tailandia.<sup>83</sup> Ello explica que la reducción de emisiones sólo alcance el 50%. Todos los proyectos presentan rentabilidad positiva sin ingresos MDL, aunque demasiado baja para atraer inversores (es decir, con valores actuales netos, VAN, negativos).

Respecto a los hipotéticos ingresos provenientes de la venta de reducciones de carbono, en el Gráfico 6.6 se presentan los precios de la gasolina regular y del diesel en varios países de la región y en Tailandia; las dos últimas columnas corresponden a los ingresos por litro de combustible que se obtendrían vía MDL en el caso más favorable (es decir US\$17/tCO<sub>2</sub>) y que corresponde a 2,98 centavos/litro en el caso del bioetanol y a 3,72 centavos/litro en el caso del biodiesel<sup>84</sup> (promedio de los cuatro proyectos). Se ha incluido a Tailandia para comparar su nivel de precios respecto a los de los países de la región, ya que de los cinco proyectos MDL presentados tres corresponden a ese país.

Si bien los montos pueden parecer pequeños y muy por debajo del nivel de exenciones fiscales existente en algunos países (véase ESMAP, 2005), en el caso de los países con precios más bajos (como Ecuador) el ingreso MDL representa un porcentaje del precio que va desde 4% hasta 14% en el caso del diesel (de acuerdo a los supuestos de precio de la tonelada de carbono reducida) y del 2% al 8% en el caso de la gasolina regular. De acuerdo a la información de los proyectos MDL de Tailandia, los ingresos por esta vía convierten en rentables a las inversiones.

**GRÁFICO 6.6**  
**PRECIOS DE LA GASOLINA REGULAR Y DEL DIESEL EN PAÍSES DE AMÉRICA LATINA Y EN TAILANDIA (PRECIO DE VENTA AL CONSUMIDOR) US\$/LITRO – AÑO 2005\***



Fuente: CEPAL, a partir de varias fuentes.

\* Octubre 2006 en el caso de Tailandia.

<sup>83</sup> A diferencia de los otros proyectos, considera las emisiones de la fracción de carbón derivadas del metanol (un insumo del proceso); también considera el uso de fertilizantes sintéticos y contabiliza las emisiones derivadas de su producción; por último, incluye las emisiones de metano correspondientes al tratamiento anaeróbico del agua residual.

<sup>84</sup> Montos similares a la estimación de ESMAP de entre 1 y 3 centavos de dólar (ESMAP, 2005).

Las revisiones de las metodologías antes de su aprobación están prestando mucha atención a los problemas de doble contabilidad y fugas. Las exportaciones de biocombustibles hacia países integrantes del Anexo I no pueden acogerse al mecanismo de desarrollo limpio (aunque estos países sí pueden importar biocombustibles para cumplir sus compromisos).

La discusión sobre adicionalidad que plantean los proyectos incluye las barreras tecnológicas, las prácticas prevalecientes y la necesidad de los ingresos por venta de reducciones de emisiones GEI para hacer financieramente atractivos a los proyectos. El proyecto de producción de biodiesel con semillas oleaginosas (principalmente *Jatropha*) presenta la particularidad de que las plantaciones también constituyen sumideros de carbono; lo mismo ocurre con otras especies leñosas. Teóricamente también se podrían presentar como proyectos de reforestación.

Por último, todas las metodologías presentadas están basadas en el enfoque de ciclo de vida. Sin embargo, y especialmente en el caso de etanol producido a partir de caña de azúcar, se podría utilizar un enfoque de situación con/sin proyecto. Teniendo en cuenta que en ausencia del proyecto de biocombustible la producción de azúcar -con sus emisiones de GEI asociadas- tiene lugar, la ganancia neta de reducción de emisiones vendría dada por la comparación entre la situación sin proyecto (con producción de azúcar) y la situación con proyecto (producción de biocombustible). En este caso todas las emisiones correspondientes a la fase de producción agrícola no serían consideradas y las diferencias provendrían de la fase industrial y del desplazamiento del combustible fósil.

Este enfoque proporcionaría mayores ventajas a los proyectos de biocombustibles en términos de reducción de emisiones, siempre que la producción de azúcar no se compensara en otro lugar (el ajuste en los mercados puede venir sólo por vía de los precios). Aparentemente, sin embargo, la Junta Ejecutiva del MDL no se muestra muy abierta a este tipo de enfoque tanto en los proyectos de biocombustibles como en otros sectores.

Otro problema desde el punto de vista de las emisiones de GEI se plantea cuando la producción de biocombustibles impulsa, de manera indirecta, la ampliación de la frontera agrícola. Esta situación se puede producir cuando en tierras agrícolas se sustituyen cultivos por materias primas para biocombustibles y las producciones desplazadas ocupan espacios naturales. Se trata de casos en que resulta difícil establecer y demostrar la relación causal.

Independientemente de que no sea la medida de mayor efectividad en costos para reducir emisiones de CO<sub>2</sub> en la actualidad y del tratamiento que reciba respecto a su aplicación en el MDL, el uso de los biocombustibles deberá jugar un papel destacado en el futuro, especialmente los derivados de la celulosa (aún no desarrollados comercialmente), con mayor poder de reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>, con la posibilidad de reforestar tierras degradadas, con menores impactos ambientales que los cultivos agrícolas y que no compiten por el uso de recursos con los cultivos alimenticios.

## Capítulo 7: Estándares Técnicos y Tributación

### 7.1 Estándares técnicos

Con el incremento de la producción de biocombustibles, también crece la necesidad de estandarización de la calidad de los productos. La uniformización es esencial para asegurar el comercio de los biocombustibles y de las tecnologías asociadas, tanto a nivel regional (ejemplo: Europa, América Latina, etc.) como mundial.

Un mercado en crecimiento necesita de reglas comunes; y en el caso de los biocombustibles, los estándares de calidad son necesarios por numerosas razones:

- para evitar daños en los motores
- para unificar las características de los combustibles, con el objeto de que el contenido energético y otras propiedades sean iguales
- para asegurar el funcionamiento del motor en el largo plazo, reduciendo el mantenimiento

De acuerdo con la Organización Internacional de los Estándares (ISO), un estándar es un documento escrito aprobado por una entidad reconocida. Además, un estándar está disponible al público y diseñado sobre la base de un consenso de las partes involucradas, para que el beneficio sea común. Su razón de ser es su aplicación repetida o continuada y normalmente no obligatoria, a menos que éste no sea explícitamente referido en la normativa.

Considerando su variabilidad en la composición química (debido a la amplia diversificación de sus fuentes primarias), el biodiesel suele imponer un mayor desafío en términos de estándares.

#### 7.1.1 Biodiesel

Las propiedades del biodiesel dependen mucho de la naturaleza de la materia prima usada (aceite vegetal o grasa animal) así como de la tecnología y del proceso utilizado para su producción. A este respecto, los estándares mencionados especifican parámetros relevantes que identifican la calidad del biodiesel. Estos incluyen propiedades propias del aceite vegetal o de la grasa animal, las cuales tienen efectos sobre la “performance” del biodiesel como sustituto del diesel. Entre otras propiedades, se destacan el índice de iodo, la densidad, la viscosidad, el valor de cetanos, el contenido de ésteres metílicos (linoleico y polisaturados) y de fósforo. Por el otro lado, las

propiedades del biodiesel relacionadas con la tecnología de producción son el contenido de éster, de cenizas sulfatadas, de agua, de glicéridos parciales, de alcalinos y la acidez.

Existen 2 principales estándares internacionales para el biodiesel: el European Standard for Biodiesel (EN 14214) y el American Standard Specification for Biodiesel Fuels (ASTM 6751). La norma EN 14214 europea incluye la mayor parte de los parámetros especificados en la ASTM 6751 americana y los límites de los dos estándares son muy cercanos. Las mayores diferencias entre los dos estándares son sus aplicaciones y los métodos de prueba.

El estándar de la Unión Europea, el EN 14214, establece las especificaciones (y los métodos de prueba correspondientes) para los biodiesel de tipo FAME (Fatty Acid Methyl Esters) a ser utilizados como combustibles (puros o mezclados) para motores diesel de autotracción, en base al European Automotive Diesel Standards (EN590). La norma americana ASTM 6751 especifica los estándares del biodiesel puro (B100) a ser utilizado como componente de mezcla con los combustibles diesel.

En la Unión Europea, la aplicación del estándar EN 14214 (establecido en 2003) entrará gradualmente en vigencia en la totalidad de los países miembros y – para evitar confusiones – los estándares nacionales vigentes deberán adaptarse a la norma europea. Sin embargo, las normas de calidad que sean más estrictas que la EN 14214 podrán seguir siendo utilizadas.

**TABLA 7.1**  
**COMPARACIÓN INTERNACIONAL DE ESPECIFICACIONES PARA EL BIODIESEL**

		Austria	Rep. Checa	Francia	Alemania	Italia	Suecia	USA	Europa
Especificaciones		ON C1191	CSN 65 6507	Jornada Oficial	DIN V 51606	UNI 10635	SS 155436	ASTM 6751-02	En: 14214:2005
Aplicaciones		FAME	RME	VOME	FAME	VOME	VOME	FAMAE	FAME
Densidad 15°C	g/cm <sup>3</sup>	0,85-0,89	0,87-0,89	0,87-0,90	0,875-0,90	0,86-0,90	0,87-0,90	0,87-0,89	0,86-0,90
Viscosidad 40°C	mm <sup>2</sup> /s	3,5-5,0	3,5-5,0	3,5-5,0	3,5-5,0	3,5-5,0	3,5-5,0	1,9-6,0	3,5-5,0
Destilación	% @°C			95%, 360°C		95%, 360°C		90%, 360°C	
Punto de fundición	°C	100 min.	110 min.	100 min.	110 min.	100 min.	100 min.	100 min.	120 min.
CFPP	°C	Verano 0 Invierno -15	-5		Verano 0 primavera/otoño 10 invierno -20		-5		* país específico
Punto de pourpoint	°C			-10 máx.		Verano 0 máx Invierno -15 máx.			
Sulfuro	% masa	0,02 máx.	0,02 máx.		0,01 máx.	0,01 máx.	0,001 máx.	0,0015 máx.	10 máx.
CCR 100%	% masa	0,05 máx.	0,05 máx.		0,05 máx.			0,05 máx.	
Ramsbotto m 10% dist. residuo	% masa			0,3 máx.	0,3 máx.	0,5 máx.		0,1 máx.	0,3 máx.
Ceniza sulfatada	% masa	0,02 máx.	0,02 máx.		0,03 máx.			0,02 máx.	0,02 máx.
Ceniza oxidada	% masa					0,1 máx.	0,01 máx.		
Agua	mg/kg		500 máx.	200 máx.	300 máx.	700 máx.	300 máx.	500 máx.	500 máx.
Contaminación total	mg/kg.		24 máx.		20 máx.		20 máx.		24 máx.
Corrosión de Cu	3h/50°C		1		1			3	1
Estabilidad con oxidación	Hrs.; 110°C								6 horas min.
Cetano No.		49 min.	48 min.	49 min.	49 min.		48 min.	45 min.	51 min.
Acid value	mgKOH/g								0,5 máx.
Neutral No.	mgKOH/g	0,8 máx.	0,5 máx.	0,5 máx.	0,5 máx.	0,5 máx.	0,6 máx.	0,8 máx.	
Metanol	% masa	0,20 máx.		0,1 máx.	0,3 máx.	0,2 máx.	0,2 máx.		0,20 máx.
Contenido de Ester	% masa			96,5 min.		98 min.	98 min.		96,5 min.
Monoglicéridos	% masa			0,8 máx.	0,8 máx.	0,8 máx.	0,8 máx.		0,8 máx.
Diglicéridos	% masa			0,2 máx.	0,4 máx.	0,2 máx.	0,1 máx.		0,2 máx.
Triglicéridos	% masa			0,2 máx.	0,4 máx.	0,1 máx.	0,1 máx.		0,2 máx.
Glicerol	% masa	0,02 máx.	0,02 máx.	0,02 máx.	0,02 máx.	0,05 máx.	0,02 máx.	0,02 máx.	0,02 máx.
Glicerol total	% masa	0,24 máx.	0,24 máx.	0,25 máx.	0,25 máx.			0,24 máx.	0,25 máx.
Iodo No.		120 máx.		115 máx.	115 máx.		125 máx.		120 máx.
Fósforo	Mg/kg.	20 máx.	20 máx.	10 máx.	10 máx.	10 máx.	10 máx.	10 máx.	10 máx.
Alcalinos	Mg/kg.		10 máx.	5 máx.	5 máx.		10 máx.		

Fuente: CEPAL, a partir de varias fuentes.

En Alemania, las normas que definen los estándares para el biodiesel y los biocombustibles en base a aceites vegetales, están contenidas en la Ley de Impuestos Energéticos y en la Ley sobre Cuotas de Biocarburantes en Hidrocarburos. Allí se establecen las condiciones para poder beneficiarse con las bonificaciones fiscales.

El biodiesel debe cumplir, como mínimo, las exigencias establecidas en la norma DIN EN 14214; para el bioetanol se exige un contenido de alcohol mínimo del 99% en volumen y el cumplimiento de la norma DIN EN 15376; en el caso de los biocombustibles a base de aceites vegetales se exige, como mínimo, el cumplimiento de la norma DIN 51605. Los biocarburantes empleados deben cumplir, además, los requisitos mínimos exigidos para los motores. El cumplimiento de estas normas requiere el empleo del mejor aceite de colza (o de otros vegetales) para la elaboración de biodiesel.

Los aceites de soja y palma también pueden utilizarse como materia prima para la producción de biodiesel, siempre que el biocarburante obtenido cumpla con las exigencias de las normas citadas. Aunque, en principio, no se excluyen las importaciones de terceros países, de facto, las estrictas normas alemanas otorgan cierta preferencia al empleo de aceite de colza, siguiendo el mandato del Gobierno y del Parlamento Federal.

En Brasil, la Resolución N°42 de la Agencia Nacional de Petróleo (ANP) de Noviembre del 2004, establece las especificaciones del biodiesel puro (B100), que podrá ser adicionado al diesel oil en proporción del 2% y comercializado por los diversos agentes económicos en el territorio nacional. Bajo esta normativa, cada productor o importador debe mantener guardada – durante 2 meses y en local refrigerado – una prueba de cada stock de producto comercializado, acompañado por un Certificado de Calidad; dicho certificado contiene los resultados del análisis de las características del producto, conforme con lo requerido por el Reglamento Técnico ANP N°4-2004, el que establece las especificaciones de este biocombustible.

En base al Reglamento Técnico ANP N°4-2004, las muestras representativas del producto deberán ser recolectadas – a elección del productor - en base a los procedimientos establecidos en 3 posibles normas:

- ABNT NBR 14883 (norma nacional, de la Asociación Brasileira de Normas Técnicas).
- ISO 5555 (estándar europeo CEN para muestreos de grasa y aceites vegetales).
- ASTM D 4057 (norma estadounidense).

A continuación se presentan las especificaciones químico-físicas que tiene que garantizar el biodiesel puro (B100) comercializado en Brasil.

**TABLA 7.2**  
**ESPECIFICACIONES PARA EL BIODIESEL EN BRASIL**

Característica	Unidad	Límite	Método		
			ABNT NBR	ASTM D	EN/ISO
Aspecto	-	límpido	-	-	-
Masa específica a 20°C	kg/m <sup>3</sup>		7 148 14 065	1 298 4 052	-
Viscosidad Cinemática a 40°C,	Mm <sup>2</sup> /s		10 441	445	EN ISO 3 104
Agua y sedimentos, máx. (4)	% volumen	0,050	-	2 709	-
Contaminación Total (6)	mg/kg		-	-	EN 12 662
Punto de resplandor, mín.	°C	100,0	14 598	93	-
			-	-	EN ISO 3 679
Tenor de éster (6)	% masa		-	-	EN 14 103
Destilación; 90% vol. recuperados, máx.	°C	360	-	1 160	-
Resíduo de carbono - 100% destilados, máx.	% masa	0,10	-	4 530, 189	EN ISO 10 370 -
Cenizas sulfatadas, máx.	% masa	0,020	9 842	874	ISO 3 987
Azufre total (6)	% masa		-	4 294 5 453	- EN ISO 14 596
Sodio + Potasio, máx	mg/kg	10	-	-	EN 14 108 EN 14 109
Calcio + Magnesio (6)	mg/kg		-	-	EN 14 538
Fósforo (6)	mg/kg		-	4 951	EN 14 107
Corrosividad en cobre, 3h a 50°C, máx.	-	1	14 359	130	EN ISO 2 160
Número de Cetano (6)	-		-	613	EN ISO 5 165
Punto de bloqueo de filtro en frío, máx.	°C		14 747	6 371	-
Índice de acidez, máx.	mg KOH/g	0,80	14 448	664	-
			-	-	EN 14 104 (8)
Glicerina libre, máx.	% masa	0,02	-	6 584 (8) (9)	-
			-	-	EN 14 105 (8) (9)
			-	-	EN 14 106 (8) (9)
Glicerina total, máx.	% masa	0,38	-	6 584 (8) (9)	-
			-	-	EN 14 105 (8) (9)
Monoglicéridos (6).	% masa		-	6 584 (8) (9)	-
			-	-	EN 14 105 (8) (9)
Diglicéridos (6)	% masa		-	6 584 (8) (9)	-
			-	-	EN 14 105 (8) (9)
Triglicéridos (6)	% masa		-	6 584 (8) (9)	-
			-	-	EN 14 105 (8) (9)
Metanol o Etanol, máx.	% masa	0,5	-	-	EN 14 110 (8)
Índice de Iodo (6)			-	-	EN 14 111 (8)

Fuente: CEPAL, a partir de varias fuentes.

## 7.1.2 Bioetanol

Los Estados Unidos cuentan hace ya varios años con un estándar para el bioetanol: se trata del ASTM D 4806. El propósito de este estándar es proporcionar parámetros para que las mezclas con gasolina funcionen de una forma satisfactoria en el más amplio rango de vehículos posible.

Las especificaciones del ASTM D06 (que sólo son válidas para el bioetanol desnaturalizado) incorporan entre otras el contenido de agua, de cloruro inorgánico y de cobre, además de la acidez, del pH y del volumen de metanol.

En algunos países de la Unión Europea se está produciendo bioetanol (particularmente en Francia y España), pero solamente Suecia y Polonia cuentan a la fecha con estándares de calidad (en efecto, Suecia es el mayor consumidor europeo de bioetanol, importando el 80% desde Brasil). Paralelamente al incremento en el consumo de bioetanol, la necesidad de especificaciones y estándares a nivel europeo se ha hecho evidente. Por esta razón, la Comisión Europea encomendó en 2005 al comité técnico N°19 del Comité Europeo de Normalización (CEN) la elaboración de un estándar para el bioetanol en mezcla con gasolina. Este estándar está actualmente en discusión y se espera que sea implementado a finales de 2007 con el nombre EN 15376.

En Brasil, la Resolución N°36 de la Agencia Nacional de Petróleo (ANP) de Diciembre del 2005, establece las especificaciones para el Alcohol Etilico Anhidro Combustible (AEAC) y para el Alcohol Etilico Hidratado Combustible (AEHC), comercializados por los diversos agentes económicos en el territorio nacional. Bajo esta normativa, cada productor o importador debe mantener guardada –durante 2 meses– una prueba de cada stock de producto comercializado, acompañado por un Certificado de Calidad; dicho certificado contiene los resultados del análisis de las características del producto, conforme con las normas establecidas en el Reglamento Técnico ANP N°7-2005, que establece las especificaciones del biocombustible.

En base al Reglamento ANP N°7-2005, las muestras representativas del producto deberán ser recolectadas –a elección del productor– en base a los procedimientos establecidos en 2 posibles normas:

- ABNT D4507 (norma nacional de la Asociación Brasileira de Normas Técnicas, ABNT)
- ASTM E 300 (norma estadounidense)

A continuación se presentan las especificaciones químico-físicas que tienen que cumplir el AEAC y el AEHC comercializados en Brasil.

**TABLA 7.3**  
**ESPECIFICACIÓN PARA EL BIOETANOL EN BRASIL**

Característica	Unidad	Especificaciones		Método	
		AEAC	AEHC	ABNT/NBR	ASTM
Aspecto	-	límpido	límpido	Visual	
Color	-	incolore		Visual	
Acidez total (como ácido acético), máx.	mg/L	30	30	9 866	D 1 613
Conductividad eléctrica, máx.	µS/m	500	500	10 547	D 1 125
Masa específica a 20°C	kg/m <sup>3</sup>	791,5 máx.	807,6 a 811,0 (5)	5 992	D 4 052
Tenor alcohólico	°INPM	99,3 mín.	92,6 a 93,8 (5)	5 992	-
Potencial hidrogeniónico (pH)	-	-	6,0 a 8,0	10 891	-
Residuo por evaporación, máx. (6)	mg/100MI	-	5	8 644	-
Tenor de hidrocarburos, máx.(6)	% vol.	3,0	3,0	13 993	-
Ion Cloruro, máx. (6)	mg/kg	-	1	10 894/10 895	D 512 (7)

**TABLA 7.3 (CONCLUSIÓN)**

Característica	Unidad	Especificaciones		Método	
		AEAC	AEHC	ABNT/NBR	ASTM
Tenor de etanol, mín. (8)	%vol.	99,6	95,1	-	D 5 501
Ion Sulfato, máx.(9)	mg/kg	-	4	10 894/12 120	-
Hierro, máx. (9)	mg/kg	-	5	11 331	-
Sodio, máx. (9)	mg/kg	-	2	10 422	-
Cobre, máx. (9) (10)	mg/kg	0,07	-	10 893	-

Fuente: CEPAL, a partir de varias fuentes.

### 7.1.3 Estándares para los “nuevos” biocarburantes

Los últimos adelantos tecnológicos hacen posible el uso de porcentajes más altos de biocarburante en la mezcla. Numerosos países están utilizando ya mezclas de biocarburantes del 10% o superiores. Los nuevos tipos de carburante deben cumplir las normas técnicas reconocidas para ser aceptados masivamente por los consumidores y los fabricantes de vehículos y penetrar así en el mercado.

Las normas técnicas también constituyen la base de los requisitos en materia de emisiones y de control de las mismas. Los nuevos tipos de carburantes podrían tener dificultades para cumplir las actuales normas técnicas que, en gran medida, se han desarrollado para carburantes fósiles convencionales.

En Europa, en el caso del biodiesel para motores diesel, cuando la opción de transformación sea la esterificación, se debe aplicar la norma EN 14214 del Comité Europeo de Normalización (CEN) sobre ésteres metílicos de ácidos grasos (FAME). Consiguientemente, el CEN debe establecer las normas apropiadas para otros productos biocarburantes destinados al sector del transporte en la Unión Europea. Actualmente la norma EN14214 se encuentra bajo revisión y la Comisión Europea ha contratado un centro de investigación europeo para analizar la posibilidad de modificar algunos parámetros, como el índice de iodo, que permitan un uso masivo de otros aceites aparte de la colza. Se espera que este proceso finalice en el 2007.

Se estima que este tipo de biocarburante, denominado de primera generación ocupará la mayor parte del Mercado Europeo hasta el 2010. Sin embargo, la Unión Europea ha depositado mayores expectativas en la segunda generación, basada en un proceso de hidrogenación, por su menor liberación de CO<sub>2</sub>, a partir del 2010.

### 7.1.4 La estandarización internacional de los biocombustibles

Hay numerosas razones que justifican la necesidad de contar con estándares internacionales para la producción de biocombustibles. Entre ellas, destacan la prevención, en la medida de lo posible, de la deforestación para dar lugar a los cultivos energéticos, lo que trae aparejados impactos sobre la salud de la población, daños ecológicos e impactos sobre los recursos hídricos.

Desde la perspectiva del cambio climático, también es esencial que existan estándares para la producción y el uso de los biocombustibles. En efecto, se ha estimado que la destrucción de bosques tropicales ha estado contribuyendo en un 20% anual al aumento de los gases de efecto invernadero en la atmósfera. Esto se debe en parte a que, en términos de almacenamiento de carbono, los cultivos agrícolas son considerados menos eficientes que los bosques.

Los biocombustibles pueden ser parte de la solución al cambio climático, pero no cabe duda que –en este momento– la producción de biocombustibles es guiada en buena parte por la

necesidad de independencia energética del petróleo. En el proceso de búsqueda de dicha solución global, muchas veces se han estado creando problemas ambientales locales. Conforme con el aumento significativo de la producción de biocombustibles en todo el planeta, se hace cada vez más importante la necesidad de estándares que regulen la producción de biocombustibles de una manera ambientalmente sostenible.

Es por tanto fundamental, adicionalmente al desarrollo y unificación de estándares técnicos tradicionales, promover la introducción de “estándares de sostenibilidad”, que ayuden a establecer los requerimientos sociales y ambientales mínimos para los biocombustibles y garantizar un uso responsable de la biomasa, desde la fase primaria (cultivos) hasta su uso final (motores). En efecto, el mismo público podría, en el largo plazo, rechazar los biocombustibles si es que ellos no dan prueba de ser una alternativa ambiental creíble a los combustibles fósiles.

Es interesante, a este respecto, subrayar la negociación internacional en curso entre la Unión Europea, Estados Unidos y Brasil en relación al bioetanol. En este ámbito, los gobiernos y el sector privado de estos países intentan evitar problemas de compatibilidad que han costado miles de millones de dólares en otros sectores de la actividad económica, como ser la guerra de formatos de cintas de video, o la variedad de enchufes eléctricos que existen en el mundo.

En la realidad la meta no es que todos los países produzcan combustibles con las mismas características, sino que sean “compatibles” y, en la medida de lo posible, “sustentables”. No obstante, minimizar las diferencias sería una buena noticia para las compañías, pues disminuiría los costos de producción de motores a base de bioetanol. Actualmente los negociadores analizan los reglamentos de cada país, como un paso previo para fijar estándares comunes.

La armonización de las normas que regulan la composición del bioetanol es, de hecho, uno de los objetivos del acuerdo firmado entre EE.UU. y Brasil para la promoción de ese biocombustible. Ambos países pretenden convertir al bioetanol en una materia prima que se cotice a nivel internacional de la misma forma que el petróleo.

## 7.2 Tributación

Los combustibles han sido tradicionalmente una vía muy utilizada para aplicar tributación indirecta. Los argumentos justificativos son: i) su universalidad de uso, al menos en los países donde no hay problemas con el acceso a las fuentes modernas de energía ii) el equilibrio relativo en su reparto, si se toma en cuenta los usos en los sectores de consumo y iii) la relativa sencillez en su recaudación.

Los combustibles derivados del petróleo resultan de un proceso de producción conjunta y la mayor parte del costo está integrado por partidas que no se pueden asignar a cada uno de los productos resultantes (combustibles derivados), sin recurrir a criterios más o menos arbitrarios. En consecuencia, idealmente debe recurrirse a criterios de política energética que ayuden a compatibilizar la estructura de la oferta con los requerimientos de la demanda, y que incorporen al mismo tiempo otras finalidades de tipo económico, social, o ambiental. La fiscalidad “indirecta”, decidida frecuentemente con independencia de los criterios que se manejan dentro de la política energética, opaca muchas veces la información que se pretende incorporar en las señales de precio de los diferentes energéticos. De este modo, el consumidor no recibe las señales “correctas” para tomar sus decisiones sobre el equipo (eg. vehículo de transporte) y fuente (tipo de combustible). Buena parte del transporte vehicular está ligado a la fiscalidad de los combustibles que afecta su competitividad frente a las posibles alternativas.

Por ello es conveniente que cada país ponga a debida consideración “cuál” debe ser el modelo de tributación a aplicar en los biocombustibles en su territorio y ver “cómo” sería posible su integración en este complejo sector.

### 7.2.1 Tributación de los biocombustibles en la UE

La Directiva 2003/30/CE sobre la promoción del uso de biocarburantes u otros carburantes de energías renovables en el sector transporte, que establece objetivos indicativos para los combustibles renovables en porcentaje del uso total de combustibles para el transporte en la Unión Europea, ha fijado un porcentaje indicativo del 2% a aplicar al consumo de todos los combustibles utilizados en el transporte en 2005, que iría aumentando hasta llegar al 5,75% en 2010. Los Estados Miembros disponen de flexibilidad bajo la Directiva para elegir cómo aplicar el objetivo comunitario en función de sus características productivas, debiendo informar a la Comisión anualmente sobre sus estrategias de aplicación.

