
medio ambiente

C

onsideraciones ambientales
en torno a los biocombustibles
líquidos

José Javier Gómez
Joseluis Samaniego
Mariana Antonissen

Santiago de Chile, julio de 2008



Bundesministerium für
wirtschaftliche Zusammenarbeit
und Entwicklung



Este documento fue preparado por José Javier Gómez, Joseluis Samaniego y Mariana Antonissen, de la División de Desarrollo Sostenible y Asentamientos Humanos, en el marco del programa “Hacia una Globalización Sostenible y Equitativa (GER/06/002)”, ejecutado por la CEPAL en conjunto con la Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) y financiado por el Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (BMZ).

Las opiniones expresadas en este documento, que no ha sido sometido a revisión editorial, son de exclusiva responsabilidad de los autores y pueden no coincidir con las de la Organización.

Publicación de las Naciones Unidas

ISSN versión impresa 1564-4189 ISSN versión electrónica 1680-8886

ISBN: 978-92-1-323209-5

LC/L.2915-P

N° de venta: S.08.II.G.49

Copyright © Naciones Unidas, julio 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	5
Introducción	7
1. Impactos ambientales	9
2. Etapa de producción agrícola	11
2.1 Uso de la tierra	11
2.2 Otros impactos: suelos, agua y aire	13
2.2.1 Agroquímicos: pesticidas, fertilizantes y extracción de nutrientes del suelo	13
2.2.2 Degradación de suelos	15
2.2.3 Consumo de agua	16
2.2.4 Contaminación del aire	18
2.3 Biocombustible a partir de lignocelulosa	18
3. Etapa de transformación industrial	19
4. Etapa de consumo	21
4.1 La contaminación local: el aire en las ciudades y el transporte	21
4.2 Cambios en contaminantes locales asociados a la introducción de biocombustibles	23
4.3 Cambios en los contaminantes locales asociados al uso de etanol	26
4.4 Cambios en los contaminantes locales asociados al uso de biodiésel	26
4.5 Biocombustibles, contaminación del aire y crecimiento del parque automotor	27