Por otra parte, la Directiva 2003/96/CE sobre la fiscalidad de los biocombustibles faculta a los Estados Miembros para eximir a los biocarburantes de la tasa aplicada a los hidrocarburos, con objeto de fomentar la producción de biocombustibles. Actualmente los Estados miembros están autorizados a exceptuar a las empresas sobre una parte de los impuestos a los combustibles cuando se trata de biocombustibles. Esta deducción llega a unos 19 euros por hectolitro (sobre un costo estimado –local– de unos 80-90 euros por hectolitro) y se aplica –sobre la base de datos nacionales, no controlados por la Comisión– en casi idénticas proporciones en Estados que tienen costos de producción muy diferentes como Alemania (el más competitivo) y Suecia (el menos competitivo).

Asimismo la política de ayudas regionales (Fondos de Desarrollo y Cohesión) apoya proyectos de reconversión en aquellas regiones más desfavorecidas o que califican para los objetivos de mejora ambiental o reconversión industrial y agrícola. En cuanto a la tendencia del abastecimiento del Mercado en la Unión Europea a través de las importaciones, desde la sanción de la Directiva 2003/96/CE a la fecha, se refleja un crecimiento sostenido de las mismas, aunque con mayor énfasis en el bioetanol que en el biodiesel.

Se estima que las razones de esta preferencia son no solamente de origen económico (mientras que el costo local de elaboración del biodiesel pasa a ser competitivo desde un precio de referencia de barril de petróleo a 60 euros, el bioetanol pasa a ser rentable en la producción local a partir de un precio de 70 euros el barril de petróleo), sino también de naturaleza estratégica, ya que la producción de biodiesel ofrece otras alternativas económicas y políticas como la combinación con subsidios a la producción de bienes energéticos como cultivos oleaginosos, exenciones impositivas, dinamización del empleo e incluso una perspectiva –por cierto en exceso optimista– de acercarse al autoabastecimiento.

El biodiesel se encuentra listado en la OMC adentro en el universo de NAMA (Non-Agriculture Market Access), es decir no es considerado como producto agrícola, razón por la cual el biodiesel está sujeto a la prohibición de subsidios a la exportación, conforme a la Parte II del Acuerdo sobre subsidios y derechos compensatorios de la OMC. El Bioetanol sí forma parte del universo agrícola y por dicha razón es parcialmente subsidiable.

Actualmente las importaciones de biodiesel a la Unión Europea ingresan por la posición arancelaria “38249099”, con un arancel de 6,5%; al respecto es interesante notar que, al encontrarse la

misma bajo SGP,<sup>85</sup> países como Argentina, Brasil, Uruguay, Malasia, Tailandia y otros países en desarrollo no pagan arancel. Este régimen se extiende hasta el 31 de diciembre del 2008.

## 7.2.2 Biodiesel: la tributación en Alemania

Durante los últimos años el mercado alemán de biocarburantes ha ido cobrando una relevancia creciente, tanto por motivaciones ligadas a estrategias de política energética y ambiental, como por razones relacionadas con los intereses derivados de los agronegocios.

En lo que se refiere al biodiesel, en particular, Alemania ocupa el primer lugar en Europa en cuanto a producción y utilización. Ello se debe, entre otras razones, a que durante años se ha mantenido en vigor la exención del impuesto sobre hidrocarburos para los biocombustibles, lo que ha contribuido, sobre todo, al desarrollo de un mercado para el biodiesel puro. Actualmente, unas 1.900 gasolineras alemanas ofrecen biodiesel, combustible con el que funcionan cada vez más vehículos; además, la mezcla de biodiesel con carburantes convencionales, permitida con un 5% (según la normativa-Diesel DIN EN 590) se practica desde principios de 2004.

La discusión sobre la necesidad y el alcance de estos incentivos fiscales ha sido frecuente. En Alemania, los impuestos aplicados al diesel y a la gasolina son de 47 y 65 céntimos/litro, respectivamente. El Tratado de Coalición del Gobierno Federal estableció, en noviembre de 2005, el acuerdo de suprimir la exención de impuestos existente para los biocombustibles, introduciendo en su lugar la obligación de mezclarlos con los combustibles convencionales. Los biocombustibles puros también deberían quedar sujetos al impuesto sobre los hidrocarburos. El Ministerio de Hacienda esperaba obtener así ingresos fiscales adicionales por importe de más de 2.000 millones de euros al año.

No se prevé que la obligación de la mezcla con biocombustibles repercuta de forma importante sobre el precio final de los carburantes. Según los cálculos de la Federación de Oleoproteaginosas (UFOP), en el caso del diesel la mezcla con biodiesel conduciría, como máximo, a un aumento del precio de 1,5 céntimos/litro. Los aumentos de los precios en las gasolineras se deberán, sobre todo, al incremento del IVA, que supondrá una carga adicional de 3,3 céntimos/litro, partiendo de los precios de carburantes actuales.

La Ley de Impuestos Energéticos, en vigor desde agosto de 2006, sustituye la anterior exención de impuestos por una introducción escalonada del impuesto para el biodiesel y, a partir de enero de 2008, también para los biocarburantes elaborados a partir de aceites vegetales.

En el caso del biodiesel, la carga fiscal introducida se inicia en esa fecha con un cargo de 9 céntimos/litro; a partir de 2008 se irá incrementando en 6 céntimos/litro/año hasta alcanzar 33 céntimos en el año 2011; en 2012 está previsto un incremento final de 12 céntimos/litro. En el caso del biocombustible a partir de aceite vegetal puro, la imposición comenzará con una tasa de 10 céntimos a partir de 2008, incrementándose también anualmente hasta situarse en 45 céntimos/litro en 2012.

La ayuda fiscal será sustituida por la obligación de mezclar, según lo establecido en la Ley sobre Cuotas de Biocarburantes en Hidrocarburos. La producción y el uso del biodiesel y del carburante obtenido a partir de aceite vegetal estarán sometidos al control fiscal y al cumplimiento de las obligaciones correspondientes. El bioetanol en forma de E85, por su parte, quedará exento de impuestos hasta el año 2015. En todo caso, el sector agrario podrá continuar empleando biodiesel y biocombustible a partir de aceites vegetales exentos de impuesto.

---

<sup>85</sup> El SGP es un programa de preferencias comerciales que tiene por objeto fomentar la diversificación de las economías. Este programa otorga un tratamiento arancelario preferencial a más de 5.000 productos provenientes de casi 150 países, que ingresan a la Unión Europea exentos de aranceles y otros derechos aduaneros.

Mientras la Ley de Impuestos Energéticos anteriormente regula el mercado de carburantes puros, la Ley sobre Cuotas de Biocarburantes en Hidrocarburos se refiere a los resultantes de la mezcla de biocarburantes con combustibles convencionales; fue aprobada por el Parlamento Federal en octubre de 2006. A partir de enero de 2007, la industria petrolera está obligada a comercializar una cantidad mínima de biocombustibles; este volumen mínimo se refiere a la venta total anual de carburantes para motores Otto y Diesel (incluida la parte de biocarburantes) realizada por una empresa.

La regulación de las cuotas se introduce mediante una modificación de la Ley Federal de Protección contra Emisiones Nocivas (BlmSchG). Se establecen así cuotas mínimas para diesel y gasolina y, a partir de 2009, el vendedor deberá respetar, además de éstas, una cuota total. La obligación del cumplimiento de cuotas puede ser traspasada a terceros; en caso de no cumplimiento se cobrará una sanción por importe de 60 céntimos/litro (Diesel y cuota total) y 90 céntimos (gasolina).

La obligación del cumplimiento de las cuotas afectará también a la comercialización de biocarburantes puros. La carga adicional que resultaría de aplicar la tasa impositiva completa establecida para las cuotas implicaría un incremento de las recaudaciones fiscales globales,<sup>86</sup> lo que se neutralizará mediante una desgravación fiscal para carburantes puros.

La Ley sobre Cuotas de Biocarburantes incluye una serie de autorizaciones para dictar reglamentos jurídicos. Desde el punto de vista de los productores de oleaginosas, tiene especial interés el reglamento previsto sobre sostenibilidad. Las facilidades fiscales y el cumplimiento de cuotas dependerán de que en la producción de la biomasa utilizada se cumplan determinadas exigencias respecto a un cultivo sostenible en las superficies agrarias o que se cumplan determinadas exigencias sobre la protección de los espacios de vida natural.

### 7.2.3 Bioetanol: la fiscalidad en USA

Es un hecho que la utilización del bioetanol como combustible en los distintos países ha evolucionado al amparo de los programas gubernamentales de incentivos fiscales y regulaciones ambientales. En el caso de los Estados Unidos se han llevado adelante durante los últimos 30 años varios programas tanto a nivel de los Estados como por parte del Gobierno Federal, motivados en los beneficios medioambientales y de desarrollo económico que el uso del bioetanol como combustible genera, comparado con los combustibles fósiles.

Desde la “Energy Tax Act” de 1978, que fijó una exención impositiva para lo que denominó gasohol (gasolinas con un contenido del 10% de bioetanol), han pasado muchos cambios, como es el caso de la “Reconciliation Act” de 1990 que ajustó el beneficio fiscal federal a 0.54 dólares por galón, o la “Energy Policy Act” de 1992, que permitió que la exención de impuestos fuese aplicable a determinadas mezclas con un contenido menor al 10% de bioetanol.

Comparando la experiencia estadounidense con otras experiencias legislativas sobre incentivos fiscales, se destacan en primer lugar las ventajas de combinar un sistema dual (i.e. federal + estatal) con beneficiarios que participan en los distintos niveles de la cadena de producción-consumo del bioetanol, y en segundo término la evolución constante que ha tenido la legislación.

En abril de 2004, el congreso estadounidense aprobó una nueva modificación al sistema de incentivos fiscales que alientan el uso del bioetanol extendiendo la vigencia de tales incentivos hasta el año 2010. La normativa se denomina “Volumetric Ethanol Excise Tax Credit” (VEETC). La VEETC marca una nueva evolución del sistema, modificando el método de recaudación del impuesto federal sobre las ventas de los combustibles que contienen bioetanol. Si bien se mantiene el nivel del incentivo, el sistema

---

<sup>86</sup> Si se compara con la situación previa en la que existían exenciones impositivas al uso de los biocombustibles.

devuelve al fondo para el financiamiento de las rutas y autopistas (Highway Trust Fund -HTF-) los ingresos que la legislación anterior le había retirado, para utilizarlos en el fomento del uso de los combustibles renovables.

El nuevo VEETC, tiene una ventaja adicional: es más flexible, puesto que el incentivo se calcula en base al volumen utilizado y ya no se limita a determinados niveles de mezcla (5,7; 7,7; ó 10%). Por esta razón las refinerías ahora podrán perfeccionar sus mezclas de bioetanol (nivel de octanaje, reducción tóxica, o volumen), con lo cual es posible que se extienda el uso del E-85, e-diesel y el ETBE.

El VEETC, cuyo antecedente fue la Exención Parcial del Impuesto Federal sobre la Venta de Combustibles, se aplica sobre la venta de combustibles líquidos (nafta, diesel y otros) que contengan en su composición etanol o metanol derivados de recursos renovables. El alcohol derivado del petróleo, el gas natural, o carbón no califica para esta exención. Significa que la empresa que realiza la mezcla con bioetanol puede tomarse un crédito fiscal por galón comercializado de combustible que contenga bioetanol; viéndolo desde la ecuación de la empresa mezcladora, esta exención le reduce el costo de mayorista del bioetanol en US\$ 0.137 por litro. La normativa fija una escala en el monto de la exención: US\$ 0.137 en el 2004, y de US\$ 0.134 por litro desde el 2005 al 2010.

Anteriormente, esa exención se aplicaba sobre el impuesto federal a venta de combustibles líquidos (que es US\$ 0.0483 por litro) y el efecto de la exención dependía del porcentaje de la mezcla contenida en cada litro de combustible comercializado.

El sistema estadounidense de exenciones fiscales federales contempla desde 1991 también un incentivo para el desarrollo de los pequeños productores, denominado “Crédito sobre las Rentas para Pequeños Productores”, su objeto es impulsar el desarrollo de nuevos productores de bioetanol. El crédito impositivo es de \$0.026 por litro, aplicable a los primeros 56 millones de litros de bioetanol producidos anualmente, siempre que la planta tenga como máximo una capacidad anual de producción de 113 millones de litros, con la excepción de que si el dueño es una cooperativa de productores este último límite anual se eleva a 227 millones de litros. Sin embargo, el crédito es considerado parte de la renta imponible, y deben pagarse los impuestos sobre la cantidad acreditada. Es un mecanismo pensando para atraer a inversionistas individuales. Se tiene previsto que este beneficio impositivo finalice en el 2007.

Existen diferentes estimaciones sobre el costo que supone el sistema de exenciones fiscales federales vinculadas con el bioetanol.<sup>87</sup> Sin embargo, esas estimaciones no han tomado en cuenta el efecto que tales incentivos tienen en la reducción de los subsidios federales a los productores agropecuarios, ya que la mayor producción de bioetanol incrementa los ingresos de los productores agropecuarios vía el sostenimiento del precio del maíz, por lo cual se reducen los pagos federales en concepto de subsidios a los productores agrícolas.

Según otros estudios que analizaron los posibles efectos de eliminar las exenciones impositivas, concluyeron que de producirse ello, el uso del bioetanol como combustible se vería reducido a aproximadamente el 50%, con los consecuentes cambios en el ingreso de los productores agropecuarios y con un efecto fiscal neto negativo para la tesorería americana.

En tanto, los incentivos fiscales y programas que algunos estados han llevado adelante buscan otorgar reducciones o exenciones del impuesto estatal sobre las ventas, para generar consumo, o generar incentivos para que se establezcan productores en sus comunidades. En general el crédito fiscal para apoyar a los productores de bioetanol ha estado en un rango de US\$ 0.053 a US\$ 0.106 por el litro elaborado. Unos pocos estados han realizado una combinación de ambos sistemas, siendo mayoría los que optaron por fomentar la producción.

---

<sup>87</sup> Según el Departamento de la Tesorería el, ha tenido un costo para el período 1980/2000 de poco más de US\$ 8.4 mil millones, y según estudios privados esa cifra se eleva a los US\$ 12 mil millones.

## 7.2.4 Tributación del bioetanol y del biodiesel en algunos países de la Región

En 1975, cuando **Brasil** importaba el 77% de su demanda agregada de combustibles, el gobierno brasileño rescató el bioetanol como una reacción a la primera crisis internacional del petróleo (1973), creando el Programa Nacional do Alcohol (Proálcool). Asimismo otorgó un fuerte apoyo para inversiones en destilerías, garantizando una demanda mediante un contenido mínimo de bioetanol en la gasolina y definiendo un precio compensador para los productores. Desde el año 1990, sin embargo, el Proálcool ya no existe como un programa de gobierno, y entre 1997 y 2002 retiró progresivamente sus mecanismos de apoyo. La producción de bioetanol constituye hoy un programa energético consolidado, que superó la etapa de ayuda fiscal y en la presente coyuntura de precios y costos se desarrolla y expande sostenidamente.

En noviembre de 2003 el gobierno brasileño lanzó el “Programa de Biodiesel”, con metas de producción y estímulos a los pequeños productores. La ANP, Agencia Nacional do Petróleo (actualmente Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis) definió en 2004 la especificación del biodiesel (Resolução ANP 42/2004), reglamentando su producción y comercialización. Mediante la Ley 11.097/2005 se estableció la obligatoriedad de adicionar el porcentual mínimo de 2% de biodiesel al diesel comercializado a partir de 2008 en todo el territorio nacional, pretendiéndose alcanzar 5% en el año 2013. Además, mediante legislación adicional, se establecieron las etapas para la inserción de este biocombustible y los mecanismos de soporte, básicamente favoreciendo la producción agrícola a escala familiar y las regiones menos desarrolladas (Norte y Nordeste). En todo caso, a partir de iniciativas recientes de la Casa Civil, este escenario ha estado cambiando rápidamente.

En Brasil, los Estados de la federación gravan adicionalmente el diesel con IVA, en aproximadamente 0,244 R\$/l pero, como estímulo fiscal adicional, ese tributo sobre el biodiesel está en proceso de disminución.

En **Colombia**, en términos de soporte legal a los productores, la Ley N° 693 sobre biocombustibles elimina el monopolio departamental en la producción de bioetanol no potable (Art. 2°) e indica que el uso de bioetanol recibirá un tratamiento especial en las políticas sectoriales de autosuficiencia energética, de producción agropecuaria y de generación de empleo (Art. 3°). Adicionalmente se exime del pago de IVA y del impuesto global al bioetanol combustible para mezcla con gasolina.

Como medida importante para la promoción del biodiesel, la Resolución 181780 de 2005 estableció una señal de precios, basada en los costos de las materias primas y la garantía de compra por parte de los distribuidores de diesel para una mezcla B10, como una forma de asegurar la recuperación de las inversiones. Se pretende que el programa se inicie a mediados de 2008 (UPME, 2006)

En la **Argentina**, el Programa Nacional de Biocombustibles, aprobado por la Ley 26093 de 2005, y que establece un “Régimen de promoción para la producción y uso sustentable de biocombustibles” por un período de 15 años, incluyendo diversos incentivos fiscales (Reglamentación de un régimen de tributación favorable como la exención del impuesto a la transferencia de los combustibles (ITC) biodiesel por 10 años, mediante el Decreto 1396/2001), y la creación de una institución para fomentar investigaciones, el establecimiento de normas de calidad y de criterios para la aprobación de proyectos y la administración de eventuales subsidios.

Este programa enfatiza las ventajas comparativas del país en la producción de aceites vegetales y enfatiza en la producción de **biodiesel**, pero se plantea también promover la utilización del **bioetanol**, que deberá ser mezclado en una proporción del 5% en la gasolina “como mínimo”.

## **Capítulo 8: Biocombustibles y comercio internacional**

### **8.1 Introducción**

América Latina y el Caribe se presentan a nivel mundial como una región que tiene una clara vocación hacia exportaciones agrícolas. En el contexto de una creciente difusión internacional del uso de biomasa en el sector transportes, el continente latinoamericano se antepone como un potencial exportador de biocombustibles. Eso porque muchos de los países industrializados ya son importadores netos de materias primas agrícolas. Debe de suponerse que lo serán todavía más de los biocombustibles, sobretodo si se toman en cuenta que las recientes medidas para el uso de esos energéticos y la importancia de los consumos de gasolina y diesel en el transporte en Europa y Estados Unidos. América Latina sería una región a la que se presta especial atención como potencial proveedor para abastecer a las regiones deficitarias en biocombustibles.

Sin embargo, ese escenario no es todavía claro. Los países desarrollados donde se concentra la mayor parte de la demanda mundial para el consumo del sector de transportes son también grandes exportadores de productos agrícolas, debido a la existencia de subsidios a su agricultura que además protegen con barreras arancelarias, dando lugar a una capacidad productiva con un superávit estructural. Desde el acuerdo de Marrakesh en 1995 los países desarrollados sufren una creciente restricción de sus políticas comerciales en el campo agrícola. Por eso los biocombustibles son un nuevo mercado para su agricultura con sobre capacidad productiva. Es por ello que no se puede esperar una postura muy abierta en aquellos productos que la agricultura de los países desarrollados tienen condiciones de abastecer al mercado interno. Pero el cuadro puede ser distinto para las materias primas en que hay un desequilibrio mucho más nítido entre la oferta y la demanda.

Además la situación Latinoamericana es muy distinta entre los países. Si bien son muchos los países que exportan en gran cantidad productos agrícolas, pocos son los que tienen condiciones estructurales de tornarse grandes exportadores de biocombustibles. Para el bioetanol, donde la cultura de la caña de azúcar presenta mayor potencial competitivo y de exportación, Brasil es único país que tiene condiciones de expandir la producción de bioetanol en base a esa materia prima y de lanzarse como gran exportador. En el 2006 fue responsable de gran parte de las exportaciones mundiales bioetanol. En los demás países productores de caña de azúcar de la Región, el mercado interno de bioetanol representa la mayor oportunidad de expansión.

En el caso del biodiesel la situación es bastante distinta en términos de potenciales. Argentina es en la actualidad el mayor exportador regional de aceites vegetales; sin embargo, no está aún muy claro que pretenda definir una estrategia de exportador de biodiesel.

El presente capítulo se propone examinar los potenciales de exportación de biocombustibles de los países latinoamericanos así como estudiar como las reglas actuales del comercio internacional pueden ser favorables a vocación agroenergética de nuestra región.

## **8.2 Las barreras comerciales a las exportaciones de biocombustibles**

El principal mercado importador estará localizado en los países desarrollados. Esos países son los que concentran la mayor parte del consumo de derivados de petróleo en el sector de transportes y donde se están tomando hoy en día medidas más claras para la promoción del consumo de biocombustibles. Esos países tienen también condiciones económicas para importar biocombustibles porque ya son grandes exportadores de productos manufacturados y de servicios y porque el consumo interno de productos agrícolas ya no presentan una tendencia de expansión. Sin embargo los intereses agrícolas de dichos países siempre ha sido un importante obstáculo para la apertura de sus mercados internos.

Las barreras arancelarias son mucho más efectivas para el bioetanol que para el biodiesel. Las materias primas para este último llegan al mercado Europeo, sea en la forma granos o de aceite vegetal, sin tener que pagar aranceles. El biodiesel ingresa a ese mercado Europeo, que es en la actualidad el mayor a nivel mundial, como un bien industrial y tiene que pagar una tasa del 6,5% ad valorem. Según el Perfil Arancelario Mundial de la UNCTAD, la Comunidad Europea cobra una tarifa media del 5,8% sobre los aceites, gorduras e oleaginosas (UNCTAD, 2006). El aceite vegetal importado proviene principalmente de América Latina y de Asia. La principal razón de ese comportamiento reside en el hecho que los países europeos ya son importadores estructurales de aceites vegetales, con 16,5% de las importaciones mundiales. Esas importaciones de aceites vegetales deberán aumentar en más de 2 millones de toneladas en el corto plazo en función principalmente de la expansión del mercado biodiesel.

La situación del bioetanol es muy distinta, ya que enfrenta significativas barreras arancelarias en los países desarrollados. La diferencia reside en que el bioetanol llega en los países desarrollados como un producto acabado y paradójicamente es considerado como un producto agrícola, al paso que el aceite vegetal que es una materia prima en la elaboración del biodiesel es considerado como un producto industrial. Los productos agrícolas sufren mucho más restricciones en el comercio internacional que los industriales que fueron objeto de sucesivas rondas del GATT para bajar las barreras arancelarias. En el mercado americano el arancel sobre la importación es de 0,1427 US\$ por litro de bioetanol; más el 2,5% ad valorem. En el mercado europeo la carga de impuestos es también expresiva, el bioetanol paga 0,192 euros por litro.

Al contrario del aceite vegetal que es una commodity, el bioetanol todavía no está consolidado como un producto en el mercado internacional. Sin embargo, esa falta de consolidación no es la única razón para que el bioetanol sufra substantivas barreras arancelarias. En verdad hay un pequeño grupo de productos agrícolas que en los países desarrollados deben soportar ese tipo de barreras. Por ejemplo, el azúcar es un producto que enfrenta importantes barreras en la mayoría de los países desarrollados. La razón consiste en que hay una producción a partir de cultivos propios y también en la existencia de acuerdos preferenciales con grupos de países en desarrollo como en el caso del Protocolo Azucarero y el Acuerdo entre Estados Unidos y los Países del Caribe. Como muestra la Tabla 8.1, las barreras arancelarias son todavía mayores

para el azúcar que para el bioetanol. De cualquier modo, esas barreras constituyen un importante desestímulo para las exportaciones brasileñas de bioetanol que lleguen a los mercados de los países desarrollados.

**TABLA 8.1**  
**BARRERAS ARANCELARIAS A LAS EXPORTACIONES BRASILEÑAS**  
**(EN EQUIVALENTE AD VALOREM)**

	Comunidad Europea	EUA	Japón
Bioetanol	46,7%	47,5%	83,3%
Azúcar	160,8%	167,0%	154,3%

Fuente: Jank et al. 2006.

### 8.3 Estados Unidos y América Latina: ¿socios en biocombustibles?

Como parte de la estrategia de los Estados Unidos para la diversificación por medio del desarrollo y fomento de la industria del bioetanol, el país ha buscado socios extranjeros con el fin de desarrollar mercados internacionales de biocombustibles.

El reciente comunicado enviado por Estados Unidos a Brasil (US-Brazil Memorandum) tiene como propósito avanzar conjuntamente en la investigación y el desarrollo de los biocombustibles, realizando estudios de factibilidad y asistencia técnica para promover la inversión privada, especialmente en América Central y en el Caribe.

También tiene como propósito expandir los mercados existentes por medio de la estandarización de códigos y requerimientos entre los dos países.<sup>88</sup> Este comunicado no incluye acuerdos para la reducción de aranceles y cuotas.

#### RECUADRO 8.1

##### ESTRATEGIA A LARGO PLAZO PARA EL DESARROLLO DEL MERCADO GLOBAL DEL BIOETANOL

En caso de que exista un interés para el desarrollo de un mercado global a largo plazo para el bioetanol, es posible adoptar una estrategia más completa, que establezca ciertos acuerdos mínimos sobre estándares, aranceles, etc. En el caso de Brasil y Estados Unidos, los países han desarrollado una estrategia común que consiste en asociaciones en las siguientes áreas:

1. Promover la cooperación técnica y compartir avances en tecnología.
2. Establecer estándares internacionales comunes para asegurar que el bioetanol destilado localmente sea recibido en el mercado internacional evadiendo cualquier costo adicional por modificaciones.
3. Asegurar acceso a los mercados y atenuar las prácticas proteccionistas.
4. Promover programas de capacitación sobre tecnologías de biomasa para agricultores.
5. Diseñar una estrategia global para los nuevos actores involucrados en la producción y el consumo, el desarrollo de mercados internacionales, campañas de mercadeo, etc.

<sup>88</sup> En las últimas dos décadas, los Estados Unidos y Brasil han formado una estructura normativa más amplia que servirá como base para esta nueva iniciativa. Algunos pasos son: los mecanismos bilaterales para el diálogo comercial (US-Brazil Commercial Dialogue) lanzado en el 2006; también el comité para diálogo sobre agricultura (US-Brazil Consultative Committee on Agricultura) creado en el 2003; el acuerdo sobre energía (US-Brazil Memorandum of Understanding on Energy) firmado en 1999; el establecimiento de una agenda común en el tema de la energía (US-Brazil agenda on the Environment) en 1995; y finalmente una estructura normativa en el área de ciencia y tecnología en 1984.

**RECUADRO 8.1 (CONCLUSIÓN)**

6. La expansión de un mercado spot de bioetanol. Si existe un número alto de participantes, el etanol se convertiría en un commodity líquido (liquid commodity), que se compra y vende fácilmente en el mercado. Esto disminuiría el riesgo de la inversión y tendería a aumentar la producción. Los esfuerzos más recientes entre Brasil y Estados Unidos han sido precisamente crear un mercado spot para el etanol.

Fuente: Basado en “Energy Partnerships in the Hemisphere”. Presentación de Marco S. Jank

Mientras que esta estrategia colectiva incluye la posibilidad de invertir en el etanol de caña de azúcar procesado en plantas en América Central y el Caribe, los productores de bioetanol en Estados Unidos han destacado la necesidad de introducir un arancel para proteger la industria nacional de bioetanol.

Aunque no fue el objetivo original de la Iniciativa de la Cuenca del Caribe (ICC),<sup>89</sup> las preferencias de comercio han expandido los procesos de destilación y rehidratación de bioetanol dentro de la región.

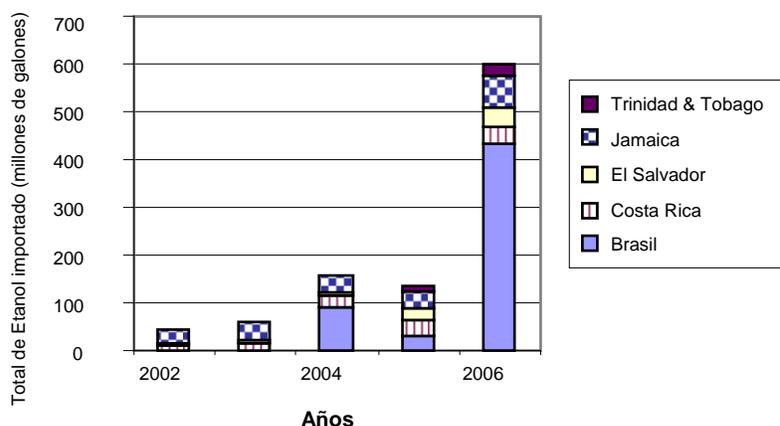
La ICC establece que las importaciones de etanol pueden constituir un máximo de 7% del mercado en Estados Unidos mientras que más de 50% de la carga de alimentación proviene de la región exportadora. Si la carga de alimentación de la región excede a un 50%, una cantidad ilimitada de bioetanol puede ser importada libre de impuestos.