5. Biocombustibles y emisiones de gases de efecto invernadero bajo el enfoque de análisis de ciclo de vida.....	29
5.1 El papel de los biocombustibles en la reducción de emisiones de GEI	30
5.2 Biocombustibles y costos de reducir emisiones de GEI.....	34
5.3 Los proyectos de biocombustibles en el Mecanismo de Desarrollo Limpio.....	36
6. Estimaciones del costo de las externalidades (o efectos externos) ambientales	39
6.1 Externalidades asociadas al cambio de uso de suelo y a la agricultura.....	40
6.2 Externalidades asociadas a contaminación atmosférica local	41
6.3 Externalidades asociadas a contaminación global (emisiones de gases de efecto invernadero).....	42
7. Conclusiones	45
Bibliografía	47
Índice de cuadros	
1. EXTRACCIÓN DE NUTRIENTES POR UNIDAD DE ENERGÍA GENERADA SEGÚN CULTIVO	15
2. FACTORES RELATIVOS A PRÁCTICAS DE CULTIVO UTILIZADOS EN LA ECUACIÓN UNIVERSAL DE PÉRDIDA DE SUELOS (USLE)	16
3. PRINCIPALES CONTAMINANTES LOCALES DEL AIRE.....	23
4. CAMBIOS EN EMISIONES CONTAMINANTES DE BIODIÉSEL B20 Y B100 RESPECTO AL DIESEL CONVENCIONAL EN LA ETAPA DE CONSUMO	27
5. DIMENSIÓN Y VARIACIÓN DEL PARQUE AUTOMOTOR EN ALGUNOS PAÍSES DE AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE (1995-2005).....	28
6. CAMBIOS EN LAS EMISIONES DE GEI (EN CICLO DE VIDA) POR DISTANCIA RECORRIDA SUSTITUYENDO GASOLINA CONVENCIONAL POR ETANOL.....	31
7. CAMBIOS EN LAS EMISIONES DE GEI (EN CICLO DE VIDA) POR DISTANCIA RECORRIDA SUSTITUYENDO DIÉSEL CONVENCIONAL POR BIODIÉSEL	33
8. COSTOS ACTUALES Y FUTUROS DE REDUCCIÓN DE EMISIONES DE GEI MEDIANTE BIOCMBUSTIBLES	35
9. PROYECTOS MDL DE BIOCMBUSTIBLES	37
10. PAGO POR SERVICIOS AMBIENTALES EN CUENCAS HIDROGRÁFICAS.....	40
11. EXTERNALIDADES DE LAS ACTIVIDADES AGRÍCOLAS EN EL REINO UNIDO	41
12. DAÑOS AMBIENTALES DE COMBUSTIBLES CONVENCIONALES (US\$/LITRO DE COMBUSTIBLE)	41
13. IMPACTOS Y COSTOS AMBIENTALES DE BIODIESEL Y ETANOL (POR UNIDAD DE COMBUSTIBLE).....	42
14. PROYECTOS MDL DE BIOCMBUSTIBLES	43
Índice de gráficos	
1. IMPACTOS AMBIENTALES ASOCIADOS A LOS BIOCMBUSTIBLES	10
2. CONSUMO DE H2O VIRTUAL EN LA PRODUCCIÓN AGRÍCOLA POR UNIDAD DE ENERGÍA GENERADA.....	17
3. CONTRIBUCIÓN DEL TRANSPORTE RODADO A LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE EN CUATRO CIUDADES DE AMÉRICA LATINA.....	22
4. CONTENIDO DE AZUFRE (PPM) EN PETRÓLEO DIESEL DE PAÍSES DE AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE.....	25
5. CAMBIOS (%) EN LAS EMISIONES DE GEI (EN CICLO DE VIDA) POR DISTANCIA RECORRIDA SUSTITUYENDO GASOLINA CONVENCIONAL POR ETANOL.....	32
6. CAMBIOS (%) EN LAS EMISIONES DE GEI (EN CICLO DE VIDA) POR DISTANCIA RECORRIDA SUSTITUYENDO DIÉSEL CONVENCIONAL POR BIODIÉSEL	34
7. COSTOS DE INVERSIÓN INICIAL POR REDUCCIÓN DE TONELADA DE CO ₂ E.....	36
8. PRECIOS DE LA GASOLINA REGULAR Y DIESEL EN PAÍSES DE AMÉRICA LATINA Y EN TAILANDIA (PRECIO DE VENTA AL CONSUMIDOR) \$US/LITRO – AÑO 2005	44
Serie Medio ambiente y desarrollo: números publicados	51

Resumen

A lo largo del documento se presentan los resultados de diversos estudios acerca de los impactos ambientales de los biocombustibles siguiendo el enfoque de ciclo de vida. Desde el punto de vista ambiental, una primera conclusión de carácter general es que los beneficios ambientales asociados al uso de los biocombustibles pueden ser significativos, siempre que el principal riesgo ambiental -la ocupación de espacios naturales- pueda ser controlado. Los principales beneficios ambientales son la reducción de contaminantes locales y la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI).

En el ámbito de la contaminación del aire de las ciudades, la contribución a la mejora de la calidad del aire por el uso de biocombustibles es poco significativa cuanto mejor sea la calidad del combustible convencional (especialmente el contenido en azufre) y menor la edad del parque vehicular. Respecto a la contribución de los biocombustibles a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, los estudios de ciclo de vida muestran en general reducciones de mayor o menor cuantía en comparación con los combustibles fósiles. No obstante, recientes estudios que incorporan el cambio de uso de suelo en los análisis de ciclo de vida ofrecen resultados muy negativos de incremento de las emisiones de GEI.

El principal riesgo ambiental es la ocupación de áreas naturales para el cultivo de las materias primas de los biocombustibles, ya sea de manera directa, o bien como efecto de la sustitución y del desplazamiento de otros cultivos. Esta situación puede generar la pérdida de áreas naturales, que juegan un papel crucial en la provisión de bienes y servicios ambientales y contribuir al aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero por la vía del cambio del uso del suelo.