El bioetanol procesado localmente –deshidratando etanol “húmedo”– es embarcado a Estados Unidos y no está sujeto al impuesto de US\$ 0.54 para bioetanol importando.

Con la ayuda de la ICC, Jamaica y Costa Rica fueron los exportadores de bioetanol a Estados Unidos más importantes entre 1999 y 2003. Sin embargo, su contribución ha disminuido debido a las exportaciones provenientes de Brasil, como se observa en el Gráfico 8.1.<sup>90</sup>

Una gran cantidad de bioetanol proveniente de Brasil continúa entrando a Estados Unidos directamente, representando casi un 9% del mercado en Estados Unidos en el 2006.

**GRAFICO 8.1**  
**IMPORTACIONES DE BIOETANOL A ESTADOS UNIDOS POR PAÍS DE ORIGEN**



Fuente: EIA/USDoE, 2007.

<sup>89</sup> Más conocido por su acrónimo en inglés: CBI, Caribbean Basin Initiative.

<sup>90</sup> “Ethanol Imports and the Caribbean Basin Initiative”, Reporte de CRS al Congreso, actualizado el 10 Marzo 2006.

Como consecuencia de las grandes cantidades de bioetanol proveniente de Brasil, algunos piensan que aquellas importaciones libres de impuesto (derivadas de la ICC) amenazan la producción local de etanol de maíz, el que tiene un costo de producción más alto que el etanol de caña de azúcar producido en las regiones tropicales.

Algunos miembros del congreso han propuesto fórmulas para contrarrestar los efectos dañinos para los productores de maíz y destiladores de bioetanol.<sup>91</sup> Estas preocupaciones se reflejan en propuestas que contrapesan los modelos de mercado actuales que desfavorecen a los productores en Estados Unidos.<sup>92</sup>

## 8.4 Negociaciones internacionales

Los biocombustibles líquidos para el sector de transporte todavía enfrentan significativas barreras arancelarias en los países desarrollados. Entretanto está en curso en la agenda internacional la negociación de un proceso de apertura progresiva de los mercados de productos agrícolas en el contexto de la Ronda de Doha de la OMC. Ese proceso sufrió importantes atrasos en gran medida por la dificultad encontrada para hacer con que los países desarrollados reduzcan sus barreras arancelarias y las subvenciones a sus productores agrícolas. Esas dificultades han conducido a iniciativas de acuerdos bilaterales entre Estados Unidos y algunos países latinoamericanos.

### 8.4.1 La ronda de Doha

La agricultura fue prácticamente excluida de las negociaciones multilaterales del GATT desde su inicio en 1947 en gran medida por los intereses de los países desarrollados en mantener sus políticas de apoyo interno a la agricultura. Mecanismos como barreras arancelarias, restricciones cuantitativas, subsidios a la exportación fueron permitidos para los productos agrícolas, a diferencia de lo que ocurre con los bienes industriales. Solamente en la Ronda de Uruguay (1986-1994) la agricultura volvió a formar parte de las negociaciones multilaterales. En función de tales negociaciones fue aprobado el Acuerdo sobre Agricultura de la Ronda de Uruguay. Ese acuerdo fue muy limitado en su amplitud pero dio inicio a una progresiva reducción de las prácticas de diversos tipos de mecanismos proteccionistas en materia de productos agrícolas utilizados por los países desarrollados. El acuerdo trajo definiciones sobre tres materias importantes del comercio agrícola. Se trata de: acceso al mercado, subsidios domésticos y competencia en las exportaciones.

El **acceso a mercado** incluye todas las restricciones no arancelarias tales como restricciones cuantitativas, precios mínimos de importación, derechos sobre importaciones, derechos variables sobre importaciones, licencias discrecionales de importación y restricciones voluntarias a la exportación. La regla general fue que todas las barreras fueran arancelarias y que el total de esas barreras se redujesen. En función del acuerdo muchos países desarrollados convirtieron esas barreras en aranceles equivalentes muy elevados. Eso implicó que se consolidara en los países desarrollados barreras muy elevadas para ciertos productos. En Estados Unidos esas barreras son muy elevadas para productos lácteos, maní, azúcar, jugo de naranja y tabaco. En Europa hay aranceles altos para carnes, productos lácteos, ajo, banana, aceite de oliva,

---

<sup>91</sup> El Senador Charles Grassley (R-Iowa) ha propuesto reducir el porcentaje máximo de importaciones de etanol libre de impuestos a menos de la mitad del límite actual de 7%. El Senador Thomas Daschle (D-South Dakota) también ha sugerido la prohibición del uso de bioetanol importado con el propósito de cumplir estándares de combustible renovable; estas dos medidas protegen los productores domésticos.

<sup>92</sup> Los planes de abrir plantas de deshidratación de bioetanol en el Salvador y Panamá que podrían producir entre 110 y 160 millones de galones de bioetanol al igual que algunas otras que serán anunciadas en los próximos años, podrían ser problemáticas para la industria de bioetanol en los Estados Unidos.

azúcar, champiñones, vegetales preparados, harinas, etc. Es claro que el bioetanol también fue objeto de importantes barreras arancelarias por ser considerado como un producto agrícola, tal como se ha expresado.

El apoyo interno incluye los *subsidios domésticos* constituyen pagos directos a los productores y programas de apoyo condicionados a mecanismos de limitación de la producción. Las medidas de apoyo interno fueron divididas en 3 cajas. La Caja Amarilla, que son los más perjudiciales al comercio, incluye precios mínimos, créditos subsidiados a la producción, inversión y comercialización, renuncia fiscal y pagos complementarios. La Caja Azul, que incluye los pagos directos y los programas distorsivos, condicionados a mecanismos de limitación de la producción. La Caja Verde, que son los de menor impacto distorsivo sobre el comercio y la producción, como son los subsidios a la investigación, el control de plagas, el entrenamiento, los servicios de consultoría, la infraestructura, el almacenamiento, entre otros.

La competencia en las exportaciones concierne a los subsidios y a los créditos a la exportación, que fue un mecanismo muy usado por los países desarrollados para el apoyo de su agricultura. En el Acuerdo sobre la Agricultura de la Ronda de Uruguay quedó establecido que habría una reducción de esos subsidios.

La Ronda de Doha se inició en el año 2000, con objetivos muy ambiciosos de promoción del comercio internacional, pero con fuerte preocupación por las necesidades y los intereses de los países en desarrollo. Esa preocupación se reflejó en la preparación de un ambicioso Acuerdo sobre la Agricultura que preveía la progresiva extinción de todo tipo de subsidio a las exportaciones y sustanciales reducciones en los subsidios internos. El plazo inicialmente establecido para el cierre de la Ronda fue el año 2005. Sin embargo, las dificultades enfrentadas para la definición de dicho Acuerdo hizo que las negociaciones de la Ronda de Doha se extendiesen hasta la actualidad sin que se vean perspectivas de su conclusión.

Los países desarrollados no se mostraron muy inclinados a hacer concesiones significativas en materia agrícola. En 2002 el Congreso Americano aprobó el “Farm Security and Rural Investment Act” que prevé que dupliquen los montantes de los subsidios para la agricultura americana en un plazo de 10 años. La Comunidad Europea promovió una tímida reforma de la Política Agrícola Común. Todo esos hechos van limitar el margen de negociación de los países desarrollados. La propuesta de los Estados Unidos junto con la Comunidad Europea en la Reunión de Cancún en 2003 fue muy limitada en materia de reducción de subsidios domésticos y en facilitar el acceso a sus mercados domésticos. Frente a esta posición, los países en desarrollo se organizaron en el Grupo de los 20 (G20), liderados por Brasil y India, planteando una propuesta alternativa que estuviera más en consonancia con los intereses de esos países.

Las negociaciones de la Ronda de Doha están polarizadas debido a los conflictos de visión acerca de la forma de proceder a la apertura de las economías nacionales a los flujos internacionales de bienes y servicios. Los países en desarrollo, bajo el liderazgo del G20, demandan una apertura mucho más ambiciosa del mercado de productos agrícolas de los países desarrollados. Los países desarrollados en contrapartida piden que los mercados de productos industriales, de servicios y compras gubernamentales sean más abiertos y que se refuercen los derechos propiedad intelectual.

A pesar de las declaraciones oficiales, no hay perspectiva de que se consiga superar las grandes divergencias de intereses entre los grandes bloques de países. Una reciente tentativa (Junio del 2007) fue realizada en una cumbre de alto nivel, entre Estados Unidos y Comunidad Europea de un lado y Brasil y India por otro, en la ciudad de Potsdam en Alemania. Sin embargo, Brasil e India decidieron retirarse anticipadamente de la reunión frente a las pobres concesiones hechas en el plano de los subsidios y de acceso a los mercados por parte de los países

desarrollados. Por su parte, estos últimos exigieron por su parte concesiones más profundas en lo que se refiere a los aranceles correspondientes a los productos industriales.

A pesar de todos los bloqueos en las negociaciones, los países en desarrollo han logrado algunos avances en materia agrícola. Los más importantes se refieren a los subsidios a las exportaciones. Estados Unidos sufrió en la OMC una importante derrota con respecto a su política de subsidio del algodón, que perjudicaba a los precios internacionales de ese producto, y Europa también tuvo un importante revés en lo que respecta a su política de subvención a las exportaciones de azúcar. La Comunidad fue condenada por el OMC por conceder subvenciones a las exportaciones más altas que las acordadas.

### **8.4.2 Los acuerdos regionales y bilaterales**

La política, seguida sobretodo por EE.UU., ha sido hasta ahora recurrir a los acuerdos regionales y bilaterales cuando las negociaciones multilaterales de la OMC no avanzaban lo suficientemente rápido. Sin embargo la iniciativa regional más importante en este sentido (Área de Libre Comercio de las Américas) sufrió los mismos obstáculos que las negociaciones multilaterales. Las negociaciones en el seno del ALCA fueron conducidas en paralelo a la de la OMC. Sin embargo, muy rápidamente se formaron dos bloques: Estados Unidos y sus aliados formando el G-14 (Canadá, Chile, Colombia, Costa Rica, El Salvador, Ecuador, Guatemala, Honduras, México, Nicaragua, Panamá, Perú, República Dominicana) por un lado y el MERCOSUR por el otro. Estados Unidos condicionó las negociaciones en el área agrícola al avance en la OMC, al mismo importantes exigencias en la apertura de los mercados de bienes industriales, de servicios, de compras gubernamentales y de tecnología. La negociación en ese campo llegó también a un impasse.

El Acuerdo de la Comunidad Europea con el MERCOSUR, que inició su negociación en 1995, es también una importante iniciativa de carácter regional. La Comunidad propuso liberalizar el comercio por medio de la apertura de algunos mercados. Entre los productos ofertados está el bioetanol. Sin embargo, también la Comunidad vinculó la apertura de los mercados a las negociaciones multilaterales de la OMC.

Estados Unidos ha recurrido como ultima instancia a los acuerdos bilaterales como forma de abrir los mercados en países en desarrollo. Esos acuerdos se han llevado a cabo con los países que están más alineados con las políticas comerciales de Washington. Sin embargo, el Congreso postergó la aprobación de los tratados que se habían negociados con Colombia, Perú y República Dominicana.

El Gobierno de Bush en la ocasión de su visita al Brasil en Marzo del 2007 lanzó la propuesta de un acuerdo con la intención de promover específicamente el bioetanol en toda América Latina y el Caribe. En ese acuerdo, firmado entre Brasil y Estados Unidos, que prevé futuras adhesiones, no incluye la consideración de temas comerciales que tienen que ser tratados en foros multilaterales, regionales o bilaterales.

El acuerdo se propone impulsar tres objetivos y modalidades de cooperación: 1) la cooperación bilateral entre Brasil y Estados Unidos para promover la investigación para el desarrollo de biocombustibles de segunda generación; 2) la cooperación con terceros países orientada hacia la transferencia de la tecnología de producción de biocombustibles, especialmente para los países del América Central y el Caribe; y 3) un propósito global según el cual los participantes del acuerdo proponen expandir el mercado mundial por medio del establecimiento de padrones uniformes y de normas.

Este acuerdo entre Brasil y Estados Unidos preserva los grandes intereses agrícolas americanos protegidos por elevados subsidios y barreras arancelarias. Sin embargo, el propósito

de Brasil de suscribir dicho acuerdo reside en proporcionar una mayor visibilidad al bioetanol brasileño y a su tecnología.

### **8.4.3 ¿Un nuevo ámbito para los Biocombustibles?**

Son muy substanciales las dificultades y los obstáculos para que las negociaciones comerciales internacionales avancen en el sentido de una mayor apertura de los mercados agrícolas. No se puede esperar que las negociaciones avancen mucho en ese plano debido a la dificultad que tienen los países desarrollados para abrir sus mercados agrícolas. Sin embargo existe la posibilidad que se cambie el encuadramiento del bioetanol pasando de ser considerado producto agrícola para ser concebido como un producto ambiental. Esto por el hecho de ser un energético que se apoya en una fuente renovable de energía que contribuye muy poco a las emisiones de CO<sub>2</sub>. La Declaración de Doha (OMC, 2001) incluye un capítulo específico destinado al comercio y el medio ambiente donde se prevé la reducción o la eliminación barreras arancelarias y no-arancelarias al comercio de bienes y servicios ambientales.

El Gobierno brasileño elaboró un Comunicado en Julio del 2005 donde postula que, siguiendo las directivas de la Declaración de Doha respecto al medio ambiente y el comercio, se considere a las energías renovables, incluyendo bioetanol y biodiesel, junto con los productos forestales, fibras y colorantes naturales como productos ambientales (OMC, 2005). La ventaja principal del cambio de clasificación consistiría en la posibilidad de los productos ambientales estuvieran libres de barreras arancelarias en los países desarrollados. Pero la constitución de un Acuerdo específico sobre productos ambientales es todavía una hipótesis bastante lejana dado el fuerte proteccionismo de los países desarrollados y dada la resistencia de los países en desarrollo, representado por el G20, en ceder en otros campos del comercio internacional en que tienen menor competitividad, como es el caso de bienes industriales y servicios.

## **8.5 Perspectivas de expansión de las exportaciones de biocombustibles líquidos de América Latina**

Son pocos los países latinoamericanos que tienen en la actualidad potencial para las exportaciones de biocombustibles como ha demostrado en la primera parte de este capítulo. Más precisamente, sólo Brasil y Argentina, que son en la actualidad los dos grandes exportadores de productos agrícolas, ofrecen condiciones favorables para la expansión de biocombustibles.

El potencial de Argentina está concentrado en las exportaciones de aceites vegetales. Argentina es el mayor exportador de aceites vegetales y el segundo de soya en granos de todo el continente latinoamericano. Argentina exporta 6,9 millones de toneladas de aceite vegetal y 340 mil toneladas de metanol a partir del gas natural, que son las dos principales materias primas utilizadas en producción del biodiesel (Secretaría de Energía, 2007). La Ley sobre energías renovables establece la mezcla del 5% para el biodiesel. Dada la dimensión del mercado se calcula que son necesarias entre 600 y 650 mil toneladas de biodiesel.

Esos números demuestran que Argentina tiene un cierto potencial de exportación de biodiesel dependiendo de la cotización de ese producto en relación con el aceite vegetal en el mercado internacional. Lo que hace falta todavía para que Argentina se torne un gran exportador es la capacidad de refinación para poder atender a ese mercado. La Ley de Energías Renovables creó también incentivos para la producción interna de biodiesel pero que son destinados únicamente a los pequeños productores agrícolas y al mercado interno. Los proyectos destinados al mercado externo y a la venta directa en el mercado interno no reciben incentivos fiscales. Aún así Argentina estableció un mecanismo *sui generis* para incentivar la instalación de las

exportaciones de biodiesel por medio de una fiscalidad diferenciada entre el aceite y el biodiesel, el primero paga 23% de impuestos de exportación mientras que el biodiesel pagaría apenas el 5%. Ese mecanismo de cobrar impuestos a la exportación no es muy común salvo como instrumento para la apropiación de la renta minera. Con relación a las exportaciones, Argentina está desarrollando una capacidad de entre 200 y 300 mil toneladas, totalizando una capacidad exportadora del 1,3 millones de toneladas de biodiesel.

El potencial exportador de biodiesel está todavía limitado por la disponibilidad de la materia-prima vegetal, la soya, que no es apropiada para la producción de aceites vegetales en gran escala. La productividad por hectárea llega a ser 8 veces inferior al aceite de palma. Por lo tanto no debe esperarse que las exportaciones de biodiesel aumenten de manera muy significativa en Argentina. Ellas dependerán en gran medida de los precios relativos entre el biodiesel y los aceites vegetales.

El mercado del biodiesel es mucho menos desarrollado que del bioetanol. Gran parte del comercio se basa en la actualidad por el desplazamiento de la producción de colza del mercado de aceites para la alimentación para la producción de biodiesel. El mercado interno de aceites vegetales para alimentación de los países de Europa pasa a ser cubierto por medio de importaciones de aceites de países en desarrollo (Thoenes, 2006b). Los granos, los aceites vegetales y el biodiesel proveniente de los países en desarrollo no enfrentan grandes barreras arancelarias y no arancelarias, sobretodo porque la producción interna de la Comunidad Europea es insuficiente. Por lo tanto, en la actualidad el desafío para el biodiesel producido en Latinoamérica consiste en llegar al mercado Europeo atendiendo a los requisitos establecidos por la Comunidad.

La situación es muy diferente en lo que respecta al bioetanol. Brasil hoy se presenta como el país que domina la cadena productiva más eficiente y más sostenible ambientalmente de producción de bioetanol. Además el país por su gran extensión territorial tiene una capacidad de expansión de la producción bioetanol a partir de la caña que es considerable. Las proyecciones de expansión de las exportaciones de bioetanol de Brasil son muy significativas. En la actualidad ese país es responsable de gran parte de las exportaciones mundiales de bioetanol. Entre 2005 y 2006 esas exportaciones se incrementaron un 31,5% y alcanzaron la espectacular cifra de 3,4 mil millones de litros. Se prevé que las exportaciones brasileras sigan aumentando y alcancen los 10,3 mil millones de litros en un plazo de 10 años. Pero esas previsiones son modestas y se basan en la proyección de tendencias pasadas y en las actuales inversiones.

Brasil es el único país de América Latina que tiene condiciones de aumentar en grandes proporciones la producción bioetanol. Estaría en condiciones de incrementar sus exportaciones como para cubrir una proporción del 5 al 10% del consumo mundial de gasolina sin comprometer el dinamismo de su agricultura. Sin embargo, alcanzar esa meta requiere de un planeamiento más dirigido de esa expansión y un compromiso mayor del Estado, sea en la organización de la expansión, sea en el financiamiento y el apoyo al desarrollo tecnológico.

Pero, la postura de los países desarrollados es mucho más defensiva con relación al mercado del bioetanol. Son pocos los países que hoy en día abren sus mercados para las exportaciones de Brasil. A pesar de esa adversidad, Brasil ha logrado convertirse en el principal exportador de bioetanol. Las negociaciones que se establecen en el ámbito multilateral de la OMC para los productos agrícolas han avanzado poco hasta el momento. Lo mismo ocurre en el ámbito regional del ALCA o del acuerdo entre la Comunidad Europea y el MERCOSUR. Los tratados bilaterales también han avanzado poco en la región. El acuerdo entre Estados Unidos y Brasil firmado recientemente no propone reducir las barreras arancelarias para el bioetanol brasileño sino tan solo la cooperación tecnológica de Brasil con los países de América Central que disfrutan de una posibilidad de acceso al mercado libre de esas barreras.

La estrategia ensayada por Brasil de apartar a los biocombustibles de la calificación como bienes agrícolas para que sean calificados como bienes ambientales no parece tener mucho éxito hasta el momento. De hecho, la declaración de Doha previó que fuese creada esa nueva categoría de bienes que recibiría tratamiento diferencial en materia de comercio. Sin embargo las negociaciones en ese plano avanzaron muy poco en razón de la dificultad para definir lo que representa un bien ambiental. La cuestión de los bienes ambientales remite a la de la certificación. En ese sentido, previendo que las barreras no serán sólo arancelarias, el Gobierno Brasileño está desarrollando un programa para la certificación de los biocombustibles. Sin embargo no hay todavía evidencia por parte de los países europeos que la certificación sea una garantía de supresión de las barreras arancelarias.

## Capítulo 9: Situación y desafíos de los biocombustibles en América Latina y el Caribe

El estudio de CEPAL (2004) presentado ante la Conferencia Mundial de Bonn sobre Energías Renovables sobre el panorama de las energías sostenibles en la región, afirmaba que América Latina y el Caribe y, en especial, Centroamérica, presentaban condiciones inmejorables en el mundo para la incorporación de biocombustibles en la matriz energética. En la actualización de ese estudio, presentada en el marco de la Conferencia Interministerial Iberoamericana (2006), CEPAL insiste en alguna de estas afirmaciones.

Desde la óptica de la región son varios los factores que impulsan a pensar en una oportunidad asociada a la producción de biocombustibles:

- la viabilidad técnica para introducir estos biocombustibles líquidos para uso en actividades de transporte sin grandes modificaciones (ni en los motores ni en las infraestructuras de transporte de combustible ni en los servicios de distribución minorista);
- la dependencia de combustibles basados en petróleo de algunos países de la región que impulsa al desarrollo de un mercado interno como embrión de una orientación exportadora;
- el desarrollo de la biotecnología;
- la aparente abundancia relativa de tierra en buena parte de los países de la región, susceptible de ser destinada a cultivos energéticos;
- la aspiración legítima a disponer de una nueva perspectiva sobre el desarrollo rural, con sistemas de producción descentralizados y aprovechando la posibilidad de agregar valor a las cadenas productivas agrícolas al permitir que los propios productores de biomasa puedan convertirse en productores agroindustriales (productores de biocombustibles).<sup>93</sup>

CEPAL (2004) partía de una serie de convicciones:

- Los biocombustibles representan alternativas renovables y crecientemente adoptadas.

---

<sup>93</sup> En algunos países (fundamentalmente, Brasil), la aspiración va más allá: la vocación consiste en convertirse en una potencia energética, en posicionarse en términos geopolíticos a partir de la ventaja comparativa para la producción de bioetanol a partir de caña de azúcar.

- La evolución de la tecnología de producción de alcohol etílico ha permitido obtener una productividad elevada, superior a otras alternativas.
- En la década de los años ochenta hubo intentos de introducir el bioetanol en países centroamericanos, sin éxito.
- En Centroamérica hay países que ya reúnen condiciones para promover en el corto plazo el uso de gasohol (E10).
- Hay avances en iniciativas para formalizar programas de producción y uso de bioetanol en países de la región.

Sobre estas permisivas, los elementos de la propuesta de la CEPAL para Centroamérica se referían básicamente a que:

- El bioetanol requiere mecanismos específicos de apoyo público para su viabilidad.
- Debe revisarse la elevada intervención gubernamental en la industria azucarera que puede afectar al desarrollo de los biocombustibles.
- Es importante reforzar la capacitación institucional para comprender los potenciales beneficios, impactos y límites de los biocombustibles.
- El biodiesel aún está en desarrollo y presenta dificultades de rentabilidad financiera y competitividad frente al diesel convencional.
- Centroamérica puede incrementar racionalmente su sostenibilidad energética mediante el uso de los biocombustibles.
- Entre los aspectos importantes que deben tenerse en cuenta para estructurar programas sólidos que apunten a la introducción racional de los biocombustibles en los países centroamericanos, cabe resaltar la comunicación social y el adecuado equilibrio de precios y costes.

Ahora bien, si algo parece evidente, para el conjunto de América Latina y el Caribe, es la asimetría en el potencial y la aplicabilidad del bioetanol frente al biodiesel (siquiera por sus costes unitarios de producción en términos de equivalencia energética respecto a los combustibles a sustituir). Este capítulo intentará mostrar esas diferencias.

## 9.1 Bioetanol: experiencias en países de América Latina y el Caribe

**Brasil** En la actualidad, en Brasil, el sector de producción (habitualmente integrada) de azúcar y bioetanol presenta ingresos de 8,3 mil millones de dólares anuales (1,6% del PIB brasileño), generando 3,6 millones de empleos directos (Horta, 2006), si bien éstos, como se muestra en NIPE (2005) y CGEE (2006), mayoritariamente en segmentos de la cadena productiva más relacionados con el sector servicios (nuevos contratistas, intermediarios, etc.) que con la producción primaria de biomasa. En la última zafra (nombre que recibe la cosecha de caña, especialmente en Brasil), la producción de caña ocupó 5,4 millones de hectáreas y superó los 300 millones de toneladas, siendo procesada en más de 300 ingenios, que utilizan la mitad del azúcar disponible para producir combustible, con una capacidad instalada de casi 18.000 millones de litros anuales.

La actual producción brasileña de bioetanol, equivalente a aproximadamente 200 mil barriles diarios de petróleo, es básicamente consumida en Brasil, donde representa algo más del 40% del mercado de gasolina (GTZ, 2006). Toda la flota brasileña de vehículos livianos emplea

bioetanol, como mezcla (gasohol) en 18 millones de automóviles o como bioetanol puro (E100) en 3,5 millones de automóviles específicamente acondicionados para ello, gracias fundamentalmente al impulso de la tecnología “flexfuel”, lanzada en el año 2003 y que permite al propietario abastecer su vehículo con cualquier proporción de bioetanol hidratado o gasohol (ANFAVEA, 2006).

En los últimos dos años, a raíz de la expansión del mercado interno de bioetanol, debido al éxito de los motores flexibles a partir de 2003, y de las atractivas condiciones del mercado externo, existe un nuevo impulso de las inversiones productivas y cerca de 40 nuevos ingenios están en construcción o expansión. Considerando las inversiones agroindustriales (cerca de 60 millones de dólares para un ingenio con capacidad de procesar un millón de toneladas de caña durante una zafra de 180 días útiles y fabricando cerca de 450 mil de litros diarios de bioetanol), el precio de paridad del petróleo, a partir del cual es rentable producir bioetanol, estaría entre 30 a 35 US\$/bep (Horta, op. cit.).

Un elemento esencial en el éxito de la producción brasileña (que se manifiesta en la marcada reducción de costos observada en los ingenios brasileños), fue el incremento de la eficiencia agroindustrial, resultado principalmente de un aumento en la productividad agrícola. En los últimos 30 años, la producción de bioetanol por hectárea cultivada en caña creció a una tasa incremental anual del 3,7% (CGEE, 2005).

Cabe recordar que, en 1975, el programa brasileño se creó con un objetivo fundamental: reducir la dependencia de importaciones de petróleo o derivados. Tres décadas después, se observa que, en el periodo 1975-2005, se produjeron 275 millones de metros cúbicos de bioetanol, equivalentes a 1.510 millones de barriles de petróleo, más del 11% de las actuales reservas probadas de hidrocarburos de Brasil. Valorando esa producción al precio de la gasolina en el mercado mundial, el ahorro de divisas en el período fue de 69,1 mil millones de dólares, sin considerar los intereses y cargos de la deuda del país (Nastari, 2005).

Si bien la tecnología aplicada en los ingenios brasileños para producción de bioetanol de caña ha sido mejorada en las últimas décadas, ésta puede ser considerada convencional, con perspectivas de relevantes perfeccionamientos en los próximos años e incrementos del rendimiento medio por transferencia tecnológica y mejora de los procesos (CGEE, 2005). Se puede afirmar, de hecho, que se avanza hacia una tercera generación de productores de bioetanol: los productores autónomos, propietarios de plantas dedicadas única y exclusivamente a la producción de bioetanol (NIPE, 2005). Para horizontes más distantes, se espera lograr factibilidad comercial en la conversión de los residuos lignocelulósicos de la caña (bagazo y residuos de cosecha) en bioetanol, lo cual podrá representar una verdadera revolución en términos de productividad y rentabilidad financiera.

En **Colombia**, país donde también se dan buenas condiciones para la producción de la caña, se comenzó con la producción y utilización de bioetanol en el año 2001, mediante la promulgación de la Ley N° 693. En la exposición de motivos de esa ley se presentaron como objetivos principales la disminución de las emisiones de hidrocarburos y monóxido de carbono, el mantenimiento y generación de empleos agrícolas, el desarrollo agroindustrial y la contribución al propósito estratégico de autosuficiencia energética. En resumen, esa ley establece ya en su artículo primero que: “las gasolinas que se utilicen en los centros urbanos de más de 500 mil habitantes, a más tardar en septiembre de 2006, tendrán que contener compuestos oxigenados tales como alcoholes carburantes”. Se define la gasolina oxigenada como E10 (UPME, 2006).