Introducción

Las consideraciones ambientales, junto a los objetivos de diversificación energética y desarrollo agrícola, suelen acompañar las políticas que están impulsando la utilización de biocombustibles líquidos para el transporte¹ en muchas áreas del mundo, especialmente en Europa. Desde que comenzaron estas políticas, la percepción respecto a los beneficios ambientales de los biocombustibles ha cambiado de manera significativa. Si al principio se consideraban una opción favorable desde el punto de vista ambiental, con contribuciones positivas a la reducción de la contaminación en las ciudades y a la disminución de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), recientemente han ido creciendo los cuestionamientos a estas políticas con base en dos de sus consecuencias: por un lado la ocupación de áreas naturales para expandir las áreas de cultivo y por otro el incremento en el precio de productos agrícolas importantes para la alimentación humana. Esta segunda consecuencia también refuerza el proceso de transformación de áreas naturales en tierras agrícolas.

Los biocombustibles generalmente emiten menos contaminantes locales, principalmente monóxido de carbono, material particulado y azufre, así como globales (GEI) que los combustibles convencionales. Desde la perspectiva ambiental, no obstante, junto a los potenciales beneficios señalados también aparecen riesgos importantes, siendo el principal la ocupación de áreas naturales para ampliar áreas de cultivo.

¹ Este documento aborda únicamente los impactos ambientales de los biocombustibles líquidos para el transporte, que constituyen un subconjunto de los biocombustibles. A lo largo de todo el texto, el término biocombustible debe entenderse en este sentido restringido.

A partir de diversos estudios en el documento se describen y cuantifican los impactos ambientales siguiendo el enfoque de análisis del ciclo de vida (ACV), es decir, considerando todas las etapas desde la producción agrícola (e incluso la producción de algunos insumos agrícolas) hasta el consumo en los vehículos de transporte. En el estudio se revisan los impactos ambientales en las fases de producción agrícola, transformación industrial y consumo. También se revisan algunos estudios de valoración de las externalidades ambientales, como las derivadas de los beneficios en salud por la reducción de la contaminación local o la contribución a la reducción de emisiones de GEI. La valoración de estos efectos externos puede ser la base para la introducción de tratamientos fiscales diferentes a los de los combustibles convencionales.

Por último, las políticas públicas sobre biocombustibles involucran distintas áreas de gobierno: entre las más importantes la agrícola, energética, ambiental, comercial y fiscal. Por ello deberían existir aproximaciones institucionales que consideren todas las aristas sectoriales y aseguren la necesaria coordinación y coherencia entre todas las áreas de política. Los aspectos institucionales no se tratan en este documento, pero son cruciales para la definición de políticas que integren las consideraciones ambientales.