El desarrollo de la reglamentación subsidiaria fue encomendado a los ministerios de Minas y Energía y Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Las normas más sustantivas fueron la Resolución 0447 de 2003, que regula los criterios ambientales de calidad de los combustibles líquidos y sólidos utilizados en hornos y calderas y en motores de combustión

interna, la Resolución 180687 del mismo año, donde se expide la regulación técnica prevista en la Ley 693, en relación con la producción, acopio, distribución y puntos de mezcla de los alcoholes carburantes y su uso en los combustibles nacionales e importados, y la Resolución N° 181088 de 2005, que define el precio del alcohol y establece una garantía de compra para los productores de alcohol carburante por parte de los Distribuidores Mayoristas.

La implementación del uso de bioetanol se adelantó a la fecha límite indicada en la ley y, tras ser introducido en la zona sur-occidental y el eje cafetero colombiano en noviembre de 2005, se pasó a utilizar la mezcla en la ciudad de Bogotá y el centro del país en febrero de 2006, pretendiéndose gradualmente alcanzar a todo el país. A finales de 2005 se consumieron 54 m<sup>3</sup> diarios de bioetanol, mientras que las proyecciones actuales se refieren a una cifra de 719 m<sup>3</sup> diarios de bioetanol, que corresponden a 262 mil m<sup>3</sup> anuales de bioetanol o al 6% del consumo colombiano de gasolina. La capacidad actual instalada es cercana a 1.100 m<sup>3</sup> diarios y más de 730 m<sup>3</sup> diarios en cuatro plantas (ibid.). De acuerdo a otros trabajos, los proyectos en estudio e implementación llegarían a nueve plantas, que totalizarían 2.100 m<sup>3</sup> diarios (Kafarov et al., 2006).

El uso de bioetanol en Colombia fue precedido de un cuidadoso proceso de difusión, cuyo objetivo consistía en incrementar la confianza y el conocimiento de los usuarios de la mezcla de bioetanol y gasolina. Los resultados de las pruebas realizadas en Colombia indicaron una reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> de entre el 22% y el 50% en vehículos con motor de “ciclo Otto” y reducciones menores en vehículos con motores de inyección, una reducción de emisiones de hidrocarburos de entre 20% y 24% y una mejora del 15%, en promedio, en la potencia del motor, por efecto del mayor octanaje (ibíd.). Específicamente, con referencia al consumo de combustible, se realizaron en Colombia pruebas de campo que evidenciaron el efecto positivo de la adopción de una mezcla con el 10% de bioetanol, tanto sobre la potencia como, en menor medida, sobre el consumo (Ximena, 2004).

En el año 1981, el gobierno de **Costa Rica** elaboró el documento “Lineamientos Básicos para un Programa Nacional de Alcohol Carburante”, fundamentando acciones en ese sentido y permitiendo que en ese año ya se utilizasen más de 2000 m<sup>3</sup> de gasolina con bioetanol en un 20%, volumen que alcanzó los 13800 m<sup>3</sup> en el año siguiente. Los objetivos eran reducir la dependencia energética y diversificar la agroindustria azucarera nacional, agregando valor a la melaza utilizada como materia prima, además de contribuir a determinados objetivos de carácter ambiental. No obstante, problemas asociados a la distribución y calidad del producto interrumpieron el programa en el año 2003, eliminando prácticamente el uso de la mezcla.

Aunque en los años posteriores a esa iniciativa el bioetanol no progresó, la producción continuó con el objeto de atender las necesidades de los mercados externos de materias primas costarricenses y en la exportación de productos semielaborados importados por Brasil, Guatemala, Francia, Nicaragua y Reino Unido. En este sentido, es importante destacar que los principales compradores de bioetanol costarricense son Estados Unidos y Holanda. En la cosecha 2003-2004 la industria alcoholera costarricense importó más de 11,8 miles de m<sup>3</sup> de bioetanol, exportando en ese mismo año 18,9 miles de m<sup>3</sup>. Considerando las 10 últimas zafas, la exportación máxima fue de 63,7 miles de m<sup>3</sup> en el año 2000 (LAICA, 2005).

Estas operaciones son realizadas en las instalaciones de la Terminal Portuaria de Punta Morales, cuya operación está a cargo de la Liga Agrícola Industrial de la Caña de Azúcar, LAICA, preparada para importar bioetanol y exportar azúcar, melazas y bioetanol. El muelle de este terminal acepta buques de hasta 30.000 toneladas métricas, con una longitud de 109 metros y anchos de 25 metros; los 8 tanques existentes para bioetanol almacenan más de 30 millones de litros de bioetanol y se dispone de una planta deshidratadora de bioetanol, con capacidad para procesar 380 mil litros diarios de combustible. En la actualidad, la capacidad de producción de bioetanol en Costa Rica es de 350 mil litros diarios; CATSA con 240 mil litros/día y Taboga con

120 mil litros/día, sin considerar la planta deshidratadora del Terminal de Punta Morales (Proyecto Producción Limpia en Costa Rica, 2005).

En mayo de 2003 el gobierno costarricense emitió el Decreto N° 31087-MAG-MINAE, creando la Comisión Técnica de Trabajo para: “formular, identificar y diseñar estrategias para el desarrollo del bioetanol anhidro, destilado nacionalmente y utilizando materias primas locales, como sustituto del MTBE4 de la gasolina”. Los objetivos básicos establecidos por este decreto fueron el desarrollo agroindustrial; es decir: reactivación económica, generación de valor agregado, el mejoramiento ambiental: sustitución del MTBE5 y desde el punto de vista energético, la diversificación de fuentes energéticas, así como la reducción de la dependencia externa de combustibles.

Dicha Comisión involucró a distintos organismos: Ministerio de Agricultura y Ganadería, Ministerio de Ambiente y Energía, Refinadora Costarricense de Petróleo (RECOPE), Liga Agrícola Industrial de la Caña (LAICA), entre otras. El objetivo central era definir las condiciones para el uso de bioetanol en Costa Rica. Inicialmente, se pretendía introducir mezclas de bioetanol con las gasolinas a partir de enero de 2005. Sin embargo, la interposición de un recurso de inconstitucionalidad contra el artículo 7 de este decreto, que ordena la ejecución del programa hizo que se suspendiera la aplicación de esta medida. A pesar de esta acción el Ministerio de Ambiente y Energía y las demás dependencias que integran la comisión pueden continuar con la implementación de proyectos, tendientes a fomentar el conocimiento focalizado a la logística y manejo del producto.

Considerando las dificultades observadas en la década de 1980, los proyectos piloto han sido cuidadosamente diseñados e implementados de forma paulatina en cuatro fases, por la empresa petrolera estatal RECOPE. En la primera fase se desarrolló una prueba piloto en 28 vehículos, empleándose E10, con el que:

- Se observó un rendimiento mayor que con el uso de gasolina convencional.
- En ningún momento los vehículos exigieron sustitución de material durante este período; es decir, no se presentaron daños mecánicos en los motores.
- Los resultados de las emisiones de HC (combustibles no quemados) y CO (monóxido de carbono) no superaron los límites nacionales establecidos y fueron similares a los obtenidos con la gasolina ya empleada (RECOPE, 2005).

La segunda fase correspondió a la comercialización de gasolina con 7,5% de bioetanol en 64 estaciones de servicio de Guanacaste y el Pacífico Central, abastecidas por el plantel de RECOPE en Barranca y que sirven a una flotilla de aproximadamente 50 mil consumidores, cerca del 12,5% del consumo de gasolina del país. Con antelación a la efectiva comercialización de la mezcla, se capacitó al personal responsable para el manejo y control de calidad de bioetanol en los terminales, se especificó adecuadamente la gasolina base para seguir cumpliendo con los requisitos ambientales, se revisaron los tanques de las estaciones de servicio y se informó a todos los interesados directos sobre el uso de la mezcla.

Esta experiencia se está realizando desde febrero de 2006, con resultados positivos, no se han observado variaciones importantes del consumo de combustible en la zona, se ha constatado un número muy escaso de quejas de consumidores, generalmente debidas a otras causas o bien por la ausencia de mantenimiento en los motores. Hasta la fecha, RECOPE no ha recibido quejas por parte de las estaciones de servicio ni se han presentado problemas con el manejo del combustible (RECOPE, 2006). La primera partida de bioetanol utilizada, adquirida por RECOPE mediante una licitación internacional fue importada, ya que la producción nacional está comprometida en exportaciones hacia Estados Unidos. Se espera que la producción de bioetanol en Costa Rica se expanda en breve para atender también el mercado interno.

Con menores adelantos que en los casos anteriores, en **otros países de la región** también se está comenzando a emplear bioetanol o se están desarrollando estudios (con diferentes grados de avance) para fundamentar futuros programas relacionados con este tipo de biocombustible. No se pretende agotar el tema, que por su dinamismo presenta cada día una nueva iniciativa; sino señalar como en muchos países y de manera diversificada se está pensando en el bioetanol como un combustible más de la matriz energética de los países de la región.

En **Argentina**, el Programa Nacional de Biocombustibles, aprobado por la Ley 26093 de 2005, y que establece un “Régimen de promoción para la producción y uso sustentable de biocombustibles” por un período de 15 años, incluyendo diversos incentivos fiscales y la creación de una institución para fomentar investigaciones; estableció normas de calidad, criterios para la aprobación de proyectos y la administración de eventuales subsidios. Este programa enfatiza las ventajas comparativas del país en la producción de aceites vegetales y enfatiza en la producción de biodiesel, pero se plantea también promover la utilización del bioetanol, que deberá ser mezclado en una proporción del 5% en la gasolina “como mínimo”. Para el año 2010 se calcula una demanda de gasolina de cuatro millones de m<sup>3</sup>, por lo cual serían necesarios 200 mil m<sup>3</sup> de bioetanol que deberán ser producidos en cerca de seis unidades agroindustriales, con una inversión total de 120 millones de dólares. En consecuencia, se adoptó el maíz como materia prima, considerándose que para atender la demanda prevista para el año 2010 deberán ser consumidas 550 mil toneladas: 2,8% de la producción actual, cultivadas en 106 mil hectáreas: 3,2% del área actual (SAGPA, 2006).

En otro estudio, también considerando la producción de bioetanol a partir de maíz, se estima que 5 plantas agroindustriales con capacidad anual unitaria de 40 mil m<sup>3</sup> de bioetanol, con una inversión total de 90 millones de dólares, podrían abastecer el mercado con productos suficientes para una mezcla de 5% en la gasolina (E5). En este estudio se evalúa un coste de producción de 0,301 US\$/l de bioetanol, asumiendo el precio del maíz a 53 US\$/t y del DDG (Distillery Dried Grains), coproducto utilizado para alimentación animal a 89 US\$/t (Fraguío, 2005).

En **Bolivia**, particularmente en el Departamento de Santa Cruz, la agroindustria cañera desarrolla proyectos de producción de bioetanol que apuntan al mercado externo, siguiendo los buenos resultados del ingenio Guabira, que en las últimas cosechas ha exportado cerca de 50 miles de m<sup>3</sup> de bioetanol combustible por año para el mercado italiano mediante diferentes opciones logísticas. Considerando el mercado interno, estudios realizados en el año 2005 recomendaron la elaboración de una ley de estímulo a los nuevos combustibles, estimándose que al agregar 25% del biocombustible a la gasolina se crearía una demanda de 90 miles de m<sup>3</sup> de bioetanol, lo cual provocaría una expansión de la frontera cañera en más 30 mil hectáreas (Bolivia Hoy, 2005).

En **Chile** la Empresa Nacional de Petróleo (ENAP) y el Grupo Iansa, comercializador de productos agrícolas, han desarrollado estudios para conocer la factibilidad de la producción de bioetanol a partir de cereales y remolacha (Ramírez, 2006). La idea es proponer una legislación que establezca una mezcla obligatoria de 5% de biocombustible en la gasolina, aunque aparentemente la ENAP prefiere la utilización de mezclas de gasolina y ETBE, ya que presentan más facilidad de transporte y una menor presión de vapor más baja (ENAP, 2006). Las dificultades en Chile derivan del hecho de que, por condiciones bioclimáticas, la producción de bioetanol sólo parece técnicamente viable a partir de maíz, trigo y remolacha, tres productos en los que el país es deficitario (ODEPA, 2007).

En **Cuba**, país de larga tradición cañera, la potencialidad de la producción de bioetanol para fines energéticos es evidente. Además de los esfuerzos en esa dirección desarrollados en el largo plazo, como el empleo de mezclas de bioetanol con gasolina (denominadas “mofuco”) durante la Segunda Guerra Mundial, debido a la escasez de combustibles derivados del petróleo, también se

utilizó bioetanol como combustible en diversas ocasiones, pero esta práctica nunca se generalizó. No obstante, muchas experiencias siguieron en curso; por ejemplo durante los años de la década de 1970 en el Centro de Desarrollo de la Industria del Petróleo y el Instituto Cubano del Petróleo se realizaron investigaciones con diversos tipos de gasolina base y varias alternativas de mezclado, variando de 15% a 30% de bioetanol. Los resultados demuestran que las mezclas aumentan la cantidad de octanos, disminuyen la emisión de gases tóxicos y la contaminación ambiental.

La experiencia más reciente se llevó a cabo en el año 1997 en el Centro de Investigaciones y Desarrollo del Transporte (CETRA), y como resultado 114 vehículos recorrieron un millón y medio de kilómetros utilizando mezclas de gasolina regular con bioetanol. Después de la investigación se llegó a la conclusión que en las condiciones cubanas, a la gasolina regular podría agregársele entre un 20% a 25 % de bioetanol para alcanzar una mezcla estable y efectiva (Salomón, 2006). Con relación a la producción, ya se han realizado diversos estudios sobre las alternativas de producción de bioetanol y las implicancias energéticas para la isla caribeña (Almazán y González, 1999).

Si bien **Ecuador** es un importante productor de hidrocarburos, el país pierde un volumen apreciable de divisas con la importación de derivados del petróleo, lo que representó 4.611 millones de dólares en el período de los años 1998-2005. Por este motivo y buscando simultáneamente reducir las emisiones y fomentar el desarrollo agroindustrial, el gobierno ecuatoriano propuso el “Programa de Formulación de gasolina Extra con Bioetanol Anhidro”.

Ese programa plantea en dos etapas introducir el biocombustible en la matriz energética ecuatoriana: inicialmente un plan piloto en la ciudad de Guayaquil, seguido de su extensión a todo el territorio nacional. En su primera etapa fue considerada una demanda de 800 mil litros diarios de gasolina extra, que al recibir 5% de bioetanol requerirían 40 mil litros de ese biocombustible. Se pretende empezar con ese contenido y progresivamente avanzar al 10%, lo que significaría una demanda de bioetanol a nivel nacional de aproximadamente 590 mil litros por día o sea, aproximadamente 215 miles de m<sup>3</sup> por año (MEM, 2005). Con ese objetivo, a finales de 2004, se promulgó el Decreto Ejecutivo 2332, que en su primer artículo declara ser “de interés nacional la producción, comercialización y uso de los biocombustibles”. En esa misma ley se creó el Consejo Consultivo de Biocombustibles de la Presidencia de la República, organismo que desarrollará y determinará los lineamientos generales, así como la adopción de las medidas necesarias para la producción, manejo, industrialización y comercialización de biocombustibles. La materia prima seleccionada fue la caña de azúcar.

Desde el año 2003 los gobiernos de **El Salvador** y **Guatemala** discuten leyes para fomentar el empleo del bioetanol, pero dificultades relacionadas con la definición de precios han impedido hasta el momento la cabal utilización local del biocombustible (CEPAL, 2004). No obstante, en esos países se siguen desarrollando proyectos agroindustriales relevantes para la producción de bioetanol para el mercado estadounidense. En Guatemala, además de una destilería anexa a un ingenio de azúcar llamado “Ing. Palo Gordo”, está produciendo y exportando bioetanol desde hace más de 20 años. Por otra parte, en el año 2005 se creó una nueva unidad tecnológicamente avanzada llamada Destilería Bioetanol, para aumentar la oferta al mercado estadounidense (CEPAL, 2006).

En El Salvador se han realizado diversas inversiones en los dos últimos años, que apuntan a producir bioetanol a partir de productos preprocesados importados o de materia prima nacional. A fines de 2005, la multinacional Cargill puso en operación una destilería deshidratadora y más recientemente la joint venture “American Renewable Fuel Suppliers”, iniciativa que agrupa a empresas de Brasil, El Salvador y Estados Unidos; inauguró su destilería, con capacidad de 700 m<sup>3</sup>/día de bioetanol anhidro, en Acajutla (Sonsonete) para procesar bioetanol hidratado importado que inicialmente importado desde la China y vender a un grupo de

petroleras de Hawái, mensualmente se espera despachar 15 millones de litros de bioetanol anhidro para fines energéticos (Góes, 2006).

En noviembre de 2005, el gobierno de **Jamaica** asumió el desafío de construir una industria nacional del bioetanol, asociando la refinería estatal Petrojam con la compañía brasileña Coimex para construir una planta de bioetanol de 182 millones de litros de capacidad. En efecto, Jamaica se ha impuesto como objetivo sustituir completamente, para el año 2008, el uso del MTBE por bioetanol como aditivo del combustible, ya que actualmente el MTBE constituye el 10% de la gasolina utilizada en el país. En agosto de 2006, la empresa Jamaica Broilers Group anunció un plan de 1.100 millones de dólares jamaicanos para la construcción, en la localidad de Port Esquivel, de una nueva planta de deshidratación para producir bioetanol a partir de la caña de azúcar. La planta producirá 240 millones de litros de bioetanol y debería comenzar sus operaciones en mayo de 2007; muy probablemente el ingenio utilizará tecnología brasileña, aprovechando el préstamo favorable del Gobierno de Brasil a Jamaica (100 millones de dólares de Estados Unidos) orientado a facilitar la importación de maquinaria y equipamiento brasileiros para la agricultura cañera local.

En **Guyana** se pretende diversificar la agroindustria cañera hacia la fabricación de bioetanol. Estudios de la empresa azucarera estatal Guaysuco indican que mediante la modernización de dos ingenios se podría alcanzar una producción de 11 millones de litros de biocombustible a costos competitivos, volumen suficiente para una mezcla de 10% en toda la gasolina consumida en el país (Davis et al., 2005). También en Guyana se plantea la utilización de la patata como materia prima para bioetanol, mediante tecnología innovadora.

En **Paraguay** el bioetanol es utilizado regularmente desde hace mucho tiempo como combustible puro o en mezclas con gasolina, con las especificaciones para el bioetanol anhidro e hidratado definidas por la Norma Paraguaya PNA 025 de 1980. El Ministerio de Industria y Comercio se encarga de ajustar el contenido de biocombustible de acuerdo con las disponibilidades y precios relativos. Así, mediante la Resolución 153 de marzo de 1999 se estableció un contenido de 17% de bioetanol en todas las gasolinas, valor reducido a 6% por la Resolución 119 de marzo de 2001 y nuevamente elevado en mayo de 2006 por la Resolución 248, que define contenidos de 24% y 18% de bioetanol respectivamente en la gasolina regular y la gasolina súper (MIC, 2006a).

Apuntando a una rebaja en los precios de la gasolina, el gobierno paraguayo autorizó a partir de 2004 la distribución de la “gasolina económica”, con un contenido mínimo de 18% de biocombustible. Actualmente, la Destilería de Troche produce anualmente cinco millones de litros de bioetanol para mezcla con gasolina. Según las estadísticas oficiales, además del bioetanol anhidro mezclado con la gasolina, existe un pequeño consumo de bioetanol hidratado, el cual representaba cerca de 651 mil litros en 2004 y 211 mil litros en 2005 (MIC, 2006b), con tendencia al alza debido a la proliferación de vehículos “flex-fuel” (Motor, 2006).

En el plan de acción del Ministerio de Industria y Comercio se presenta el programa “Mezcla Sostenible”, que apunta a la expansión de la actual capacidad de producción de bioetanol anhidro, mediante la articulación del gobierno y cuatro destilerías, con el objeto de “consolidar la comercialización de las “alconaftas” con mezcla de bioetanol de producción netamente nacional, en forma sostenible y sustentable”. La meta fijada es lograr que en 2007 el porcentaje de mezcla llegue y se estabilice a 20%, haciéndolo no dependiente de la época de cosecha (MIC, 2006c). Con ese propósito, se estima que serían necesarios 45,1 mil m<sup>3</sup> de bioetanol y un área cultivada de caña de 8.631 hectáreas. Como un marco importante, en 2005 se aprobó la Ley 2748 de Fomento de los Biocombustibles, que asociada a los reglamentos y normas de calidad ya establecidos proporciona las condiciones para implementar el Programa de Producción de

Biocombustibles 2006-2008, con líneas de apoyo a los productores y con objetivos energéticos, sociales y ambientales.

En el año 2003 se promulgó en el **Perú** la Ley N° 28054 “Promoción del Mercado de Biocombustibles”, cuyo objeto fue establecer el marco general para promover el desarrollo de los biocombustibles. En base a la filosofía de la ley, este mercado se debe basar en la libre competencia y el libre acceso de la actividad económica. El objetivo del dispositivo legal es diversificar el mercado de combustibles, fomentar el desarrollo agropecuario y agroindustrial, disminuir la contaminación ambiental y ofrecer un mercado alternativo en la lucha contra las drogas.

Posteriormente, en el 2005 mediante Decreto Supremo N° 013-2005-EM, se aprobó el Reglamento de la Ley, que establece que el porcentaje de mezcla de alcohol carburante en las gasolinas será de 7,8%. Señala asimismo que las mezclas deberán realizarse en las Plantas de Abastecimiento autorizadas y establece un cronograma para la aplicación tanto del alcohol carburante en las gasolinas como la aplicación del biodiesel a nivel nacional. Actualmente no se ha iniciado la comercialización de biocombustibles a escala comercial (los proyectos que se están ejecutando son de tipo piloto), debido principalmente a que no existen normas técnicas para biocombustibles. Para obviar este problema, el Gobierno ha instituido una comisión encargada de elaborar Normas Técnicas peruanas para biocombustibles.

En **República Dominicana** el uso energético del bioetanol se planteó hace décadas. De hecho, en el año 1949 se creó la Ley 2071 del Bioetanol, pero sin muchos resultados. También en leyes posteriores relacionadas con energía, como la Ley de Hidrocarburos y de Electricidad, se buscó crear algunos incentivos para el desarrollo de fuentes renovables de energía, pero éstos no han sido suficientes. Finalmente, en el año 2002 se emitió el Decreto 732-02, para fomentar la producción y uso de ese bioetanol carburante. En las condiciones actuales, el consumo anual de gasolina es 1.178 mil m<sup>3</sup> y para una mezcla con 5% de bioetanol harían falta 61 mil m<sup>3</sup> de bioetanol, que a su vez necesitarían cerca de 20 mil hectáreas de caña (CNE, 2006).

En la actualidad los cañaverales dominicanos ocupan cerca de 350 mil hectáreas y se estima que podrían ser incorporados para cultivos de biocombustibles, sin competir con tierras agrícolas destinadas a la producción de alimentos ni con reservas forestales, cerca de 200 mil hectáreas; es decir que en principio existen plenas posibilidades de producir localmente una fracción relevante del consumo de combustible. En el Cuadro anterior se presenta la evolución a futuro del contenido de bioetanol, que podrá llegar a 22% en 2010, afectando directamente las necesidades de bioetanol y de importación de gasolina (CNE, 2006).

En **Uruguay** se pretende establecer un marco legal para progresivamente introducir los biocombustibles en la matriz energética del país. Se proyecta alcanzar el 5% de bioetanol en la gasolina hasta el año 2015, debiendo emplearse básicamente la caña como materia prima (Triunfo y Larrosa, 2006). La Ley de Biocombustible –que entró en trámite de aprobación legislativa a mitad de 2006– está en la actualidad (Agosto 2007) siendo discutida por la Comisión de Industria de la Cámara de Diputados.

A fines de 2005, el presidente de **Venezuela** anunció que destinaría más de 900 millones de dólares durante los próximos cinco años a la producción de bioetanol, usando el biocombustible como sustituto de los aditivos contaminantes de la gasolina y alcanzando una producción de 4 mil m<sup>3</sup> al día antes de 2010 (América Economía, 2006). De acuerdo con otras fuentes, la empresa PDVSA construirá 15 centrales azucareras para la producción de bioetanol, con la expectativa de crear más de un millón de empleos directos e indirectos. Los proyectos del estado de Guárico, donde será necesario cultivar 17 mil hectáreas están más adelantados (ABN, 2006). Como un hecho concreto, la petrolera estatal venezolana empezó en agosto de 2005 a efectuar la mezcla de bioetanol importado de Brasil en las gasolinas distribuidas en la región

oriental del país, utilizando la terminal portuaria de Puerto La Cruz para recibir cerca de 20 mil m<sup>3</sup> mensuales de producto, luego transportado hasta los terminales de San Tomé, Maturín, Puerto Ordaz y Ciudad Bolívar, a través de 590 km. de poliductos (PDVSA/Petrobras, 2005).

## 9.2 Biodiesel: experiencias en países de América Latina y el Caribe

Mientras la producción y uso del bioetanol combustible presentan un desarrollo casi secular en la región, las iniciativas para la progresiva adopción del biodiesel en algunos países latinoamericanos son mucho más recientes (eso sí, con una intensidad inédita). Las perspectivas de producción de biodiesel han motivado a instituciones y empresas en muchos países, que consideran que esa alternativa energética podrá consolidarse como un biocombustible ampliamente adoptado por el mercado, de alguna manera reproduciendo el recorrido del bioetanol en las últimas décadas. Especialmente en América Latina, contribuye a esta visión la amplia disponibilidad de cultivos oleaginosos y el impacto del alza de precios de los combustibles derivados del petróleo, generalmente importados. A continuación se presenta una revisión de principales programas de promoción de biodiesel actualmente en desarrollo en la región y se detallan en algunos casos los aspectos económicos y tecnológicos más relevantes asociados a éstos.

**Argentina**, uno de los más importantes productores mundiales de semillas oleaginosas, lanzó recientemente un programa para estimular la producción y utilización de ese biocombustible, con plazo y metas definidas para la mezcla obligatoria. La soja y el girasol ocupan grandes extensiones de tierra de buena productividad y la industria aceitera argentina es estructuralmente exportadora, destinando al mercado mundial alrededor del 90% de su producción, con una capacidad instalada para procesar 150 miles de toneladas al día.

Anteriormente a la Ley 26093 de 2005, ya mencionada para el bioetanol y que creó el “régimen de promoción para la producción y uso sustentable de biocombustibles”, mediante la Resolución 1156 de 2004, se lanzó el Programa Nacional de Biocombustibles, resaltando las expectativas del biodiesel y promoviendo la articulación institucional orientada a reforzar la investigación y desarrollo de inversiones. Con la Ley 26093 se estableció como meta mezclar el 5% de biodiesel en el diesel derivado de petróleo en el año 2010, con la reglamentación de un régimen de tributación favorable como la exención del impuesto a la transferencia de los combustibles (ITC) al biodiesel por 10 años, mediante el Decreto 1396/2001; y la creación de una institución gestora del programa, tal como se mencionó al comentar el desarrollo del bioetanol en Argentina.

La especificación del biodiesel en Argentina está definida desde 2001 por las Normas del Instituto Argentino de Normalización (IRAM - Establecimiento de los requisitos y métodos de ensayo para el biodiesel, comercialización y suministro en Argentina) y por la Resolución N°129/2001 de la Secretaría de Energía y Minería. El bioetanol deberá ser el alcohol empleado en las diversas plantas que se prevé estarán operando en los próximos años, en una práctica de producción integrada (empleando biocombustible para producir biocombustible) que, en algunos casos, resuelve algunos problemas.

La compleja cuestión de definir las materias primas de referencia no parece totalmente decidida, porque se pretenden promover simultáneamente diversos cultivos, pero los estudios están básicamente orientados a la soja y, en segundo lugar, al girasol.

Según los estudios que apuntan al cumplimiento de la meta, en 2010 la demanda de diesel en Argentina deberá estar cerca de 13,7 millones de m<sup>3</sup>, lo que implica una demanda de 685 millones de litros de biodiesel, cerca de 600 millones de toneladas de ese biocombustible, resultantes del procesamiento anual de 3,5 millones de toneladas de granos (9% de la producción

argentina), cosechadas en cerca de 1.300 mil hectáreas de soja (SAGPA, 2006). Con relación a las inversiones, considerando una inversión de 8 millones de dólares para una unidad agroindustrial con capacidad de 40.000 toneladas por año de biodiesel, serían necesarias aproximadamente 18 plantas, correspondientes a una inversión industrial de 144 millones de dólares (SAGPA, op. cit.).

Desde 1920 surgieron iniciativas para promover en **Brasil** el empleo de aceites vegetales en motores Diesel, con resultados limitados. Los programas más importantes, propuestos casi simultáneamente con la adopción del bioetanol, fueron el Pro-óleo y el Programa OVEG en 1980, igualmente sin avances. En 2002 el tema fue retomado y se constituyó la “Rede de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico” (PROBIODIÉSEL), coordinada por el Ministerio de Ciencia e Tecnología, que empezó a articular intereses y discutir la especificación del biodiesel para Brasil. En este país es importante encontrar sucedáneos renovables para el diesel, ya que este combustible es el más consumido entre los derivados del petróleo. Su demanda es de aproximadamente 36 millones de m<sup>3</sup> por año; cerca del 10% de ese volumen, es importado y se utiliza básicamente en el sector de transporte (80%) y la generación eléctrica en sistemas aislados, generalmente en la Amazonia (MME, 2006).

Para el biodiesel con características de “Estampilla de Combustible Social, el gobierno anticipó la meta de obligatoriedad para inicios de 2006, de acuerdo con las disponibilidades del producto, a ser ofertado en licitaciones promovidas por la ANP, que definió el precio máximo de referencia y la cantidad a ser comercializada para los productores de diesel, que aseguran contratos de compra de biodiesel para mezclar en el producto que deben distribuir.

El volumen de biodiesel comprometido en las licitaciones de la ANP alcanza aproximadamente la demanda estimada para 2007 considerando la meta de 2% en la mezcla (cerca de 800 millones de litros de biodiesel), pero hay fundadas dudas de que difícilmente esas entregas se realicen efectivamente. Considerando la distribución regional de las propuestas ganadoras en las licitaciones y los cultivos de mayor aptitud para cada región, así como la importancia concedida a los productores con Estampilla Social, se estima que el 33% de la oferta potencial de biodiesel considere el ricino como materia prima.

Así, una parte importante de la producción de biodiesel está basada en un cultivo que actualmente es muy restringido y en la producción a escala familiar, que dependen de la formación de las plantaciones y para la cuales los mecanismos de extensión y soporte tecnológico están todavía en implementación. Además, como se verá a continuación, la mayoría de las plantas de procesamiento para producción de biodiesel están aún en proyecto. No obstante, es notable la forma en que los precios del biodiesel fueron bajando, llegando a cerca de 0,79 dólares/litro en la última licitación.

La capacidad de producción de biodiesel, autorizada por la ANP hasta julio de 2006, es de 185 millones de litros anuales (considerando una operación de 300 días por año), como se presenta en el cuadro siguiente. Sin embargo este número refleja escasamente la intensa dinámica de los procesos de autorización en análisis, cerca de 29 nuevas unidades (Ardenghi, 2006); tampoco indica la capacidad de producción efectivamente disponible, ya que gran parte de esas plantas está todavía en implementación. Se estima que la actual capacidad de producción anual de biodiesel en Brasil será de 60 millones de litros.

La amplia gama de posibilidades de cultivos oleaginosos en Brasil, así como en el caso argentino, pone en evidencia la cuestión clave de la definición de las mejores alternativas para producir biodiesel.

En la Tabla 9.1, se presentan, desde una perspectiva brasileña, la productividad de biodiesel por superficie cultivada para un grupo de cultivos, donde se observa la significativa

variación existente que, tarde o temprano, orientará la producción hacia las materias primas más eficientes. Para dar una idea de la importancia de este tema, para satisfacer la demanda de biodiesel prevista para una mezcla en 5% en el presente consumo de diesel en Brasil, cerca de 5.000 millones de litros de biocombustible, serían necesarios 3,3 millones de hectáreas de soya, 2 millones de hectáreas de ricino y 0,4 millones de hectáreas de palma (Horta, 2005).

**TABLA 9.1**  
**CULTIVOS OLEAGINOSOS DE INTERÉS INMEDIATO**  
**PARA BIODIESEL EN BRASIL**

Cultivo	Productividad en aceite (t/ha/año)	Requerimiento de área de cultivo para producir 1 t de aceite (ha)
Ricino	0,7	1,43
Soya	0,6	2,00
Maní	0,7	1,43
Babassu	0,12	8,33
Palma	5,0	0,20

Fuente: Rocha, 2005.

Con relación a los costes del biodiesel en Brasil, se constata que más aún que para el bioetanol, la materia prima (aceite) representa el coste predominante, llegando al 85% del coste final del biocombustible (CGEE, 2005). Así, comprensiblemente, los estudios de costos para las condiciones observadas en Brasil dan cuenta de la existencia de una fuerte especificidad en función de la materia prima y de la región de producción. Por ejemplo, para el biodiesel a partir de aceite de soja, los costes de producción para los cultivos de São Paulo y Paraná varían entre 300 y 380 US\$/m<sup>3</sup> y para el Brasil central, entre 770 a 830 US\$/m<sup>3</sup>, mientras para el ricino se estiman costos de aproximadamente 800 US\$/m<sup>3</sup> (Rocha y Cortez, 2005).

Naturalmente, estos costes de producción del biodiesel deben ser comparados con los costes de oportunidad de otros productos que se pueden obtener a partir de las mismas materias primas y, de la misma manera, ser cotejados con los precios de mercado para el biodiesel, siempre teniendo en cuenta los tributos y la remuneración por eventuales co-productos y subproductos, como es el caso de las tortas de contenido proteico para uso en alimentación animal.

Un ejercicio sobre la competitividad del biodiesel de diferentes materias primas en las condiciones brasileñas indicó que el ricino presenta bajo atractivo, mientras la palma africana muestra una competitividad marginal, exactamente debido a sus costes de oportunidad significativamente inferiores. No se presentaron datos de costos de producción del biodiesel de soya por su clara dependencia de los precios de la torta (CGEE, 2005).

En **Colombia**, a partir de la Ley N° 939 de 2004 –por medio de la cual: “se estimula la producción y comercialización de biocombustibles de origen vegetal o animal para uso en motores diesel y se dictan otras disposiciones...”– se formalizó el interés en ese biocombustible, se promovió la exención de tributos y se constituyó una Mesa Nacional de Biocombustibles para trabajar de manera conjunta entre las instituciones públicas y privadas con experiencia y/o interés en el desarrollo del biodiesel, buscando además definir y desarrollar las estrategias técnicas, económicas, normativas, logísticas y ambientales necesarias para promover sustentablemente el biodiesel en Colombia.

Como otra medida importante, la Resolución 181780 de 2005 estableció una señal de precios, basada en los costes de las materias primas y la garantía de compra por parte de los distribuidores de diesel para una mezcla B10, como una forma de asegurar la recuperación de las inversiones. Se pretende que el programa se inicie a mediados de 2008 (UPME, 2006).

Se estima que para introducir el 10% de biodiesel en el mercado colombiano se necesitan cerca de 300 mil toneladas anuales de aceite de palma, cifra cercana al 50% de la actual producción nacional, requiriéndose cerca de 100 mil hectáreas cultivadas en palma africana y generando más de 100 mil empleos entre directos e indirectos. En un estudio de factibilidad para una planta con capacidad de 150 mil toneladas anuales que se instalará en Barrancabermeja, las inversiones fueron estimadas en 16 millones de dólares, resultando para una materia prima (aceite de palma) a 320 US\$/t, un precio del biodiesel de 1,25 US\$/litro al productor (Cala Hederich, 2003).

Mediante el Decreto N° 31818-MAG-MINAE de 2003, el gobierno de **Costa Rica** creó una Comisión Técnica que agrupa a públicas (MAG, MINAE y RECOPE) y privadas (CANAPALMA, industria de la palma aceitera y oleoquímica) para formular, identificar y diseñar estrategias para el desarrollo del biodiesel, la cual proveerá la legislación necesaria “si los resultados de los estudios fueran positivos” (Musmanni, 2006). En un estudio sobre la oportunidad del biodiesel de palma, se determinó un bajo interés del público, fuertemente dependiente de los precios del diesel convencional, siendo decisiva para la factibilidad la consideración de las externalidades positivas del biodiesel. Por ejemplo, para las condiciones medias del escenario de referencia de un proyecto tipo en Costa Rica, sin las externalidades la TIR se estimó en -1,41%, mientras que con su inclusión, resultó 41,3% (Musmanni, 2005).

En **Honduras**, a partir de 2003, el interés en biodiesel avanzó en términos prácticos; así, en Tocoa, cerca de la costa atlántica hondureña, se instaló una planta productora de biodiesel, con 20 toneladas diarias de capacidad y planes de alcanzar 100 toneladas en corto plazo, empleando aceite de palma como materia prima. Se informó que en la unidad de producción el costo de ese biocombustible es de 0,61 US\$/l, lo que permite que su mezcla en 5% con diesel se entregue a 0,704 US\$/l para un grupo limitado de consumidores, que así dejan ventajosamente de pagar 0,778 US\$/l de diesel convencional. Se trata de un proyecto piloto privado, con dimensiones limitadas, pero que está permitiendo probar, con éxito hasta ahora, la producción y utilización de un biocombustible innovador, incluso antes del desarrollo del marco legal específico (CEPAL, 2006).

Quizás fue en **Nicaragua** donde el biodiesel de materias primas no convencionales tuvo un intento más avanzado en la región. En una experiencia descrita con más detalles en un trabajo anterior (CEPAL, 2004), durante el comienzo de los años noventa se desarrolló en ese país el Proyecto EMAT (Ester Metílico del Aceite de Tempate - EMAT), con apoyo del gobierno austriaco, estudios previos de factibilidad e investigación agrícola del tempate o piñón (*Jatropha curcas* L.), que pretendía “crear las bases para el procesamiento industrial del tempate, obteniendo diesel vegetal, reduciendo la dependencia de energía importada, economizando divisas, protegiendo el medio ambiente y generando oportunidades de trabajo” (Ocampo, 1993).

En ese proyecto se plantaron 1.013 hectáreas de tempate y se implementó una unidad procesadora de los frutos para biodiesel (con capacidad para ocho mil toneladas anuales de frutos), considerando que en el área cultivada se producirían 7,1 miles de barriles anuales de diesel, o sea, alrededor de 1.130 litros de biodiesel por hectárea. Esta producción representaría menos del 1% del mercado de diesel y se vendería a 0,22 US\$/l, que era el precio mayorista del derivado de petróleo, y aseguraría un retorno mínimo al proyecto.

Cabe observar que se trataba de un proyecto piloto, para investigar mejor y eventualmente fomentar una alternativa de suministro energético que podría llegar a “sustituir el 10% de las importaciones de diesel” (ibid, 1993). Hubo una planificación previa del componente agrícola, con establecimiento de viveros, plantaciones y definición de un procedimiento para la

cosecha. No obstante, la producción agrícola no logró estabilizarse y luego de algunos años de actividades y de un gasto de alrededor de tres millones de dólares, el proyecto se interrumpió.

En **Perú**, la Universidad Nacional Agraria La Molina desarrolló en los últimos años un importante estudio sobre las variedades amazónicas de potencial aceitero, en términos de productividad y aptitud para la producción de biodiesel. Se formularon interesantes conclusiones sobre especies hasta ahora prácticamente desconocidas, y se probaron modelos de unidades de transesterificación de pequeño porte y efectuándose además pruebas de bancada en motores Diesel (Castro et al., 2005).

En prácticamente el resto de los países de la región se observan iniciativas relacionadas con el biodiesel. Como ejemplos de la diversidad de acciones en ese sentido, en **Guatemala** la empresa Octagón informa haber plantado 2.500 hectáreas de piñón (*Jatropha curcas* L.), apuntando a la extracción de aceite para la producción de biodiesel (Asturias, 2006). En Paraguay, la Ley 2748 de 2005 aún no establece el porcentaje de mezcla de biodiesel en el diesel, pero sí ya habla de la obligatoriedad de la mezcla. En la **República Dominicana**, donde ya se cultivan más de 8 mil hectáreas de palma, se plantea expandir ese cultivo para la producción de biodiesel, estimándose que con 20% de biocombustible en el diesel, en 2010 la demanda sería aproximadamente de 265,6 millones de litros de biodiesel (CNE, 2006).

## **9.4 Desafíos para el desarrollo sostenible de biocombustibles en América Latina y el Caribe**

El objeto principal de los capítulos anteriores de este documento era proporcionar un panorama de la situación de entorno relativa al desarrollo del bioetanol y el biodiesel en países de América Latina y el Caribe, añadiendo luz en lo que se refiere a las diferencias de potencial productivo y factibilidad económica entre los dos biocombustibles contemplados.

### **9.4.1 Los desafíos para el bioetanol**

La experiencia mundial en el cultivo de caña es importante; más de cien países la producen en este momento. Ninguno de ellos, no obstante, presenta una estructura de costes tan favorable como Brasil. Si el coste medio de producción del azúcar en Brasil (en 2005) estaba en torno a los 65 dólares por tonelada, cerca de un cuarto de la producción mundial tenía un coste asociado de entre 90 dólares y 115 dólares por tonelada (por encima de 180 dólares por tonelada en el resto de la producción mundial).

Australia, por ejemplo, con un coste de producción del azúcar cercano a los 85 dólares por tonelada - únicamente equiparable al de Brasil o Tailandia (90 dólares) - sólo conseguiría que la producción de bioetanol fuese rentable sin apoyo público con precios internacionales del petróleo en sus niveles actuales.

Pocas regiones del planeta conjugan de forma tan favorable como América Latina el potencial para la producción de bioetanol, por sus disponibilidades de suelo y clima, o por su larga tradición cañera, con la necesidad de reducir las tasas de dependencia energética, introducir combustibles renovables y menos contaminantes y, al mismo tiempo, generar empleos y dinamizar el medio rural. Así, y como demuestran las diferentes iniciativas para desarrollar programas de producción de bioetanol en los países de la región, las perspectivas para ampliar el uso de bioetanol pueden ser consideradas, cuando menos, sugerentes.

En términos generales, no se puede afirmar que existan barreras relevantes al desarrollo del bioetanol en la región, a no ser por la debilidad de la base de información sobre las ventajas, desventajas y bases de sustentabilidad de la producción de dicho biocombustible.

En efecto, la escasez de información sobre sistemas bioenergéticos y la relevancia de los requisitos de productividad agroindustrial y de un saldo energético netamente positivo explican por qué siguen adelante —algunas veces sin la justificación exigible— algunas propuestas para ejecutar programas de bioetanol basados en cultivos de bajo rendimiento energético.

En consecuencia, es crucial elegir cultivos y tecnologías de conversión bajo criterios de sustentabilidad económica y ambiental y, en ese sentido, la utilización, por ejemplo, del maíz debe ser cuidadosamente considerada en América Latina y Caribe. En el contexto norteamericano, la insistencia en producir biocombustible por vías de baja productividad energética ha costado al Tesoro de los Estados Unidos 3.300 millones de dólares en subsidios directos en 2004 para viabilizar la producción (Patzek, 2005).

Es relevante, por tanto, impulsar programas informativos que apunten a la difusión de las ventajas y desventajas ligadas a la producción y uso eficiente del bioetanol, reconociendo la diversidad de visiones y objetivos de los agentes sociales y económicos, de modo que pueda alcanzarse el consenso esencial para lograr una progresiva transición de recursos energéticos primarios de origen fósil hacia recursos renovables. En todo caso, la decisión de mantener o aumentar la producción de bioetanol, para ser eficiente y sostenible, debe ser el resultado de una cuidadosa concertación de intereses, bajo la égida del bienestar de la sociedad en su conjunto.

Un elemento importante a evidenciarse es que —con excepción de Brasil— la producción a gran escala de biocombustibles sólo se ha mostrado factible, con ciertas garantías, en países eminentemente industrializados. La industria del bioetanol de Brasil es madura, con una estructura de costes muy favorable y podría expandirse notablemente en el futuro en respuesta a una demanda creciente. La cuestión clave parece ser, por lo tanto, hasta qué punto es replicable la experiencia del bioetanol en Brasil, cuestión ésta, por cierto, que está siendo analizada en Chile, por citar un ejemplo, en el momento de publicarse este documento.

En este sentido, es interesante recordar las cuestiones-clave analizadas en el documento “*Potential for biofuels for transport in developing countries*” producido por ESMAP<sup>94</sup> en 2005:

- ¿la industria del bioetanol (y de los biocombustibles en general) puede ser rentable financieramente sin apoyo gubernamental?
- ¿se justificaría en su caso dicha ayuda?
- ¿qué factores afectan a la viabilidad (financiera y económica) de los programas de producción (o expansión de la producción) del bioetanol.

### 9.4.2 Los desafíos para el biodiesel

Por su parte, el biodiesel puede constituirse en un efectivo sustituto del diesel derivado de petróleo, pero debe comprobar todavía fehacientemente su factibilidad real, sobre todo en términos de balance energético y productividad. La experiencia europea con biodiesel se basa en políticas agrícolas difícilmente replicables en la región, con altos niveles de subsidios y barreras aduaneras elevadas.

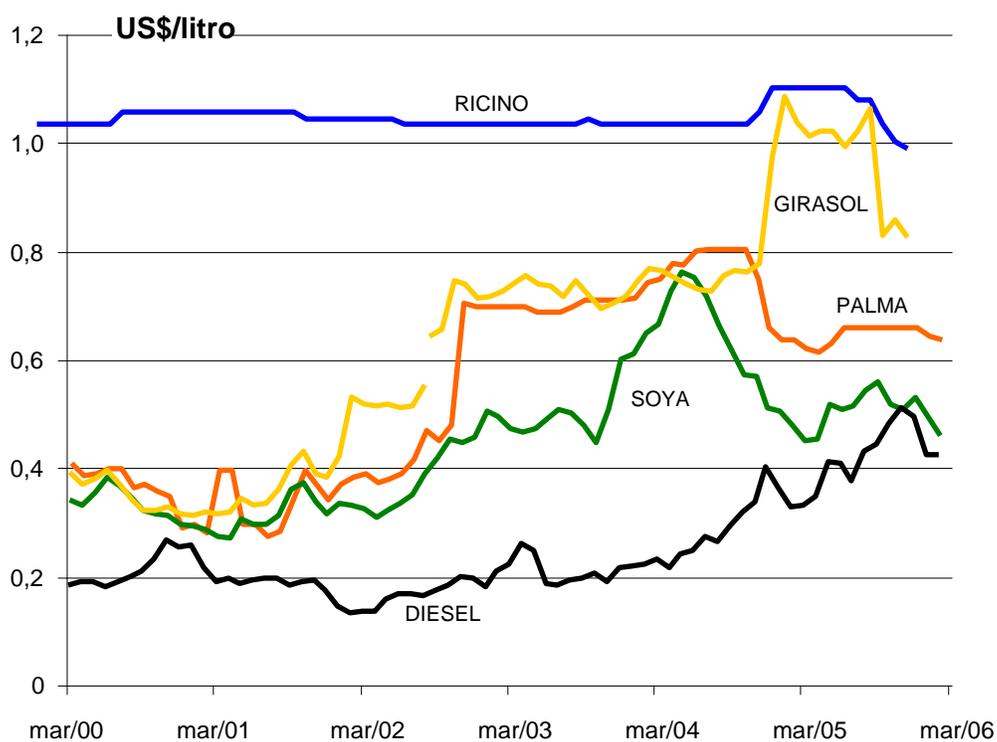
---

<sup>94</sup> El Energy Sector Management Assistance Program (ESMAP) es un esfuerzo conjunto del PNUD y el Banco Mundial, establecido en 1983. El objetivo fundamental de ESMAP es garantizar la contribución de la energía a la reducción de la pobreza y al crecimiento económico de manera ambientalmente responsable.

El desarrollo del bioetanol en Brasil, a lo largo de décadas, puede servir como una referencia oportuna, ya que el excesivo intervencionismo, la adopción de materias primas equivocadas, el no reconocimiento de la importancia de la integración y flexibilización en la agroindustria, o el retraso en valorizar el desarrollo agronómico, pueden representar unos interesantes contra-modelos de referencia para no repetir errores del pasado.

En términos de la rentabilidad financiera del biodiesel, es interesante analizar la evolución de los precios internacionales de los aceites vegetales y del diesel en los últimos años, traducidos en bases comparables de acuerdo a lo presentado en el Gráfico 9.1. Los valores relativos al biodiesel fueron estimados con base en los precios FOB pagados al productor de aceites vegetales (ERS, 2006), considerando una densidad de 0,80 kg/litro y suponiendo que el costo del aceite representa en torno al 80% del costo total de producción del biodiesel. Para el diesel se tomaron los precios del combustible en el mercado spot de Rotterdam (EIA, 2006).

**GRÁFICO 9.1**  
**PRECIOS DE REFERENCIA PARA EL BIODIESEL DE DIFERENTES MATERIAS PRIMAS Y PARA EL DIESEL RÓTTERDAM**



Fuente: ERS, 2006 y EIA, 2006.

Como puede observarse, los precios de los aceites se han situado sistemáticamente por encima del precio del diesel, de modo que al proponer la utilización de un aceite como combustible —más allá de garantizar que presenta costos inferiores a los precios de venta, empleando o no mecanismos de compensación, renuncia fiscal o subsidio—, es fundamental conocer si hay un uso alternativo que permita un beneficio mayor; es decir, si hay oportunidad de valorizar más el producto.

Por tanto, una posible línea de acción para determinar espacios de mejor factibilidad para el biodiesel es tratar de identificar usos de mayor valor agregado. En ese sentido, la defensa del biodiesel se centra generalmente en sus potenciales ventajas ambientales en la reducción de emisiones, apuntando a la sustitución de diesel importado, o su capacidad para dinamizar el sector agroindustrial, entre otros objetivos. Entre esos propósitos, podría ser incluido el uso del biodiesel como aditivo para mejorar la lubricidad del diesel, cada vez más comprometida por la reducción de los contenidos de azufre. Es muy posible que, comenzando mediante formas más valorizadas, su inserción en las matrices energéticas, el biodiesel podrá soportar mejor su baja competitividad frente al diesel mineral.

### **9.4.3 Los desafíos para el sector público en la promoción de los biocombustibles**

El papel del sector público en el sector de los biocombustibles parece tener sentido en diferentes ámbitos: la eliminación de barreras normativas para la inversión en biocombustibles, la sensibilización de los ciudadanos frente al uso adecuado de los mismos y el análisis de los costes externos que esta producción podría imponer sobre la sociedad en su conjunto. ESMAP (2005) recomienda de manera enfática el desarrollo de análisis económicos complejos para evaluar la rentabilidad financiera, económica y social de la producción de biocombustibles y analizar el eventual apoyo gubernamental a ésta.

Eso implica atender a consideraciones climáticas (y decidir, de manera óptima, sobre la materia prima a emplear en cada caso), evaluar la estructura de transportes y comunicaciones, la capacidad de investigación aplicada y desarrollo tecnológico de cada país, los niveles educativos de la mano de obra contratada en la producción agrícola de las materias primas del bioetanol, la fortaleza del sistema crediticio, la solvencia de los cuadros de gestión (tanto en la fase agrícola como agroindustrial) y los mecanismos de internalizar de algunas externalidades ambientales (como las asociadas a la contaminación atmosférica en zonas urbanas o las emisiones de gases de efecto invernadero).

#### **RECUADRO 9.1**

##### **ROL DEL ESTADO Y DESARROLLO DEL POTENCIAL DE LOS BIOCOMBUSTIBLES: EL CASO PARADIGMÁTICO DEL PERÚ**

El Perú está entre los 12 países con mayor biodiversidad del planeta y en ese sentido cuenta con ventajas comparativas para el desarrollo de la bioenergía y la producción de biocombustibles. Los rendimientos por hectárea de la caña de azúcar registran, en la costa, una productividad que se ubica entre las mayores del mundo. A su vez posee una gran riqueza en biodiversidad que le permitiría aprovechar una variada disponibilidad de especies para biodiesel.

Existen, no obstante, problemas de infraestructura, en la sierra y en la selva, para hacer económica y socialmente factibles dichas ventajas comparativas. En este sentido, el programa de Gobierno “Sierra Exportadora y el Instituto Nacional de Biocombustibles (iniciativa público-privada recién creada) pueden jugar un papel relevante para el desarrollo de estas potencialidades, potenciando la vocación emprendedora en el medio rural.

Deben enfrentarse, sin embargo, problemas relacionados con la disponibilidad de recursos hídricos y calidad de las tierras disponibles, a la vez que diseñar políticas públicas promocionales más efectivas que permitan dar factibilidad económica a iniciativas que consideren la inserción y vocación emprendedora de pequeños y medianos agricultores, ya que su eventual exclusión, en algunas regiones, podría ser motivo de conflicto sociales, sobre todo si persisten las restricciones derivadas de la reducida disponibilidad de recursos hídricos.

Si bien está en vigencia una legislación, que incluye medidas promocionales para el desarrollo del mercado de los biocombustibles, fijando plazos para su incorporación y metas de mezcla para uso en el mercado interno, puede ya advertirse que, al menos en los proyectos de etanol, la iniciativa privada se orientaría predominantemente a la exportación, contribuyendo a dinamizar las exportaciones no tradicionales del país, lo que permitiría también contribuir a mejorar la balanza comercial agropecuaria.

Se requieren por tanto análisis más profundos, sobre todo de costo/beneficio, que articulen los criterios de rentabilidad privada y social, no sólo con visión de corto plazo, sino en la perspectiva de mediano y largo plazo, para vislumbrar el aporte efectivo al desarrollo rural, como se propone la política del Gobierno. Por otro lado, la articulación agro-energía resulta todavía muy frágil, institucionalmente hablando, siendo claro que los biocombustibles no aportarán decisivamente a la diversificación de la disponibilidad de combustibles para el transporte, dado que el aporte del etanol a las gasolinas se irá reduciendo, debido a la mayor penetración del Gas Natural Vehicular (GNV) en el mercado nacional. El aporte del biodiesel, en cambio, debería ser mayor, progresivamente, dado el crecimiento que experimentará la demanda interna de diesel para el transporte.

Fuente: Promoción de los Biocombustibles en el Perú – Sanchez & Orrego (2007) – documento CEPAL, en edición.

Resulta evidente que el desarrollo sostenible de los biocombustibles (tanto bioetanol como biodiesel) en América Latina y el Caribe deberá presuponer un importante y articulado esfuerzo analítico y multisectorial por parte de los Gobiernos de la región; dicho esfuerzo deberá apuntar a sentar bases sólidas para el diseño de planes nacionales de promoción de las fuentes mencionadas.

En este sentido, un plan nacional para el desarrollo sustentable de biocombustibles deberá enfrentar desafíos multidimensionales, debiendo responder a preguntas del tipo:

¿Cómo definir mejor alternativas técnicamente robustas, suficientemente probadas, con indicadores de productividad agrícola, industrial, energética y factibilidad económica bien determinados?

¿Con base en qué parámetros deben desarrollarse complejos análisis y jerarquización de objetivos, tratando de ampliar el universo de beneficiarios pero sin crear dependencias y generar expectativas elevadas? Por ejemplo, es siempre deseable que pequeños y medianos productores puedan acceder al mercado de biocombustibles, pero de manera equilibrada y sin bloquear la participación de los demás productores. Análogamente la promoción del desarrollo regional y la generación de empleos no deben ser más prioritarios que la propia producción de biocombustible.

¿Cómo preparar la introducción del nuevo combustible de forma cuidadosa, reconociendo los intereses eventualmente en conflicto y tratando de lograr una convergencia mínima indispensable? En ese sentido, es esencial el liderazgo y la decisión gubernamental, así como la información a los agentes, como bien indican las recientes experiencias de introducción del bioetanol en Colombia y Costa Rica.

¿De qué manera es posible establecer especificaciones de los combustibles puros y en mezcla, como medida esencial para garantizar los derechos de los consumidores, reducir presiones de las empresas distribuidoras de combustibles y orientar las inversiones productivas?

¿Cómo evaluar las condiciones logísticas y de almacenamiento, dejando que los agentes responsables asuman el encargo de, en plazos definidos, establecer la sistemática de mezcla y monitoreo de la calidad?

¿Con base en qué procesos políticos y técnicos es necesario establecer un marco legal claro y coherente con el mercado de combustibles? En este sentido, el esfuerzo deberá apuntar a: i) tratar de reducir hasta donde sea posible la intervención en la fijación de precios, ii) orientar la distribución equilibrada del valor agregado por el combustible entre los sectores productivos comprometidos; iii) reducir riesgos, especialmente mediante la definición de un contenido mínimo de mezcla, con un cronograma de implementación.