1. Impactos ambientales

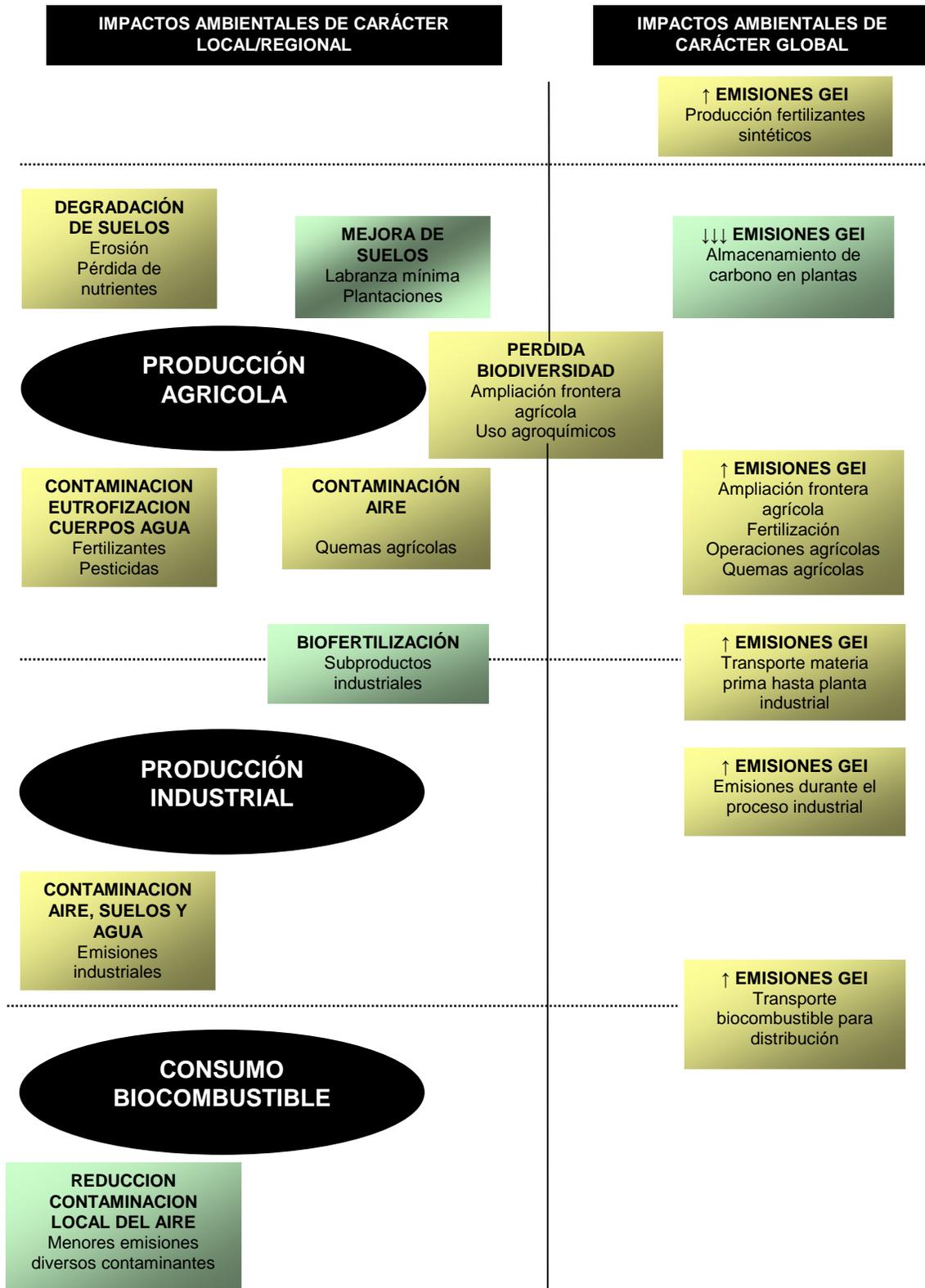
Aunque algunos impactos positivos son de carácter general, como la reducción de emisiones de algunos contaminantes del aire a escala local, la naturaleza y magnitud de los impactos ambientales derivados de la producción y consumo de los biocombustibles depende de diversos factores. Siguiendo el enfoque analítico de ciclo de vida, los impactos ambientales se pueden asociar a las siguientes etapas:

- Producción agrícola²
- Transporte y distribución hacia la industria
- Transformación industrial
- Transporte y distribución hacia el consumo
- Consumo

También es necesario considerar los 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 escalas de impacto: niveles local, regional y global. El gráfico 1 muestra un panorama de los impactos asociados a la producción y consumo de biocombustibles distinguiendo entre impactos de carácter global e impactos de carácter nacional/local.

² Algunos proyectos productivos, como los basados en la utilización de aceites usados de cocina, no responden totalmente a este esquema general.

GRÁFICO 1
IMPACTOS AMBIENTALES ASOCIADOS A LOS BIOCOMBUSTIBLES



Fuente: Elaboración propia.

2. 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.

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 ocupación y tala (y/o quema) de bosques hasta situaciones potencialmente positivas como la utilización 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 y solo cambia su uso.

Cuando el cultivo se asocia a deforestación, se producen los 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.³ En ciertos casos los daños pueden tener dimensión regional e incluso global. Cuando la deforestación se realiza a través de quemas, además de los impactos locales, se liberan gases de efecto invernadero.

³ Estudios realizados en Centroamérica estiman el valor de un índice de servicios ambientales de 0,2 para una pradera natural y 2,0 para un bosque primario; para los cultivos tienen un valor igual a cero (FAO, 2007).