¿Con base en qué elementos cabe evaluar la oportunidad de adoptar mecanismos de “internalización” de las externalidades? (por ejemplo mediante renuncia fiscal diferencial entre los productos energéticos y siempre de forma clara, ya que los ingresos por tributos a los combustibles son importantes fuentes de recursos para los gobiernos).

¿Cómo dar oportuno seguimiento al programa y realizar su evaluación, en un ejercicio permanente junto a los agentes involucrados?

## Bibliografía

- Abdelhadi, L. y F. Santini, 2002. “Sorgo granífero: Una alternativa oportuna para los sistemas de producción ganadera”. CONICET / INTA EEA Balcarce, Buenos Aires, Argentina. URL: [www.inta.gov.ar/balcarce/info/documentos/agric/cereales/sorgogranifero.htm](http://www.inta.gov.ar/balcarce/info/documentos/agric/cereales/sorgogranifero.htm). Visitado en 11/2006.
- Adamowicz, W.L., Louviere J. y Williams M. (1994) “Combining stated preference and revealed preference methods for valuing environmental amenities”, *Journal of Environmental Economics and Management*, 26: 271-296.
- AEA Technology Environment (2004). “International Resource Costs of Biodiesel and Bioethanol”. DfT.
- AGRENEB (2006). “Situación y perspectivas de biocombustibles en Colombia”.
- Agricultural Statistical Unit, Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries, “Saint Vincent and the Grenadines. Cost of Production: Cassava”. Jun-2001. URL: <http://www.gov.vc/contentmanager/articlefiles/3996-Cost%20of%20Production%20-%20Cassava.pdf>. Visitado en 11/2006.
- Alakangas E. (2005) “Properties of wood biofuels used in Finland. Biosouth Project”. VTT.
- ANASAC. Ficha de Cultivo Trigo Centro Norte. URL: [http://www.anasac.cl/app/Catalogo/Frontend/producto.asp?cod\\_doc=545&volver=1&cod\\_nodo=35&cod\\_familia=1](http://www.anasac.cl/app/Catalogo/Frontend/producto.asp?cod_doc=545&volver=1&cod_nodo=35&cod_familia=1). Visitado en 11/2006.
- \_\_\_\_\_ Ficha de Cultivo Trigo Centro Sur. URL: [http://www.anasac.cl/app/Catalogo/Frontend/producto.asp?cod\\_doc=545&volver=1&cod\\_nodo=35&cod\\_familia=1](http://www.anasac.cl/app/Catalogo/Frontend/producto.asp?cod_doc=545&volver=1&cod_nodo=35&cod_familia=1). Visitado en 11/2006.
- \_\_\_\_\_ Ficha de Cultivo Trigo Sur. URL: [http://www.anasac.cl/app/Catalogo/Frontend/producto.asp?cod\\_doc=545&volver=1&cod\\_nodo=35&cod\\_familia=1](http://www.anasac.cl/app/Catalogo/Frontend/producto.asp?cod_doc=545&volver=1&cod_nodo=35&cod_familia=1). Visitado en 11/2006.
- Anderson, K. y Blackhurst, R. (ed.), (1992): *The Greening of the World Trade Issues*. Ann Arbor: University of Michigan Press.
- Antolín G, Tinaut FV, Briceño Y, Castaño V, et al. (2002) Optimisation of biodiesel production by sunflower oil transesterification. *Bioresource Technology*; 83; 111-114.
- APPA (2006). Revisión del régimen económico de las energías renovables. Informe propuestas APPA.
- Armstrong AP, Baro J, Dartoy J, Groves AP, et al. (2002) Energy and greenhouse gas balance of biofuels for Europe-an update. CONCAWE.
- Asheim, G., Buchholz, W. y B. Tungodden (2001): “Justifying Sustainability”, *Journal of Environmental Economics and Management*, 41: 252–268.

- Babler W. (2005) Ethanol future opportunities. Ethanol Producer Magazine; septiembre 2005: 60-62.
- Backéus S, Wikström B y Lämås E. (2005) A model for regional analysis of carbon sequestration and timber production. *Forest Ecology and Management*; 216: 28-40.
- Bakkes J, Henrich T, Kemp-Benedict E, Masui T. (2004) GEO-3 Scenarios 2002-2032. Quantification and analysis of environmental impacts. UNEP/RIVM.
- Baranyi S, Deere CD, Morales M. (2004) Scoping study on land policy research in Latin America. The North-South Institute.
- Bartelmus, P (1998): "Overview". En K. Uno. y P. Bartelmus (eds.) *Environmental accounting in theory and practice*, Kluwer Academic Publisher.
- Beer T, Grant T, Watson H, Olaru D. (2004) Lyfe-Cycle emissions analysis of fuels for light vehicles. Australian Green House Office.
- Bergsma G, Kampman B, Croezen H, Sevenster M. (2006) Biofuels and their global influence on land availability for agriculture. A first evaluation and a proposal for further fact finding. CE Delft Solutions for environment, economy and technology.
- Berndes G, Hoogwijk M, van der Broek R. (2003) The contribution of biomass in the future global energy supply: a review of 17 studies. *Biomass and Bioenergy*, 25: 1-28.
- Bhagwati J. and Daly H. (1995): "Debate: Does Free Trade Harm the Environment?", *Scientific American* 269, 5, November, 1995.
- Biofuels Research Advisory Council (2006) Biofuels in the European Union. A vision for 2030 and beyond. European Commission.
- Biofuels Task Force (2005) Report of the Biofuels Taskforce to the Prime Minister. Australian Government.
- Blackman A, Alberts H, Ávalos-Sartorio B, Crooks L. (2005) Deforestation and shade coffee in Oaxaca. Discussion Paper. Resources for the future; agosto, 2005.
- Bockey D. (2006) Potential raw materials for the production of biodiesel. An analysis. UFOP.
- Borda, M. y H. Forján. 2006. Análisis económico agrícola. Campaña fina 2006/2007. Agro Barrow N° 34. INTA CEI Barrow, Buenos Aires, Argentina. URL: [www.inta.gov.ar/barrow/info/documentos/agrobarrow34/Analisis%20economico%20agricola.pdf](http://www.inta.gov.ar/barrow/info/documentos/agrobarrow34/Analisis%20economico%20agricola.pdf). Visitado en 12/2006.
- Börjesson P, Berglund M. (2006) Environmental systems analysis of biogas systems-Part I: fuel-cycle emissions. *Biomass and Bioenergy*; 30: 469-485.
- Bossel U. (2003) Well-to-Wheel Studies, Heating Values and the Energy Conservation Principle. European Fuel Cell Forum, 22 Octubre 2003.
- Boxall, P.C., Englin, J. y Watson, D. O. (1998). "An Empirical Examination of Non-Market Values of Wilderness Recreation and their Role in the Industrial Use of a Canadian Forest". En C. Stewart Roper y A. Park (editors). *The Living Forest: Non-Market Benefits of Forests*, Proceedings of the International Symposium on the Non-Market Benefits of Forestry. The Stationary Office and The Forestry Commission, Londres, pp. 145-152.
- BP (2006) Quantifying energy. BP statistical review of world energy. June 2006.
- Calzón J, Caspersen N, Dercas N, Gaillard G, et al. (2000) Bioenergy for Europe: which one fits best? A comparative analysis for the Community. European Commission.
- Cámara Agropecuaria y Agroindustrial de El Salvador. Costos de Producción: Granos Básicos, Cultivos Tradicionales, Hortalizas. Dirección General de Economía Agropecuaria (MAG/DGEA). Anuario de Estadísticas Agropecuarias 2002-2003. URL: [http://www.camagro.com/mag/Anuario\\_Estadisticas/2002-2003/Costos\\_de\\_Produccion/Default.asp](http://www.camagro.com/mag/Anuario_Estadisticas/2002-2003/Costos_de_Produccion/Default.asp). Visitado en 12/2006.

- \_\_\_\_\_. Dirección General de Economía Agropecuaria (MAG/DGEA). Demanda aparente de mano de obra – Cosecha 2002/2003. Anuario de Estadísticas Agropecuarias 2002-2003: Costos de Producción. URL: [http://www.camagro.com/mag/Anuario\\_Estadisticas/2002-2003/Costos\\_de\\_Produccion/Mano\\_de\\_Obra.asp](http://www.camagro.com/mag/Anuario_Estadisticas/2002-2003/Costos_de_Produccion/Mano_de_Obra.asp). Visitado en 12/2006.
- \_\_\_\_\_. Superficie Sembrada, Producción y Rendimiento de Sorgo por Modalidad según Región, Departamento y Época de Cosecha, 2002/2003. URL: [http://www.camagro.com/mag/Anuario\\_Estadisticas/2002-2003/Estadisticas\\_Agropecuarias/Produccion\\_Agricola/Cuadro9.asp](http://www.camagro.com/mag/Anuario_Estadisticas/2002-2003/Estadisticas_Agropecuarias/Produccion_Agricola/Cuadro9.asp). Visitado 11/2006.
- Cap, E.J., y P. González (2002) “Argentina: Una exploración de la frontera de posibilidades productiva del sector de granos y oleaginosas” Instituto de Economía y Sociología, INTA.
- Cardona C.A., Sánchez OJ. (2006) Energy consumption analysis of integrated flowsheets for production of fuel ethanol from lignocellulosic biomass. *Energy*, 31: 2111-2123.
- Cazanga, R., G. Castellaro, y M. Tromp. 2001. Manual de Operación del Modelo ARC: Agua y rendimiento de los cultivos versión Visual Basic. En: *Sistemas de Información de Recursos de Tierras (SIRT): Serie FAO de Medios Digitales sobre Tierras y Aguas N° 29*. 2004. Roma.
- CE (2006) Estrategia de la UE para los biocarburantes [COM(2006) 34 final]. Comisión de las Comunidades Europeas; 8 febrero, 2006.
- Centro de Investigación y Promoción del Campesinado (CIPCA) - Perú. Ficha Técnica de Yuca. URL: [http://www.cipca.org.pe/cipca/informacion\\_y\\_desarrollo/agraria/fichas/yuca.htm](http://www.cipca.org.pe/cipca/informacion_y_desarrollo/agraria/fichas/yuca.htm). Visitado 11/2006.
- Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias de Venezuela. <http://www.ceniap.gov.ve/>
- CFDC (2003) Ethanol factbook. A compilation of information about fuel ethanol. CFDC, Ethanol Accross America.
- CFDC, Nebraska Ethanol Board, USDA (2006). A guide for evaluating the requirements of ethanol plants.
- Chan A, Chen E, Ming TT, Ali H. (2006) Biofuels sector: global comparisons of a fast-growing sector. Credit Suisse.
- Chapagain, A.K. and Hoekstra, A.Y. (2004) ‘Water footprints of nations’, Value of Water Research Report Series N° 16, UNESCO-IHE, Delft, the Netherlands
- Chicago Board of Trade (2006) [Presentación] Weekly Chartbook for CBOT Ethanol Futures Contract; 13 octubre, 2006.
- CIRAD (2005) An assessment of bio-oil toxicity of safe handling and transportation [Publishable final report]. CIRAD, Aston University, BFH.
- Coelho, S. (2005) [Presentación] Brazilian sugarcane ethanol: lessons learned. STAP Workshop on liquid biofuels. Nueva Delhi, India; 29 agosto-1 septiembre, 2005.
- Comunicación personal (archivo Excel), Martha Betancourt M., Presidenta Ejecutiva Procaña, Colombia. Enero 2007.
- \_\_\_\_\_. (archivo Excel), Pablo Volpe Cordero, Asesor de Comercio, Asociación Nacional de Productores de Oleaginosas y Trigo, ANAPO, Santa Cruz, Bolivia. Enero 2007.
- \_\_\_\_\_. Weber A. N. Amaral, PhD, Professor ESALQ – USP, Piracicaba, Sao Paulo; CEO Polo Nacional de Biocombustíveis, Brasil. “Estudo comparativo do potencial de produção de etanol no Maranhão: vantagens competitivas e comparativas”. Enero 2007.
- \_\_\_\_\_. Weber A. N. Amaral, PhD, Professor ESALQ – USP, Piracicaba, Sao Paulo; CEO Polo Nacional de Biocombustíveis, Brasil. “Matérias primas para produção de biodiesel”, Enero 2007.
- \_\_\_\_\_. Denis Fajardo G., Dirección de Estadísticas Ministerio Agropecuario y Forestal, Nicaragua. (archivos Excel). Enero 2007.
- \_\_\_\_\_. Eduardo Villegas de los Ríos, SUPALMA Ltda.- Asesorías. Barranquilla, Colombia. Noviembre 2006.

- \_\_\_\_\_. Francisco Peralta, KWS Chile Ltda. Diciembre 2006.
- \_\_\_\_\_. Gabriel Leyton B., Fundación Chile. Diciembre 2006.
- \_\_\_\_\_. Graciela Gómez B., Especialista en Producción y Sanidad Vegetal, Oficina IICA – Paraguay. Diciembre 2006.
- \_\_\_\_\_. Infoagro, Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, Guatemala. (archivo Excel). Enero 2007.
- \_\_\_\_\_. Ivan Amancio Sampaio, Gerente de Informação, Sindicato Nacional da Indústria de Produtos para Defesa Agrícola, Sindag, Brasil. (archivo Excel) Enero 2007.
- \_\_\_\_\_. Juan Arentsen O., Profesor Auxiliar Asociado, Pontificia Universidad Católica de Chile. Enero 2007.
- \_\_\_\_\_. Manuel Domínguez S., Gerente Departamento Técnico del Instituto Azucarero Dominicano (INAZUCAR), República Dominicana. “Manual de Cultivo de la Caña de Azúcar” (Archivo PDF). Noviembre 2006.
- \_\_\_\_\_. Marcelo Torres M., Técnico responsable de la cadena agroalimentaria del Maíz y la Soya. Ministerio de Agricultura, Ecuador. (archivo Excel). Diciembre 2007.
- \_\_\_\_\_. Martín Rivera T., Coordinador del Proyecto de Seguimiento de Costos de Producción Agrícola por Sistema-Producto (SISPRO-SECOPA); Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) de la Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). URL: <http://www.siap.sagarpa.gob.mx/viocs/>. Dic 2006 – Ene 2007.
- \_\_\_\_\_. Reinhard Henning, The Jatropha System, Weissensberg, Alemania. Diciembre 2006.
- \_\_\_\_\_. Víctor Camacho A., Técnico responsable de la cadena agroalimentaria del Azúcar. Ministerio de Agricultura y Ganadería, Ecuador. (archivo Excel). Diciembre 2007.
- Cook S, Gichuki F, Turrall H. (2006a) Agricultural Water Productivity: Issues, Concepts and Approaches. Basin Focal Project Working Paper n° 1. CGIAR.
- \_\_\_\_\_. (2006b) Estimation at Plot, Farm and Basin Scale. Basin Focal Project Working Paper n° 2. CGIAR.
- Cook S, Gichuki F. (2006) Analyzing Water Poverty: Water, Agriculture and Poverty in Basins. Basin Focal Project Working Paper n° 3. CGIAR.
- Corden, W.M. (1997): Trade Policy and Economic Welfare, Clarendon Press, Oxford.
- Costello, C. y McAusland C. (2003): “Protectionism, trade, and measures of damage from exotic species introductions”. American Journal of Agricultural Economics, 85(4): 964-975.
- Corporación PROEXANT. Promoción de Exportaciones Agrícolas No Tradicionales. Hoja Técnica de Yuca, URL: [http://www.proexant.org.ec/HT\\_Yuca.html](http://www.proexant.org.ec/HT_Yuca.html). Visitado 11/2006.
- Costanza, R., d’Arge, R., de Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., O’Neill, R.V., Parulelo, J., Raskin, R.G., Sutton, P. y van den Belt, M. (1997): “The value of the world’s ecosystem services and natural capital”, Nature, Vol. 387: 253-260.
- Costos de Producción (año 2000) del Cultivo de la YUCA en la Zona Plana del Cauca - Diversos Escenarios. Departamento Administrativo Nacional de Estadística, Ministerio de Agricultura, CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical), Banco de La República, Federacafé, Departamento Nacional de Planeación, Colombia. URL: <http://www.ciat.cgiar.org/webciat/impact/Costos%20Yuca/costoyuca.htm#>. Visitado en 12/2006.
- Costos de Producción y Comercialización del Algodón: Cosecha Interior 2005. Confederación Colombiana del Algodón (CONALGODON), Fondo de Fomento Algodonero (FFA), Duarte Guterman & Cia. Ltda. – Ingenieros Economistas Consultores.
- Coviello M, Almonte H. (2003) Sostenibilidad energética en América Latina y el Caribe: el aporte de las fuentes renovables [LC/L.1966]. CEPAL.
- Coyler, D. (2003): “Agriculture and the environment in free trade agreements”. Food, Agriculture and Environment, Vol. 1 (1): 145-147.
- CROPWAT: <http://www.fao.org/ag/AGL/aglw/cropwat.stm>

- da Costa RE, Silva E. (2006) The energy balance in the production of palm oil biodiesel-two case studies: Brazil and Colombia. En: Proceedings of the XV International Conference on Oil Palm. Cartagena de Indias, Colombia; 19-22 Septiembre, 2006.
- Dai D, Hu Z, Pu G, Li H, et al. (2006) Energy efficiency and potentials of cassava fuel ethanol in Guanxi region of China. *Energy Conversion and Management*, 47: 1686-1699.
- Damen K, Faaij A. (2003) A Life-Cycle Inventory of Existing Biomass Import Chains for “Green” Electricity Production. Utrecht University.
- Damrongchai N, Tegart G. (2006) Future fuel technology scenario and roadmapping for Asia-Pacific. Second International Seminar on Future-oriented Technology Analysis: Impact of FTA Approaches on Policy and Decision-Making. Sevilla, España; 28-29 septiembre, 2006.
- David Andress and Associates Inc. (2002) Ethanol Energy Balances. David Andress and Associates Inc.
- Dawson L, Boopathy R. (2007) Use of post-harvest sugarcane residue for ethanol production. *Bioresource Technology*; 98: 1695-1699.
- de Carvalho Macedo I, Horta LA. (2004) Avaliação da expansão da produção do etanol no Brasil. CGEE.
- de Carvalho Macedo I, Regis M, Azevedo JA. (2004) Assessment of greenhouse gas in the production and use of fuel ethanol in Brazil. Government of the State of São Paulo.
- de Cerqueira Leite, R.C. 2004. Energy from Biomass. Report for the IUPAP Working Group on Energy. August 2004
- de la Torre, D., Walsh, M., Shapouri, H., y S. Slinsky (2003) “The Economic Impacts of Bioenergy Crop Production on U.S. Agriculture” USDA, Agricultural Economic Report N° 816.
- de Pont J. (2006) Enabling biofuels vehicles. Risks to vehicles and other engines. TERNZ.
- de Vries B.J.M, D.P. van Vuuren, y M.M. Hoogwijk. 2007. Renewable energy sources: Their global potential for the first-half of the 21st century at a global level: An integrated approach. *Energy Policy*, 35: 2590-2610.
- DEFRA (2005). Biomass Task Force, Report to the Government.
- Delucchi MA. (2006) Lifecycle analysis of biofuels. [Draft Manuscript]. Institute of Transportation Studies. University of California.
- DENA (2006) Biomass to Liquid (BtL). Implementation report. Summary. DENA; 2006.
- Dena (2006) Biomass to Liquid-BtL. Implementation Report. Summary.
- Denne T, Hole J. (2006) Enabling biofuels. *Biofuels economics*. Covec; junio 2006.
- Dennis E Toohey & Associates (2003) Pre-feasibility study into bio-diesel opportunity. PRATT Water Pty Ltd.
- Deutmeyer M. (2006) [Presentación] High yield, low CO<sub>2</sub>, second generation biofuel; International Conference on Biofuels for Transportation-Global Potential and Implications for Sustainable Agriculture, Energy and Security in the 21st Century. Washington DC, EE.UU.; 7 junio 2006.
- Días de Oliveira M, Vaughan B, Rykiel R Jr. (2005) Ethanol as fuel: energy, carbon dioxide balances and ecological footprint. *BioScience* 55, 7: 593-602.
- Dirección General de Planificación y Política Agraria, Ministerio de Agricultura y Ganadería, Paraguay. Programa Nacional de Fomento al Cultivo de la Caña de Azúcar Orgánica (Período 2003-2008). URL: [www.mag.gov.py](http://www.mag.gov.py). Visitado en 12/2006.
- \_\_\_\_\_. Ministerio de Agricultura y Ganadería, Paraguay. Programa Nacional: Fomento de la Producción de Tártago (Período 2003-2008). URL: [www.mag.gov.py](http://www.mag.gov.py). Visitado en 12/2006.
- Dirección General de Promoción Agraria (DGPA), Ministerio de Agricultura, Perú. Cadenas Productivas: Costos de Producción por Hectárea (Algodón, Azúcar, Maíz Amarillo Duro,

- Maíz Amiláceo, Palma Aceitera, Trigo; varias tecnologías). URL: [http://www.minag.gob.pe/dgpa1/?mod=cadenas\\_principal](http://www.minag.gob.pe/dgpa1/?mod=cadenas_principal). Visitado en 12/2006.
- Dixit, A.K. y Stiglitz, J.E. (1977): “Monopolistic competition and optimum product diversity”, *American Economic Review*, 67 (3): 297-308.
- DOE (U.S. Department of Energy). 2003. Roadmap for Agriculture Biomass Feedstock Supply in the United States. DOE/NE-ID-11129. U.S. Department of Energy. November.
- Domac J, Richards K, Risovic S. (2005) Socio-economic drivers in implementing bioenergy projects. *Biomass and Bioenergy*; 28: 97-106.
- Domac J, Segon V. (2005) Socio-economic drivers in implementing bioenergy projects. ExCo56, Dublin, Ireland; 12-13 octubre, 2005. IEA Bioenergy; 2005. [ExCo56 Doc 07.01a revised].
- Domalski E, Jobe TL, Milne T. (1986) Thermodynamic data for biomass conversion and waste incineration. Solar Energy Research Institute.
- Dorado MP, Cruz F, Palomar JM, López FJ. (2006) An approach to the economics of two vegetable oil-based biofuels in Spain. *Renewable Energy* 2006; 31: 1231-1237.
- dos Santos MA. (1997) Energy Analysis of Crops Used for Producing Ethanol and CO<sub>2</sub> emissions. En: Proceedings of the third Biomass Conference of the Americas. Montreal; 24 – 29 Agosto, 1997.
- Drenchsel P, Giordano M, Gyiele L. (2004) Valuing Nutrients in Soil and Water. Concepts and Techniques with Examples from IWMI Studies in the Developing World. Research Report n° 82. IWMI.
- Dufey A. (2006) Biofuels production trade and sustainable development emerging issues. Sustainable markets discussion paper n°2. IIED.
- Duncan J. (2003) Cost of biodiesel production. Energy Efficiency and Conservation Authority.
- EC (2005) Biomass: green energy for Europe. European Commission; Directorate General for Research.
- \_\_\_\_\_. (2006) Annex to the Communication from the Commission. An UE Strategy for Biofuels. Impact Assessment [Commission Staff Working Document. SEC2006 (142)]. Commission of the European Communities.
- ECLAC (2004) Renewable energy sources in Latin America and the Caribbean. Situation and Policy Proposals. Ecuador
- EEA (2004) Transport biofuels: exploring links with the energy and agriculture sectors. EEA 2004; 4: 1-4.
- \_\_\_\_\_. (2006a) Transport and environment: facing a dilemma. TERM 2005: indicators tracking transport and environment in the EU. [EEA Report n° 3/2006].
- \_\_\_\_\_. (2006b) Which bioenergy can Europe produce without harming the environment? [EEA Report n° 7/2006].
- EIA (2006) Eliminating MTBE in gasoline in 2006. Energy Information Administration.
- Ekbom T, Berglin N, Logdberg S. (2005) Black Liquour Gasification with motor fuel production. Swedish Energy Agency.
- Elobeid A, Tokgoz S, Hayes DJ, Babcock BA, (2006) The long-run impact of corn-based ethanol on the grain, oilseed and livestock sector: a preliminary assessment [CARD Briefing Paper 06-BP 49]. CARD
- Elsayed MA, Matthews M, Mortimer D. (2003) Carbon and energy balances for a range of biofuels options. Sheffield Hallam University.
- Envirochem Services Inc. (2005) Identifying environmentally preferable uses for biomass resources. Natural Resources Canada, Natural Research Council Canada.
- EurObserv'er (2006). Le baromètre des biofuels. EurObserv'er; Mayo 2006: 57-66.
- Faaij A (2006a) [Presentación] Emerging international biomass energy markets and the potential implications for rural development. Development and Climate Workshop: Rural

- Development: the roles of water, food and biomass; opportunities and challenges. Dakar, Senegal; 14-16 noviembre, 2005.
- \_\_\_\_\_(2006b) [Presentación] The global dimensions of bio-energy markets, trade and sustainable. International Conference on Biofuels for Transportation-Global Potential and Implications for Sustainable Agriculture, Energy and Security in the 21st Century. Washington DC, EE.UU.; 7 junio 2006.
- Faiguenbaum, H. 2003. Labranza, siembra y producción de los principales cultivos de Chile. Facultad de Ciencias Agronómicas, Departamento de Producción Agrícola. Universidad de Chile, Santiago, Chile. 760 p.
- FAO (2002) Land tenure and rural development. FAO Land tenure studies 3.
- \_\_\_\_\_(2002) Utilización de fertilizantes por cultivo. Quinta edición. IFA, IFDC, IPI, PPI, FAO.
- \_\_\_\_\_(2004) Fertilizer use by crop in Brasil.
- \_\_\_\_\_(2005) Land reform, land settlements and cooperatives.
- \_\_\_\_\_(2006). Introducing the international bioenergy platform (IBEP).
- \_\_\_\_\_. Agro-maps. Land and Water Development Division. URL: <http://www.fao.org/landandwater/agll/agromaps/interactive/index.jsp>. Visitado en 11/2006.
- \_\_\_\_\_. Statistical Databases. ResourceStat: Land Use/Country/Commodity/Year. URL: <http://faostat.fao.org/site/377/default.aspx>. Visitado en 11/2006.
- \_\_\_\_\_. 1992. CROPWAT: a computer program for irrigation planning and management. FAO Irrigation and Drainage Paper 46.
- \_\_\_\_\_. 1993. CLIMWAT for CROPWAT: A climatic database for irrigation planning and management. FAO Irrigation and Drainage Paper 49, 113p.
- \_\_\_\_\_. 1998. Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements - FAO Irrigation and drainage - N° 56.
- \_\_\_\_\_. 1999. Bolivia: hacia una Estrategia de fertilizantes. Roma.
- \_\_\_\_\_. 2000. Efectos de agua sobre el rendimiento de los cultivos. Estudio FAO riego y Drenaje N° 33. Roma
- \_\_\_\_\_. 2003. Fertilizer use by Crop in Cuba. Roma.
- \_\_\_\_\_. 2004a. Fertilizer use by Crop in Argentina. Rome.
- \_\_\_\_\_. 2004b. Fertilizer use by Crop in Brasil. Rome.
- \_\_\_\_\_. 2006. Agro-Maps: A global spatial database of agricultural land-use statistics aggregated by sub-national administrative districts. FAO Land and Water Digital Media Series - CD-ROM. <http://www.fao.org/landandwater/agll/agromaps/interactive/index.jsp>
- \_\_\_\_\_. 2006a. Calendario de Cultivos: América Latina y el Caribe. Estudio FAO Producción y Protección Vegetal N° 86. Roma, 285 pp.
- \_\_\_\_\_. 2006b. Evapotranspiración del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Estudio FAO Riego y Drenaje N° 56. Roma, 285 pp.
- \_\_\_\_\_. 2005. Global Agro-Ecological Assessment for Agriculture in the Twenty-first Century. FAO Land and Water Digital Media Series - CD-ROM N° 21.
- FAOSTAT, 2007. Datos accedidos en Enero 2007.
- Farm Management Section, Economic Planning Division, Ministry of Agriculture, Jamaica. Production Costs: Cassava. Jun-2005. URL: <http://www.moa.gov.jm/Production%20Costs/CostProduction2005/Cassava.htm>. Visitado en 11/2006.
- \_\_\_\_\_. Economic Planning Division, Ministry of Agriculture, Jamaica. Production Costs: Corn (Sweet). Jun-2005. URL: [http://www.moa.gov.jm/Production%20Costs/CostProduction2005/Corn\(Sweet\).htm](http://www.moa.gov.jm/Production%20Costs/CostProduction2005/Corn(Sweet).htm). Visitado en 11/2006.
- Farrell A.E., Plevin RJ, Turner BT, Jones AD, O'Hare M, Kammen, DM. (2006) Ethanol Can Contribute to Energy and Environmental Goals. Science; 311(506): 506-508.

- FBDS (2005) Liquid biofuels for transportation in Brazil. Submitted Report. 2nd Draft. GTZ, BMVEL, FNR.
- Fernández, L. (2006) Análisis económico de precios del bioetanol para mezclas con gasolinas. LC/MEX/L.746.
- Fertilizer Supply and Demand Outlook. Land and plant nutrition management service. FAO.
- Fike JH, Parrish DJ, Wolf DD, Balasko JK, (2006). Long-term yield potential of switchgrass-for-biofuels systems. *Biomass and Bioenergy*; 30: 198-206.
- Financial Transactions and Reports Analysis Centre of Canada (FINTRAC). Costos de Producción: Yuca Valencia. Centro de Desarrollo de Agronegocios (CDA). Boletín de Producción N° 47 Agosto 2004. URL: [http://www.fintrac.com/docs/honduras/47\\_presupuesto\\_yuca\\_valencia\\_08\\_04.pdf](http://www.fintrac.com/docs/honduras/47_presupuesto_yuca_valencia_08_04.pdf). Visitado en 11/2006.
- Fischer, G., H. van Velthuizen, M. Shah, and F. Nachtergaele, 2002. Global Agro-ecological Assessment for Agriculture in the 21st Century: Methodology and Results. International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA) and Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).
- Francis MK (2006) Sugar, the economics of ethanol production in the UE 2006 [GAIN REPORT E36081]. USDA.
- Fritsche UR (2006) [Presentación] Sustainable biofuels: environmental considerations. International Conference on Biofuels for Transportation-Global Potential and Implications for Sustainable Agriculture, Energy and Security in the 21st Century. Washington DC, EE.UU.; 7 junio 2006.
- Fritsche UR, Hünecke K, Hermann A, Schulze F, (2006) Sustainability Standards for Bioenergy. WWF.
- Fujita, M., Krugman P.R. y A. Venables (1999): *The Spatial Economy: Cities, Regions and International Trade*. Cambridge, MA, The MIT Press.
- Fulton L., (IEA) (2004). [Presentación] Current trends an sustainability scenarios in transport energy use; 2004. STELLA Meeting. Third Focus Group. 4th Meeting. Bruselas, Bélgica; 25 marzo, 2004.
- Fundación Chile. (1999) Ficha Técnico Económica del cultivo de Trigo. Programa Gestión Agropecuaria - Fundación Chile. URL: <http://www.agrochile.cl/fichas/trigo.htm>. Visitado en 11/2006.
- \_\_\_\_\_ (1999) Ficha Técnico Económica del cultivo del Maíz Dulce. Programa Gestión Agropecuaria - Fundación Chile. URL: <http://www.agrochile.cl/fichas/maiz.htm>. Visitado en 11/2006.
- Fundación para el Desarrollo de la Ciencia y la Tecnología del Estado Táchira. Costos de Producción UEMAT-Táchira Mayo 2004. Cereales y Leguminosas. Ministerio de Ciencia y Tecnología, Gobierno Bolivariano de Venezuela. URL: <http://www.funtha.gov.ve/fundacite2005b/fundacite/costos2004-08.html>. Visitado en 11/2006.
- \_\_\_\_\_ (2004) Costos de Producción UEMAT-Táchira Mayo 2004. Raíces y Tubérculos. Ministerio de Ciencia y Tecnología, Gobierno Bolivariano de Venezuela. URL: <http://www.funtha.gov.ve/fundacite2005b/fundacite/costos2004-09.html>. Visitado en 11/2006.
- \_\_\_\_\_ (2004) Costos de Producción UEMAT-Táchira Mayo 2004. Caña Panelera. Ministerio de Ciencia y Tecnología, Gobierno Bolivariano de Venezuela. URL: <http://www.funtha.gov.ve/fundacite2005b/fundacite/costos2004-08.html>. Visitado en 11/2006.
- Galbraith H, Amerasinghe P, Huber-Lee A. (2005) The Effects of Agricultural Irrigation on Wetland Ecosystems in Developing Contries: A Literature Review. CA Discussion Paper n° 1. IWMI; 2005.
- Gale, F.P. (2000): “Economic specialization versus ecological diversification: the trade policy implications of taking the ecosystem approach”, *Ecological Economics*, 34: 285-292.

- Gallagher PW, Brubaker H, Shapouri H. (2005) Plant size: capital cost relationships in the dry mill ethanol industry. *Biomass and Bioenergy*; 28: 565-571.
- García Camús J.M., García Laborda JA. (2006) Biocarburantes líquidos: biodiesel y bioetanol. [Informe de vigilancia tecnológica n° 4]. Fundación para el Conocimiento madri+d.
- García, F. 2006. Balance de Nutrientes del sistema Trigo-Soja-Maíz: Balance necesario para un buen cultivo de trigo. INPOFOS Cono Sur.
- Gartner SO, Reinhardt GA. (2003) Life Cycle Assessment of biodiesel: update and new aspects. IFEU.
- Girard and Fallot (2006) Review of existing and emerging technologies for the production of biofuels in developing countries. *Energy for Sustainable Development* 2006 (X); 2: 92-118.
- Gnansounou E, Dauriat A, Wyman CE. (2005) Refining sweet sorghum to ethanol and sugar: economic trade-offs in the context of North China. *Bioresource Technology*; 96: 985-1002.
- Goldemberg J, Teixeira Coelho S, Lucon O. (2004) How adequate policies can push renewables. *Energy Policy*; 32: 1141-1146.
- Goldemberg J, Teixeira Coelho S, Nastari D, Lucon O. (2004) Ethanol learning curve-the Brazilian experience. *Biomass and Bioenergy*; 26: 301-304.
- Goldemberg J. (2006) The promise of green energy. *Energy Policy*; 34: 2185-2190.
- Gowen MM. (1989) Biofuel vs fossil fuel economics in developing countries. How green is the pasture? *Energy Policy*; 455-470. (0811.pdf)
- Graboski MS. (2002) Fossil Energy Use in the Manufacture of Corn Ethanol; National Corn Growers Association.
- Graus W, Worrell E. (2006) Comparison of efficiency fossil power generation. *Ecofys*.
- Greene D.L., Schafer A. (2003) Reducing Greenhouse emissions from U.S. Transportation. Pew Center for Global Climate Change.
- Greene N, Celik FE, Dale B, Jackson M, (2004) How biofuels can help End America's oil dependence. Natural Resources Defence Council.
- Groode T, y Heywood J. (2006) Review of corn based ethanol energy use and Greenhouse emissions [LFEE Working Paper n° 07-1]. LFEE.
- Groscurth HM, de Almeida A, Bauen A, Costa FB, (2000) Total costs and benefits of biomass in selected regions of the European Union. *Energy*; 25: 1081-1095
- Haas M.J., McAloon A.J., Yee W.C., Foglia T.A., (2006) A process model to estimate biodiesel production costs. *Bioresource Technology*; 97: 671-678.
- Hamelinck C, van Hooijdonk G, y Faaij A. (2005) Ethanol from lignocellulosic biomass: techno-economic performance in short- middle- and long-term.
- \_\_\_\_\_ (2003), Prospects for ethanol from lignocellulosic biomass: techno-economic performance as development progress. Copernicus Institute. Universiteit Utrecht.
- \_\_\_\_\_ (2005). Ethanol from lignocellulosic biomass: techno-economic performance in short-middle- and long- term. *Biomass and Bioenergy*; 28: 384-410.
- Hamelinck C, y Faaij A. (2006) Outlook for advanced biofuels. *Energy Policy*; 34: 3268-3283.
- Hamelinck C. (2004), Outlook for advanced biofuels. [Tesis doctoral], Utrecht, Universiteit Utrecht, Faculteit Scheikunde.
- Hamelink C.N., Suurs R.A. y Faaij A.P., (2003) International bioenergy transport costs and energy balance. Universiteit Utrecht. Copernicus Institut.
- Hammerschlag R. (2006) Ethanol's Energy Return on Investment: A Survey of the Literature 1990-Present. *Environmental Science & Technology*; 40 (6): 1744-1750.
- Hazell P, Pachauri RK (eds.) (2006) Bioenergy and agriculture: promises and challenges [Focus 14]. IFPRI; diciembre 2006.
- Heal, G. (1998): Valuing the future: economic theory and sustainability. Columbia University Press.

- \_\_\_\_\_ (2000): “Valuing Ecosystem Services”, *Ecosystems*, 3: 24-30.
- Henderson, J. V., Shalizi, Z. y Venables, A. J. (2001): “Geography and development”, *Journal of Economic Geography*, 1: 81-105.
- Henke J.M., Klepper G, Schmitz N. (2005) Tax exemption for biofuels in Germany: is bioethanol really an option for climate policy? *Energy*; 30: 2617-2635.
- Hill J, Nelson E, Tilman D, Polaski S, (2006) Environmental, economic and energetic costs and benefits of biodiesel and bioethanol fuels. *PNAS*, 25 julio 2006; 30 (103):11206 –11212.
- Hillring B. (2005) World trade in forest products and wood fuel. *Biomass and Bioenergy*; 30: 815-825.
- Holmes K. (2005) Earth trends featured topics: Understanding the scope of resource tenure. World Resources Institute.
- Hoogwijk M, Faaij A, Eikhout B, de Vries B, Turkenburg W. (2005) Potential of biomass energy out 2100, for four IPCC SRES land-use scenarios. *Biomass and Bioenergy*; 29: 225-257.
- Hoogwijk M, Faaij A, van den Broek R, Berndes G. (2003) Exploration of the ranges of the global potential of biomass for energy. *Biomass and Bioenergy*; 25: 119-133.
- Hoogwijk, M. A. Faaij, R. van den Broek, G. Berndes, D. Gielen, W. Turkenburg. (2003), Exploration of the Ranges of the Global Potential of Biomass for Energy. *Biomass and Bioenergy*, 25: 119-133.
- Hoogwijk M., (2004), On the global and regional potential of renewal energy sources. [Tesis doctoral], Utrecht, Universiteit Utrecht, Faculteit Scheikunde.
- \_\_\_\_\_ (2004), On the Global and Regional Potential of Renewable Energy Sources. Utrecht University
- Horta L.A. (2004), Perspectivas de un programa de biocombustibles en América Central. Proyecto Uso sustentable de hidrocarburos. Proyecto Uso Sustentable de Hidrocarburos [LC/MEX/L.606]. CEPAL.
- \_\_\_\_\_ (2006a), Costos y precios para etanol combustible en América Central. LC/MEX/L.716.CEPAL; 2006.
- \_\_\_\_\_ (2006b) Biocombustibles en América Latina: situación actual y perspectivas. Informe sin publicar para CEPAL.
- Hu Z, Pu G, Fang F, Wang C. (2004) Economics, environment and energy life cycle assessment of automobiles fueled by bio-ethanol blends in China. *Renewable Energy* 2004; 29 (14): 2183-92.
- Hudson WJ. (2007) Ethanol opinion: Beyond the eight grade level. PRX-The ProExporter Network; febrero, 2007.
- IDAE (2006) Biocarburantes en el transporte [Manuales de energías renovables nº 7].
- IEA (International Energy Agency) (2004) Biofuels for Transport: An International Perspective. \_\_\_\_\_ (2006a) World Energy Outlook 2006. OECD.
- \_\_\_\_\_ (2006b) Energy prices and taxes. Quarterly Statistics. Fourth Quarter. 2006. OECD,
- \_\_\_\_\_ 2004. Biofuels for Transport: An International Perspective.
- IICA (2005) Perspectivas de los biocombustibles en la Argentina y en Brasil – SAGPyA/IICA-. \_\_\_\_\_ 2005. Perspectivas de los Biocombustibles en Argentina y Brasil.
- Instituto Brasileiro de Geografía y Estadística. Superficie de Cultivos. URL: <http://www.ibge.gov.br/espanhol/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/default.shtm>. Visitado 11/2006.
- IPTS (2003) Biofuels production potential for EU candidate countries. Final Report. Joint Research Centre.
- IWMI (2006) Insights book for the comprehensive assessment of the of water management in agriculture. Stockholm World Water Week.
- Jagger, P., Pender, J., 2003. The role of trees for sustainable management of less-favored lands: the case of eucalyptus in Ethiopia. *Forest Policy and Economics* 5, 83–93.

- Jank, M. (coord), Araújo, L. R., Lima, R. C. A e Juqueira, C. (2005) Agricultura. In Jank M. (org.) O Brasil e os Grandes Temas do Comércio Internacional, Ícone Brasil, São Paulo.
- Johansson J, Liss J-E, Gullberg T, Björheden R. (2006) Transport and handling of forest energy bundles –advantages and problems. *Biomass and Bioenergy*; 30: 334-341.
- Johnston M. (2006) Evaluating the potential for large-scale biodiesel deployments in a global context. [Tesis], University of Wisconsin-Madison, Master of Science Land Resources.
- Jonsson A, Hillring B. (2006) Planning for increased bioenergy use-Evaluating the impact on local air quality. *Biomass and Bioenergy*; 30: 543-554.
- Juringer M, Faaij A. (2006) Availability of biomass and biomass supply system for co-firing purposes. En *Fuel flexibility in biomass combustion Workshop-The key to low energy cost?* Jönköping; 31 de mayo de 2006.
- Kalam MA, Masjuki HH. (2002) Biodiesel from palmoil an analysis of its properties and potential. *Biomass and Bioenergy*; 23: 471-479.
- Kaltschmitt M, Weber M (2006) Market for solid biofuels within the EU-15. *Biomass and Bioenergy*; 30: 897-907.
- Kampman B, den Boer L, Croezen H. (2005) Biofuels under development: an analysis of currently available and future biofuels and a comparison with biomass application in other sectors. CE Delft Solutions for environment, economy and technology.
- Kheshgi, H.S., Prince, R.C., Marland, G., 2000. The potential of biomass fuels in the context of global climate change: focus on transportation fuels. *Annual Review of Energy and Environment* 25, 199–244.
- Khokhotva O. (2004) “Optimal” use of biomass for energy in Europe: consideration based upon the value of biomass for CO<sub>2</sub> emission reduction. [Tesis], Lund (Sweden), Lund University, Master of Sciences in Environmental Management and Policy; 2004.
- Kim S., Dale B.E., (2004) Global potential of bioethanol production from wasted crops and crop residues. *Biomass and Bioenergy*; 26: 361-375.
- \_\_\_\_\_ (2005) Life cycle assessment of various cropping systems utilized for producing biofuels: Bioethanol and biodiesel. *Biomass and Bioenergy*; 29: 426-439.
- Kinast J.A. (2003) Production of biofuels from multiple feedstocks and properties of biodiesels/and diesel blends [NREL/SR-510-31460] NREL.
- Koizumi, T., (2003) “The Brazilian Ethanol Program: Impacts on World Ethanol and Sugar Markets” Documento de Trabajo FAO Commodity and Trade Policy Research.
- Kojijama, M. and Johnson, T., “Potencial for Biofuels for Transport in Developing Countries”, Energy management assistance programme (ESMAP), World Bank, 2005, pp 84.
- \_\_\_\_\_, (2005) Potential for biofuels for transport in developing countries. ESMAP; 2005.
- Kondili EM, Kaldellis JK. (2007) Biofuel implementation in East Europe. Current Status and future trends. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*.
- Koplow D. (2006) Biofuels at what cost? Government support for ethanol and biodiesel in the USA. GSI, IISD; 2006. (IISD\_biofuels\_subsidies.pdf)
- Kröger K, Fergusson M, Skinner I. (2003) Critical issues in decarbonising transport: the role of technologies. Working paper n° 36. Tyndall Centre.
- Krugman, P. R. y Venables, A. J. (1995): “Globalization and the inequality of nations”, *The Quarterly Journal of Economics*, Vol. 110, 4: 857-880.
- Krugman, P.R. (1980): “Scale economies, product differentiation, and the pattern of trade”, *American Economic Review* 70: 950-959.
- \_\_\_\_\_ (1991): “Increasing returns and economic geography”, *Journal of Political Economy*, 99: 483-499.
- Kwiatkowski J.R., McAloon AJ, Taylor F, Johnston DB. (2006) Modelling the process and cost of fuel ethanol production by the corn-dry grind process. *Industrial crops and products*; 23: 288-296.

- Langer T. (2006) Is the Brazilian bio-ethanol ecologically advantageous for the Swiss Society? Simplified Life Cycle Assessment study of the substitution of 5% of Swiss gasoline by Brazilian bio-ethanol. Instituto EKOS.
- Larson E. (2005) A review of LCA on liquid biofuels for the transport sector. STAP Workshop on liquid biofuels. Nueva Delhi, India; 29 agosto-1 septiembre, 2005.
- Lau MH, Richardson JW, Outlaw JL, Houtzapple MT. (2006) The economics of ethanol from sweet sorghum using the MixAlco Process. AFPC.
- Leal J.E., (2006) Diagnósticos de los aspectos agrícolas para producción local de etanol a base de caña de azúcar en América Central, CEPAL/México.
- Lechón Y, Cabal H, Sáez R., (2005) Life cycle analysis of wheat and barley crops for bioethanol production in Spain. *International Journal of Agricultural Resources Governance and Ecology* (4); 2: 113-122.
- Levelton, (2000) “Assessment of Net Emissions of Greenhouse Gases from Ethanol-Blended Gasolines in Canada: Lignocellulosic Feedstock”, Levelton Engineering Ltd, R-2000-2, in association with(S&T)2 Consultants Inc.
- Little, I. M. D. y Mirrlees, J. A., (1974): Project appraisal and planning for developing countries, Heinemann, Londres.
- Loy D, Coviello M., (2005) Renewable energies potential in Jamaica. ECLAC.
- Loza Peña, A. Transferencia de Tecnología para la Producción de Canola (*Brassica Napus*) en el Estado de Tlaxcala. URL: <http://www.eca.usp.br/alaic/trabalhos2004/g1/alvaroloza.htm>. Visitado 01/2007.
- Lucón O, Goldemberg J. A. (2006) 10% ethanol blend in the Caribbean (Mimeo).
- Lynd, L. et al., 2003, “Bioenergy: Background, Potential, and Policy”, policy briefing prepared for the Center for Strategic and International Studies.
- Malça J, Freire F. (2006) Renewability and life-cycle energy efficiency of bioethanol and bio-ethyl tertiary butyl ether (bioETBE): Assessing the implications of allocation. *Energy*; 31: 3362-3380.
- Maly RR (Chrysler) (2004) [Presentación] Effect of GTL diesel fuels on emissions and engine performance. 10th Engine Emissions Reduction Conference. Coronado, California; 29 agosto-3 septiembre, 2004.
- Manuel-Navarrete, D., G. Gallopín, et al. 2005. Análisis sistémico de la agriculturización en la pampa húmeda argentina y sus consecuencias en regiones extra-pampeanas: sostenibilidad, brechas de conocimiento, e integración de políticas. *Serie Medio Ambiente y Desarrollo*. CEPAL, Santiago, CEPAL. 118: 65.
- Marglin, S., Sen, A. y Dasgupta, P. (1972): Guidelines for project evaluation, Naciones Unidas, Viena.
- Marrison CI, Larson ED. (1996) A preliminary analysis of the biomass energy production potential in Africa in 2025 considering projected land needs for food production. *Biomass and Bioenergy*; 10: 337-351
- McAloon A, Taylor F, Yee W. (2000) Determining the cost of producing bioethanol from corn starch and lignocellulosic feedstocks [Technical Report]. NREL; 2000.
- Mead D.J. (2005) Opportunities for improving plantation productivity. How much? How quickly? How realistic? *Biomass and Bioenergy*; 28: 249-266.
- Mead J, Pimentel D. (2006) Use of energy analyses in silvicultural decision-making. *Biomass and Bioenergy* 2006; 30: 357-362.
- Meijerink G, Elbersen W, Meeusen M. (2004) Biofuels in developing countries.
- Metschies Consults (2005) International fuel prices 2005. GTZ.
- Michigan Biomass Energy Program (2006) Clean Energy from Wood Residues in Michigan. Discussion Paper. Michigan Biomass Energy Program.
- Mielnik O, Goldemberg J. (2002) Foreign direct investment and decoupling between energy and gross domestic product in developing countries. *Energy Policy*; 30: 87-89.

- Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (2005). Plano Nacional de Agroenergía (2006-2011). Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.
- Ministerio de Agricultura de Chile. <http://www.minagri.gob.cl/>. Visitado 11/2006.
- Ministerio de Agricultura del Ecuador (2001). Caña de Azúcar con Fines Energéticos. Servicio de Información Agropecuaria del Ministerio de Agricultura y Ganadería del Ecuador.
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia. <http://www.minagricultura.gov.co/>. Visitado 11/2006.
- Ministerio de Agricultura y Ganadería de Costa Rica. Cultivo e Industria de la Palma Aceitera (*Elaeis guineensis*). URL: [http://www.mag.go.cr/biblioteca\\_virtual\\_ciencia/tec\\_palma.pdf](http://www.mag.go.cr/biblioteca_virtual_ciencia/tec_palma.pdf)
- Ministerio de Agricultura y Ganadería de Costa Rica. Manual Técnico de la Higuera. URL: [http://www.mag.go.cr/biblioteca\\_virtual\\_ciencia/tec-higuera.pdf](http://www.mag.go.cr/biblioteca_virtual_ciencia/tec-higuera.pdf)
- Ministerio de Asuntos Campesinos y Agropecuarios de Bolivia. Superficie de Algodón y Caña de Azúcar. URL: <http://www.maca.gov.bo/contenido/Estadistica%20agricola%202004-2005.pdf>. Visitado 11/2006.
- Molden D., de Fraiture C. (2004) Investing in Water for Food, Ecosystems and Livelihoods. Blue Paper, Stockholm 2004. IWM.
- Monsanto, (2006). Robb Fraley, Chief Technology Officer: Monsanto Whistle-stop Summer Investor Field Tour. Presentation, July 31, 2006.
- Moreira J.R., Goldemberg J. (1999) The alcohol program. *Energy Policy*; 27: 229-245.
- Morris D. (2005) The Carbohydrate Economy, Biofuels and the Net Energy Debate. ILSR.
- Munak A, Herbst L, Kaufmann A, Rushel Y, (2006) Comparison of Shell Middle Distillate Premium Diesel Fuel and Fossil with Rapeseed Oil Methyl Ester. FAL, Institute of Technology and Biosystems Engineering.
- NAE (2005). Biocombustíveis. Cuadernos NAE 2005; 02.
- Nastari P, de Carvalho Macedo I, Swartz A. (2005) Observations on the draft document entitled "Potential for biofuels for transport in developing countries". The World Bank Air Thematic Group.
- Neary, J.P. (2000): International Trade and the Environment: Theoretical and Policy Linkages. Mimeo.
- \_\_\_\_\_(2001): "Of hype and hyperbolas: Introducing the new economic geography", *Journal of Economic Literature*, 39(2): 536-561.
- Nguyen T (2004) Potentially Useful Analytic Information from Biomass R&D Activities. *Renewable Energy Modelling*; 20 abril, 2004.
- Niebuhr, A. (2004): Market access and regional disparities: New Economic Geography in Europe, HWWA Discussion Paper, 269, Hamburgo.
- NIPE (Núcleo Interdisciplinar de Planejamento Energético) (2005). Estudo sobre as possibilidades e impactos da produção de grandes quantidades de etanol visando à substituição parcial de gasolina no mundo.
- \_\_\_\_\_(2007), Estudo sobre as possibilidades e impactos da produção de grandes quantidades de etanol visando à substituição parcial de gasolina no mundo – Fase 2. FUNCAMP-CGEE, Relatório Final, Marzo.
- Novem (2003a). Conventional biotransportation fuels. An update [Report 2GAVE-03.10]. Novem.
- \_\_\_\_\_(2003b). Biofuels in the Dutch market: a fact-finding study. Report 2GAVE03.12. Novem.
- \_\_\_\_\_(2005). Lignocellulosic ethanol: a second opinion [Report 2GAVE-05.08]. Novem.
- NRC (2004) Biofuels: growing energy. How biofuels can help America's end oil dependence (biofuels.pdf)
- NREL. (1998) Life Cycle Inventory of Biodiesel and Petroleum Diesel for Use in an Urban Bus.
- NTNU (2005). Biofuels from lignocellulosic material –in Norwegian context 2010- Technology, potential and costs. NTNU.
- Oak Ridge National Laboratory (2006). Transportation energy data book, edition 25.

- Obernbergen I, Brunner T, Bärnthaler G. (2006) Chemical properties of solid biofuels-significance and impact. *Biomass and Bioenergy*; 30: 973-982.
- Observatorio Agrocadenas Colombia. Superficie de algodón. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia e Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). URL: [http://www.agrocadenas.gov.co/documentos/coyuntura/Inf\\_coyuntura\\_algodon\\_4.pdf](http://www.agrocadenas.gov.co/documentos/coyuntura/Inf_coyuntura_algodon_4.pdf). Visitado 11/2006.
- Observatorio IICA Paraguay. Evaluación y Situación de la Soja en el Paraguay. Zafra 2004/2005. URL: <http://www.iica.org.py/observatorio/producto-paraguay-soja-costos.htm>. Visitado en 01/2007.
- \_\_\_\_\_. Evolución y Situación: Algodón (Paraguay). Zafra 2003/2004. URL: <http://www.iica.org.py/observatorio/producto-paraguay-algodon-costos.htm>. Visitado en 12/2006.
- ODEPA (2007) Comité Público-Privado de Bioenergía. Informe final, versión preliminar 19 enero.
- OECD (1996). *Reconciling Trade, Environment and Development Policies. The Role of Development Co-operation*. Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico, París.
- \_\_\_\_\_. (2001). *Environmental goods and services. The benefits of further global trade liberalisation*. Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico, París.
- \_\_\_\_\_. (2002). *Agricultural outlook 2002-2007*. OECD; 2002.
- \_\_\_\_\_. (2002): *Handbook of Biodiversity Conservation. A guide for Policy Makers*, Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico, París.
- \_\_\_\_\_. (2005a). *Agricultural outlook 2005-2014*. OECD; 2005.
- \_\_\_\_\_. (2005b). *Agriculture, Trade and the Environment. The arable crop sector*. OECD; 2005.
- \_\_\_\_\_. (2005c). *Evaluating agri-environmental policies: design, practice and results*. OECD; 2005.
- \_\_\_\_\_. (2006) “Agricultural Market Impacts of Future Growth in the Production of Biofuels” Working Party on Agricultural Policies and Markets, París.
- \_\_\_\_\_. (2006) *Agricultural market impacts of future growth in the production of biofuels*. Directorate for Food, Agriculture and Fisheries. Committee for Agriculture. [AGR/CA/APM/(2005)24/Final]; OECD; febrero 2006.
- \_\_\_\_\_. (2006) *IEA Statistics: Renewables Information 2006*.
- \_\_\_\_\_. (2006) *International Futures Programme. [Scoping document] The bioeconomy to 2030: designing a policy agenda*. OECD.
- OECD-FAO (2006) “Agricultural Outlook 2006-2015”. París.
- Oficina de Estudios y Políticas Agrícolas. Superficie de Remolacha Azucarera. URL: <https://www.odepa.gob.cl/odepaweb/servlet/contenidos.ServletDetallesScr;jsessionid=5E58CD7CE62C2F638EEB4CBF14BBEB6A?idcla=12&idcat=&idn=1736>. Visitado 11/2006.
- Ohlin, B. (1933): *Interregional and International Trade*, Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Ottaviano, G. (2002): *Regional policy in the global economy: Insights from New Economic Geography*, HWWA Discussion Paper, 211, Hamburgo.
- Ottaviano, G. and Thisse J-F. (2004): *What about the 'N' in the so-called New Economic Geography?* CORE, Universidad Católica de Lovaina, mimeo.
- Patzek T.W., (2003a) *Ethanol from Corn: Clean Renewable Fuel for the Future, or Drain on Our Resources and Pockets?* CE24 Freshman Seminar Students. Kluwer Academic Publishers.
- \_\_\_\_\_. (2003b) *Ethanol from Corn: Just How Unsustainable Is It?* U.C. Berkeley Freshman Seminar CE24, 2003.
- Patzek T.W., Pimentel D. (2005) *Thermodynamics of energy production of biomass. Critical Reviews in Plant Sciences*; 24 (5-6): 327-364.

- \_\_\_\_\_ (2004) Thermodynamics of the Corn-Ethanol Biofuel Cycle. *Critical Review in Plant Sciences*; 23(9): 519-67.
- \_\_\_\_\_ (2006) [Presentación] What will do biofuels do to the Earth? Aldo Leopold Seminar; Madison, Wisconsin; 5 octubre, 2006.
- Paya Solutions Inc. (2006) A review of environmental assessment of biodiesel displacement fossil diesel.
- Pelkmans L, Laurikko J, Lonza L, Papageorgiou A. (2005) Discussion Forum. Measures to implement biofuels in Europe. Meeting Report. Bruselas, Bélgica; 26 mayo, 2005. Premia Consortium.
- Perlack R.D., Wright LL, Turhollow A., Graham R.L., (2005) Biomass as feedstock for an energy and bioproducts industry: the technical feasibility of a billion-ton annual supply. USDA.
- Petersen Raymer AK. (2006) A comparison of avoided green house emissions when using different kinds of wood energy. *Biomass and Bioenergy*; 30: 605-617.
- Pfaumann P. (2006) Biocombustibles: ¿la fórmula mágica para el desarrollo rural? [Borrador]. BID; noviembre 2006.
- Pimentel D, Hepperly P, Hanson J, Seidel R, (2005) Organic and Conventional Farming Systems: Environmental and Economic Issues [Report 05.1].
- Pimentel D, Patzek TW. (2005) Ethanol production using corn, switchgrass and wood; biodiesel production using soybean and sunflower” *Natural Resources Research* (14); 1: 65-76.
- Pimentel D. (2003) Ethanol fuels: Energy Balance, Economics, and Environmental Impacts are Negative. *Natural Resources Research*; 12(2): 127-34.
- Portal Agrario Regional, Dirección Regional de Agricultura – Ica. Costos de Producción de los Principales Cultivos de Ica (Hortalizas, Panllevar, Forrajes). 2004. URL: <http://www.agroica.gob.pe/costoproduccion.shtml>. Visitado en 11/2006.
- Portal Agrario, Ministerio de Agricultura del Perú. Ficha Técnica de Palma Aceitera. URL: [http://www.minag.gob.pe/agricola/pro\\_ama\\_palma.shtml](http://www.minag.gob.pe/agricola/pro_ama_palma.shtml). Visitado 11/2006.
- \_\_\_\_\_ Ministerio de Agricultura del Perú. Información Agrícola Mensual: Campañas 2001/2002 Y 2002/2003, superficie de Algodón. URL: [http://www.portalagrario.gob.pe/info\\_agri/infoagricola02.shtml](http://www.portalagrario.gob.pe/info_agri/infoagricola02.shtml). Visitado 11/2006.
- \_\_\_\_\_ Ministerio de Agricultura del Perú: <http://www.portalagrario.gob.pe/>
- Portal Agrícola Mexicano. Librería de Cultivos. <http://www.agronet.com.mx/libcultivo/>. Visitado en 12/2006.
- Portal Agronegocios del Ministerio de Agricultura y Ganadería de El Salvador. Guía Técnica para el Cultivo de “Caña de Azúcar”. Guía Técnica “¿Cómo producir?”. URL: <http://www.agronegocios.gob.sv/comoproducir/guias/ca%F1aazucar.pdf>. Visitado en 12/2006.
- Portal Agropecuario del Ministerio de Agricultura y Ganadería de El Salvador. Costos de Producción, Cultivos Tradicionales: Cosecha 2003-2004, 2004-2005, 2005-2006. URL: <http://www.agroelsalvador.com/directorio/index.php?idDirectorio=346>. Visitado en 12/2006.
- \_\_\_\_\_ Costos de Producción, Granos Básicos: Cosecha 2003-2004, 2004-2005, 2005-2006. URL: <http://www.agroelsalvador.com/directorio/index.php?idDirectorio=664>. Visitado en 12/2006.
- \_\_\_\_\_ Costos de Producción, Hortalizas: Cosecha 2003-2004, 2004-2005, 2005-2006. URL: <http://www.agroelsalvador.com/directorio/index.php?idDirectorio=345>. Visitado en 12/2006.
- Portal Agropecuario, Ministerio de Desarrollo Agropecuario, Temática Agrícola. Costos de Producción de Rubros Agrícolas. URL: [www.mida.gob.pa](http://www.mida.gob.pa). Visitado en 01/2007.
- Purohit, P., A. K. Tripathi y T.C. Kandpal. 2006. Energetics of coal substitution by briquettes of agricultural residues. *Energy*, 31(8-9):1321-1331.

- Quintero, L., M. Salazar, y R. Rodríguez. 2004. Documento de trabajo N° 46. Costos de Producción de Algodón en Colombia. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Observatorio Agrocadenas Colombia, Bogotá, Colombia. URL: [http://www.agrocadenas.gov.co/documentos/Costos/No46\\_costosalgodon.pdf](http://www.agrocadenas.gov.co/documentos/Costos/No46_costosalgodon.pdf). Visitado en 11/2006.
- Rabl A. (2002) Environmental benefits of natural gas for buses. *Transportation Research Part D*: 391-405.
- Raneses, A., Lewerene, G. y P. Michael., (1999) “Potencial Biodiesel Markets and their Economic Effects on the Agricultural Sector in the US”, *Industrial Crops and Products*, Vol. 9.
- Rauscher, M. (1994): “On Ecological Dumping”, *Oxford Economic Papers*, 46: 822-840.
- \_\_\_\_\_, (1997): *International Trade, Factor Movements, and the Environment*, Clarendon Press, Oxford.
- RCEP (2004). Biomass as a renewable energy source.
- Reijnders, L. 2006. Conditions for the sustainability of biomass based fuel use. *Energy Policy* 34:863–876.
- Reith JH, den Uil H, van Veen H, de Laat WTAM, (2002) Co-production of bioethanol, electricity and heat from biomass residues.
- RFA (2006) Just the facts: ethanol markets. RFA; 26 junio, 2006.
- Richard H, West S, Giltrap D, Denne T. (2006) Enabling biofuels. Biofuels supply options. Hale and Twomey Limited; marzo 2006.
- Rodríguez, M. y P. Engler. (2003), Análisis Económico del Cultivo de Girasol en Entre Ríos 2003/04. INTA Paraná, Entre Ríos, Argentina. URL: [http://www.inta.gov.ar/Parana/info/documentos/produccion\\_vegetal/girasol/analisis\\_economico/econ\\_gir\\_0304.htm](http://www.inta.gov.ar/Parana/info/documentos/produccion_vegetal/girasol/analisis_economico/econ_gir_0304.htm). Visitado en 11/2006.
- \_\_\_\_\_(2003) Análisis Económico del Cultivo de Maíz en Entre Ríos 2003/04. INTA Paraná, Entre Ríos, Argentina. URL: [http://www.inta.gov.ar/parana/info/documentos/produccion\\_vegetal/maiz/analisis\\_economico/anal\\_econ\\_maiz\\_0304.htm](http://www.inta.gov.ar/parana/info/documentos/produccion_vegetal/maiz/analisis_economico/anal_econ_maiz_0304.htm). Visitado en 11/2006.
- \_\_\_\_\_(2003) Análisis Económico del Cultivo de Soja en Entre Ríos - Campaña 2003/04. INTA Paraná, Entre Ríos, Argentina. URL: [http://www.inta.gov.ar/parana/info/documentos/produccion\\_vegetal/soja/analisis\\_economico/anal\\_econ\\_0304.htm](http://www.inta.gov.ar/parana/info/documentos/produccion_vegetal/soja/analisis_economico/anal_econ_0304.htm). Visitado en 11/2006.
- \_\_\_\_\_(2003) Análisis Económico del Cultivo de Sorgo en Entre Ríos - Campaña 2003/04. INTA Paraná, Entre Ríos, Argentina. URL: [http://www.inta.gov.ar/parana/info/documentos/produccion\\_vegetal/sorgo/analisis\\_economico/anal\\_econ\\_0304.htm](http://www.inta.gov.ar/parana/info/documentos/produccion_vegetal/sorgo/analisis_economico/anal_econ_0304.htm). Visitado en 11/2006.
- \_\_\_\_\_(2003) Análisis Económico del Cultivo de Sorgo Granífero en Entre Ríos - Campaña 2003/04. INTA Paraná, Entre Ríos, Argentina. URL: [http://www.inta.gov.ar/parana/info/documentos/produccion\\_vegetal/sorgo/analisis\\_economico/econ\\_0304.htm](http://www.inta.gov.ar/parana/info/documentos/produccion_vegetal/sorgo/analisis_economico/econ_0304.htm). Visitado en 11/2006.
- Rogers, R., F. Rojas, F., E. Fuentealba y E. Díaz. 1993. Fortalecimiento de las capacidades de formulación y evaluación de proyectos para la pequeña agricultura. Ministerio de Agricultura, Subsecretaría de Agricultura; Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). Santiago, Chile. 363 p.
- Rolfe, J. y Bennett, J. (1996): *Valuing International Rainforests: A Choice Modelling Approach*. Artículo presentado en el 40th Annual Conference of the Australian Agricultural Economics Society, Melbourne.
- Romero E. (Repsol YPF) (2005) [Presentación] Aspectos tecnológicos clave para el desarrollo del biodiesel. En II Jornadas Internacionales del Biodiesel. UAB, Barcelona; 21 octubre, 2005.

- Rosegran, M., Msangi, S., Sulser, T., and R. Valmonte-Santos, (2006) “Bioenergy and the Global Food Balance,” in *Bionergy and Agriculture: Promises and challenges*, 2020. IFPRI, Washington D.C.
- Rosset PM. (1999) The multiple functions and benefits of small farm agriculture in the context of global trade negotiations. Policy Brief n° 4. Food First; septiembre, 1999.
- Rozakis S, Sourie J-C, Vanderpootten D. (2000) Integrated micro-economic modelling and multi-criteria methodology to support public decision-making: the case of liquid bio-fuels in France. *Biomass & Energy*; 20: 385-398.
- Ryan L, Convery F, Ferreira S. (2006) Stimulating the use of biofuels in the European Union: implications for climate change policy. *Energy Policy*; 34: 3184-3194.
- S&T 2 (2006) Consultants Inc. Issue paper on biofuels in Latin America and the Caribbean.
- Sakthivadivel R, de Fraiture C, Molden DJ, Perry C, (1999) Indicators of Land and Water Productivity in Irrigated Agriculture. *Water Resources Development* (15); 1-2:161-179
- Sarin R, Sharma M, Sinharay S, Malhotra RK. Jathopha-palm biodiesel blends: an optimum mix for Asia. *Fuel* (en prensa).
- Schlamadinger B, Jürgens I. (2004) Bioenergy and the Clean Development Mechanism. \_\_\_\_\_(2005) [Presentación] Reducing the use of non-renewable biomass: an eligible CDM Project category? Working Session: Land Use and Bionergy in the Clean Develop Mechanism. Roma, Italia; 30 junio, 2005.
- Schmitz R. (2006) [Presentación] Biofuels in Europe. Perspectives and policies approaches. International Conference on Biofuels for Transportation-Global Potential and Implications for Sustainable Agriculture, Energy and Security in the 21st Century. Washington DC, EE.UU.; 7 junio 2006.
- Scientific and Technical Panel. (2006) Report of the GEF-STAP Workshop on liquid biofuels [GEF/C30/Inf9/Rev.1]. GEF Council Meeting, 5-8 diciembre 2006. GEF; 1 diciembre.
- Sciubba E, Ulgiati S. (2005) Emergy and exergy analysis: Complementary methods or irreducible ideological options? *Energy* 2005; 30: 1953-1988.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos, Republica Argentina. Estimaciones Agrícolas. URL: <http://www.sagpya.mecon.gov.ar/new/0-0/agricultura/otros/estimaciones/basestima.php>. Visitado 11/2006.
- SenterNovem (2005a). Shift gear to biofuels. Results and recommendations from the VIEWLS project. European Commission.
- \_\_\_\_\_ (2005b). Participative LCA on biofuels [Report 2GAVE-03.10].
- Servicio de Información Agropecuaria del Ministerio de Agricultura y Ganadería del Ecuador (Proyecto SICA/MAG). Caña de Azúcar: Superficie, producción y ventas. URL: <http://www.sica.gov.ec/censo/docs/nacionales/tabla14.htm>. Visitado 11/2006.
- \_\_\_\_\_ (Proyecto SICA/MAG). Situación de campo y fabrica de la industria azucarera, Julio/2004 -junio /2005. URL: [http://www.sica.gov.ec/cadenas/azucar/docs/situacion\\_campo\\_fabrica.htm](http://www.sica.gov.ec/cadenas/azucar/docs/situacion_campo_fabrica.htm). Visitado en 11/2006.
- \_\_\_\_\_ (Proyecto SICA/MAG). Costos de Producción de Algodón para la Campaña 2006 Pequeño Productor, Algodón de Invierno. Estadísticas básicas, Costos de Producción del Algodón y Textiles. Técnico responsable de la cadena agroalimentaria del Algodón: Patricio Díaz. URL: <http://www.sica.gov.ec/cadenas/algodon/docs/COSTO.htm>. Visitado en 11/2006.
- Shapouri H, Duffield J, Graboski M. (1995) Estimating the net energy balance of corn ethanol. *Agricultural Economic Report* n° 721. USDA.
- Shapouri H, Duffield J, Wang M. (2002) The Energy Balance of Corn Ethanol: An Update. *Agricultural Economic Report* n°. 813. USDA.
- Shapouri H, Wang M. (2004) The 2001 Energy Balance of Corn Ethanol. USDA, Editor; 2004.
- Sheehan, J. (2000) “Feedstock Availability and the Role of Bioethanol in Climate

- Change”, National Renewable Energy Laboratory, Presented at 13th International Alcohol Fuels Symposium, Stockholm, Sweden, July.
- Sheng C, Azevedo JLT. (2004) Estimating the higher heating value of biomass fuels from basic analysis data. *Biomass and Bioenergy*; 28: 499-507.
- Shepard J.E., (2006) Water quality protection in bioenergy production: the US system of forestry Best Management Practices. *Biomass and Bioenergy*; 30: 815-825.
- Shurson J, Noll S. (2005) Feed and alternative uses for DDGS. University of Minnesota.
- Silveira S. (2005) Promoting bioenergy through the clean development mechanism. *Biomass and Bioenergy*; 28: 107-117.
- Sims, Hastings, Schlamadinger, Taylors, Smith (2006) Energy crops: current status and trends. *Global Change Biology*; 12: 2054-2076.
- Sims, R., 2003, “The Triple Bottom Line Benefits of Bioenergy for the Community”, for OECD Workshop on Biomass and Agriculture, Vienna, Austria, 10-13 June.
- Sistema de Información Agropecuaria para el Estado Monagas. Costos de Producción (Nov. 2002) Maíz, Sorgo, Yuca amarga. Información Agropecuaria. URL: <http://www.monagas.infoagro.info.ve/Informacion%20Agropecuaria/Produccion/Costos%20Produccion.htm>. Visitado en 01/2007.
- Sistema de Información Agropecuaria para el Estado Zulia, Republica Bolivariana de Venezuela. <http://www.zulia.infoagro.info.ve/>
- \_\_\_\_\_ (2006) Costos de Producción. Maíz, Palma Aceitera, Yuca. Información Agropecuaria, Cultivos y Tecnología, Sector Agrícola Vegetal. Jun-2005. URL: <http://www.zulia.infoagro.info.ve/informacion%20agropecuaria/tecnologia/Vegetal/Vegetal.htm>. Visitado en 11/2006.
- Sistema Integral de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación <http://www.siap.sagarpa.gob.mx/>
- Sistema Integral de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). Superficie de Algodón. Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. URL: [http://www.siap.sagarpa.gob.mx/ar\\_comdeagr.html](http://www.siap.sagarpa.gob.mx/ar_comdeagr.html). Visitado 11/2006.
- Skinner I, Fergusson M, Kröger K, Kelly C. (2004) Critical issues in decarbonising transport. Technical Report n° 8. Tyndall Centre; febrero 2004.
- Sligerland S, van Geuns L. (2005) Drivers for an international biofuels market. CIEP Future Fuel Seminar. Clingendael Institute; 9 diciembre, 2005.
- Smeets E, Faaij A, Lewandowski I. (2004) A quick scan of global bio-energy potentials to 2050. An analysis of the regional availability of biomass resources for export in relation to the underlying factors. Copernicus Institute
- \_\_\_\_\_ (2005) The impact of sustainability criteria on the costs and potentials of bioenergy production. An exploration of the impact of the implementation of sustainability criteria on the cost and potential of bioenergy production, applied for case studies in Brazil and Ukraine; Copernicus Institute.
- Smeets E. y Faaij A. (2006) Bioenergy forestry potentials in 2050. An assessment of the drivers that determine the potentials; Copernicus Institute for Sustainable Development and Innovation.
- \_\_\_\_\_ (2006) Bioenergy production potentials from forestry to 2050. *Climatic Change*, November 2006.
- Smeets, E.M.W. A. P.C. Faaij, I.M. Lewandowski, y W.C. Turkenburg, (2007) A bottom-up assessment and review of global bio-energy potentials to 2050. *Progress in Energy and Combustion Science*, 33: 56–106
- Soto, E. (2005) El cultivo del girasol en Venezuela. *Revista Digital CENIAP HOY* Número 9, Sep-Dic 2005. URL: [www.ceniap.gov.ve/ceniaphoy/articulos/n9/arti/soto\\_e/arti/soto\\_e.htm](http://www.ceniap.gov.ve/ceniaphoy/articulos/n9/arti/soto_e/arti/soto_e.htm). Visitado en 11/2006

- Squire, L. y Van der Tak, H. G. (1975): Economic analysis of projects, John Hopkins Press, Baltimore.
- Steenblik R. (2006) Liberalisation of trade in renewable energy and associated technologies: biodiesel, solar thermal and geothermal energy. OCDE Trade and Environment Working Paper n° 2006-1. OCDE; 2006.
- Suter K. (2006) Is the World Running Out of Oil? Australian Environmental Review; febrero 2006.
- Suttie, J.M., 2003. Conservación de heno y paja para pequeños productores y en condiciones pastoriles. Producción y protección vegetal N° 29. FAO.
- Suurs RA. (2002) Long distance bioenergy logistics. An assessment of costs and bioenergy consumption for various biomass energy transport chains. Universiteit Utrecht. Copernicus Institute.
- Suvi H, Lampinen A. (2005) Bioenergy technology evaluation and potential in Costa Rica [Research Reports in Biological and Environmental Sciences]. University of JYVÄSKYLÄ.
- Swedish Water House, SIWI, (2005) Rain: the neglected resource embracing green water management solutions. SEI. SIWI.
- Teixeira S. (2005) Biofuels: advantages and trade barriers. [UNCTAD/DITC/TED/2005/1] UNCTAD.
- Thenkabail PS, Biradar CM, Turrall H, Noojipady P, (2006) An Irrigated area map of the World (1999) derived from Remote Sensing. Research Report n° 105. IWMI.
- Thoenes, P. (2006), Medium-term Supply and Demand Projections for the Oilseeds Complex, FAO, Commodities and Trade Division, Rome.
- \_\_\_\_\_ (2006b), Medium-term Supply and Demand Projections for the Oilseeds Complex, FAO, Commodities and Trade Division, Rome.
- Tilman D, Hill J, Lehman C. (2006) Supporting on-line material for carbon negative biofuels from low-input high-diversity grassland biomass: Science, 316.
- Tilman, D., Cassman, K.C., Matson, P.A., Naylor, R., Polasky, S., 2002. Agricultural sustainability and intensive production practices. Nature 418, 671–677.
- Tinker, P.B., 1997. The environmental implications of intensified land use in developing countries. Philosophical Transactions: Biological Sciences 352, 1023–1032.
- Tosi, J.C. 2000. Margen bruto de Cultivos de Cosecha gruesa. Campaña 2000/2001. Área de Economía y Sociología Rural, EEA INTA Balcarce, Buenos Aires, Argentina. URL: <http://www.inta.gov.ar/balcarce/info/documentos/econo/suple/27/mbcosgru.htm>. Visitado en 12/2006.
- Tosi, J.C. y H. Urcola, 1998. Cultivos de cosecha gruesa - Evaluación económica de alternativas de producción. Área de Economía y Sociología Rural – INTA EEA Balcarce, Buenos Aires, Argentina. URL: <http://www.inta.gov.ar/balcarce/info/documentos/econo/suple/21/suplecon21.htm>. Visitado en 12/2006.
- Tosi, J.C. y J.M. Erreguerena. 2003. Resultados económicos para el cultivo de trigo en el sudeste - Campaña 2003-2004. INTA EEA Balcarce, Buenos Aires, Argentina. URL: [http://www.inta.gov.ar/balcarce/info/documentos/econo/impuesto/tosi\\_erreg.htm](http://www.inta.gov.ar/balcarce/info/documentos/econo/impuesto/tosi_erreg.htm). Visitado en 11/2006.
- UFOP (2006). Biodiesel and other biofuels. Abridged version of the UFOP report 2005/2006.
- UNCTAD (2006) Ajustes a los cambios recientes en el sector energético: retos y oportunidad [TD/B/COM.1/EM.31/2].
- \_\_\_\_\_ (2006), The Emerging Biofuels Market: Regulatory, Trade and development Implications, United Nations, New York and Geneva.
- UNEP (2003). GEO. Latin America and the Caribbean: Environmental Outlook 2003. GEO-LAC 2003.

- UNEP/IISD (2004) Human, Well-being, Poverty and Ecosystem Services. Exploring the links. UNEP/IISD.
- Unidad de Desarrollo Agrícola (2007), División de Desarrollo Productivo y Empresarial (Capítulo Biocombustibles DRNI 14Marzo07.doc). Mimeo interno CEPAL.
- United Nations, 2006. Energy Statistics Yearbook 2003. Department of Economic and Social Affairs. Energy Statistics Series N°47. New York.
- University of Chicago (1999). Effects of Fuel-Ethanol Use on Fuel-Cycle Energy and Greenhouse Gas Emissions. Centre for Transportation Research, Argonne National Laboratory.
- Updegraff K, Baughman M, Taff S. (2004) Environmental benefits of cropland conversion to hybrid poplar: economic and policy considerations. *Biomass and Bioenergy*; 27: 411-428.
- US Department of Energy, EPA. (2007) Fuel economy guide 2007.
- USDA (2006) The economic feasibility of ethanol production from sugar in the United States. \_\_\_\_\_(2007) USDA Agricultural Projections to 2016, Washington D.C., February.
- USDA-DOE, (2005) Biomass as Feedstock for a Bioenergy and Bioproducts Industry: The Technical Feasibility of a Billion-Ton Annual Supply.
- Valetti, O. (1996) El cultivo de Colza – Canola. CEI Barrow, Buenos Aires, Argentina. Convenio MAAyP, INTA. URL: [http://www.inta.gov.ar/barrow/info/documentos/agricultura/colza/manual\\_colza.pdf](http://www.inta.gov.ar/barrow/info/documentos/agricultura/colza/manual_colza.pdf). Visitado en 11/2006.
- Van den Broek R, van den Burg T, van Wijk A, Turkenburg W. (2000) Electricity generation by eucalyptus and bagasse by sugar mills in Nicaragua: a comparison with fuel oil electricity generation on the basis of costs, macro-economic impacts and environmental emissions. *Biomass and Bioenergy*; 19: 311-335.
- Van Gerpen J, Shanks B, Pruszko R, Clements D, (2004) Biodiesel production technology [NREL/SR-510-36244]. ENREL.
- Van Geuns. (2005) [Presentación] Future biofuels and geopolitics: the role of biofuels; Clingendael International Energy Programme; 9 de diciembre de 2005.
- Villar, J. (1998) Evaluación de Cultivares de Colza en la EEA Rafaela, Campañas 1996/97 y 1997/98. Información Técnica para Productores 1997-1998, p.187-189. INTA Rafaela, Argentina. URL: [http://www.inta.gov.ar/rafaela/info/documentos/productores97\\_98/prod\\_p187.htm](http://www.inta.gov.ar/rafaela/info/documentos/productores97_98/prod_p187.htm). Visitado en 11/2006.
- Von Blottnitz H, MA. (2007) A review of assessments conducted on bio-ethanol as a transportation as a transportation fuel from a net energy, greenhouse gas and environmental life cycle perspective. *Journal of Cleaner Production*; 15: 607-619.
- WADE (2004) Bagasse cogeneration global review and potential.
- Walsh, M.E. R.L. Perlack, A. Turhollow, D. de la Torre Ugarte, D.A. Becker, R.L. Graham, S.E. Slinsky, and D.E. Ray, (2000) “Biomass Feedstock Availability in the United States: 1999 State Level Analysis”, ORNL, <http://bioenergy.ornl.gov/resourcedata/index.html>
- Walter A, Rosillo-Calle F, Dolzan B, Piacente E. (2007) Market evaluation: fuel ethanol. IEA Bioenergy.
- Wassell CS Jr., Dittmer TP. (2006) Are subsidies for biodiesel economically efficient? *Energy Policy* 2006; 34: 3993-4001
- Wesseler J. (2007) Opportunities (costs) matter: a comment on Pimentel and Patzek “Ethanol production using corn, switchgrass and wood; biodiesel production using soybean and sunflower”. *Energy Policy*; 35: 1414-1416.
- Wheals A, Basso LC, Alves D, Amorim H. (1999) Fuel ethanol after 25 years. *TibTech* (17): 482-487.
- Wihersaari M. (2005) Evaluation of greenhouse gas emission risks from storage of wood residue. *Biomass and Bioenergy*; 28: 444-453.

- Winkelman S. (2006). [Presentación] Transportation, the CDM and International Climate Policy. 85th Annual Meeting of the Transportation Research Board. Washington DC, EE.UU.; 24 enero, 2006.
- Wögergetter M. (2005) [Presentación] Worldwide biofuels production. Report on IEA Bioenergy Activities with special emphasis on biodiesel. Premia Discussion Forum. Measures to implement biofuels in Europe. Bruselas, Bélgica; 25 mayo, 2005.
- Wood S, Zhang X. (2004) Spatial patterns of crop yields in Latin America and the Caribbean. EPTD Discussion Paper n° 124. EPTD.
- World Watch Institute (2005). Renewables 2005: Global status report. REN21.
- \_\_\_\_\_(2006). State of the World (2006). Special focus: China and India. WW Norton & Company.
- World Watch Institute (2006). Conference Handout. Biofuels for transportation. Global potential and implications for sustainable agriculture and energy in the 21st century. Extended Summary. BMELV, GTZ, FNR.
- WRI (2005) Navigating the numbers: greenhouse gas data and international climate policy, World Resources Institute.
- Wright L, Fulton L. (2005) Climate change mitigation and transport in developing nations. Transport Reviews noviembre 2005; 6 (25): 691-717.
- Wright L. (2006) Worldwide commercial development of bioenergy with a focus on energy crop-based projects. Biomass and Bioenergy; 30: 706-714.
- WTO (2001), Ministerial Declaration, Ministerial Conference, Fourth Session, Doha, 9 - 14 November 2001, WT/MIN(01)/DEC/1, 20 November 2001, Ginebra.
- \_\_\_\_\_(2005), Environmental Goods for Development, Submission by Brazil, Committee on Trade and Environment Special Session, TN/TE/W/59, 8 July, Ginebra.
- WTO-UNCTAD (2006), Profils Tarifaires dans le Monde, WTO, Ginebra.
- Wuppertal Institute for Climate, Environment and Energy (2005) Synopsis of European and German experience and state of the art of biofuels for transport. Wuppertal Institute for Climate, Environment and Energy.
- Yacobucci B. (2006) Fuel ethanol: background and public policy issues. CRS Report for the Congress. The Library of Congress.
- Yamamoto H., Fujino J., Yamaji K., (2001) Evaluation of bioenergy potential with a multi-regional model global-land-use-and-energy model. Biomass and Bioenergy; 21: 185-203.
- \_\_\_\_\_(2001) Evaluation of Bioenergy potencial with a multi-regional global-land-use-and-energy model. Biomass and Bioenergy 21 (2001) 185–203.
- Zhang Y, Dubé MA, McLean MC, Kates M. (2003) Biodiesel production from waste cooking oil. 2. Economic assessment and sensitivity analysis. Bioresource Technology; 90: 229-240.
- Zommer RJ, Trabucco A, van Straaten O, Bossio DA. (2006) Carbon, land and water. A global analysis of the hydrological dimensions of climate change mitigation through afforestation/reforestation. Research Report n° 101. IWMI.