El promedio de carbono contenido solo en la vegetación (sin considerar el suelo) de una hectárea de bosque tropical es 120,4 toneladas (IPCC, 2000); su liberación a través de quema equivale a las emisiones de CO₂ de la combustión de 177.000 litros de gasolina.⁴

Las políticas de apoyo y los objetivos de sustitución de combustibles convencionales por biocombustibles, especialmente en los países desarrollados,⁵ están generando una preocupación creciente respecto a sus probables impactos en la expansión de la frontera agrícola en los países en desarrollo. Un estudio de OCDE de 2005 estimó que la sustitución de un 10% de combustibles fósiles por biocombustibles en EE.UU., Canadá y la Unión Europea (15 países) requeriría de entre 30% y 70% de sus áreas respectivas de cultivo actuales.⁶ Un desplazamiento de combustibles convencionales de estas dimensiones implicaría enormes dificultades para compatibilizar las necesidades de tierra para cultivos energéticos con las necesidades para la producción de alimentos y la protección de espacios naturales. Un escenario previsible sería el ajuste del mercado a través de un aumento de los precios internacionales, incentivando la conversión de áreas naturales a tierras de cultivo. Existen evidencias de que las tasas de deforestación pueden responder a cambios en los precios internacionales de las materias primas; en el informe Stern (Stern, 2006) se mencionan, entre otros, los aumentos de la deforestación en Brasil asociados a la subida de precios internacionales de la carne y de la soja.

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 (Manuel-Navarrete et.al., 2005). Estudios recientes de la expansión de la soja en el sur de la Amazonía brasileña (Morton et. al, 2006) 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 correlación directa entre el área deforestada y el precio medio anual de la soja. El incremento en la producción de biodiésel a partir de soja intensificaría los procesos de conversión a agricultura de ecosistemas naturales. Actualmente, la mayor parte del biodiésel producido en EE.UU. utiliza esta materia prima y las metas de producción en Brasil (sustitución de 2% del petrodiesel en 2008 y de 5% en 2014, es decir B2 y B5) descansan principalmente en el aceite de soja.

La expansión de la producción de aceite de palma en los países del sudeste asiático responde principalmente a la creciente demanda por biodiésel. El crecimiento de la producción está basado en el incremento de la superficie cultivada y en un uso más intenso de fertilizantes. Una de las consecuencias está siendo la conversión de grandes superficies de bosque tropical al cultivo de palma aceitera. El gobierno de Indonesia, por ejemplo, está promoviendo el establecimiento de 3 millones de hectáreas de nuevas plantaciones de palma aceitera en cinco años (Wakker, 2006).

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 significativamente las áreas ambientalmente más sensibles. La ocupación de los “cerrados”, nombre que recibe la sabana de Brasil, fue relativamente pequeña. Actualmente existe un área potencial de expansión del cultivo que no afectaría áreas naturales. En condiciones diferentes, un

⁴ Considerando un coeficiente de emisiones de la gasolina de 2,5 tCO₂e/kl (emisiones del ciclo de vida de la gasolina, esto es, desde el pozo de petróleo a la rueda del vehículo). Dato obtenido de los documentos de proyecto presentados a la Junta Ejecutiva del Mecanismo de Desarrollo Limpio del Protocolo de Kyoto.

⁵ Muchos países en desarrollo también se han fijado objetivos de sustitución de combustibles convencionales por biocombustibles y están implementando programas de apoyo.

⁶ Asumiendo las mismas tecnologías de producción, rendimientos de cultivo y en ausencia de comercio internacional. En otro estudio de la IEA (IEA, 2004), la sustitución del 5% en 2010 del combustible convencional por etanol y biodiésel requiere la utilización del 21% de la tierra cultivada en EE.UU. y el 20% en la Unión Europea.

impulso a la producción de caña de azúcar puede implicar pérdida de bosques y hábitat naturales en algunos países de la región.⁷

La conversión de espacios naturales causada, directa o indirectamente, por la expansión de cultivos energéticos constituye la principal amenaza asociada al fomento de los biocombustibles desde el punto de vista ambiental. 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 de uso del suelo. El título de un reciente artículo de Science (Searchinger *et al.*, 2008) es bastante explícito: *El uso en Norteamérica de cultivos para la producción de biocombustibles incrementa las emisiones de gases de efecto invernadero a través de las emisiones por cambio en el uso de la tierra*. Según los autores el proceso comienza con un aumento en el precio de los productos agrícolas, al cual responden los agricultores del mundo mediante la expansión de la frontera agrícola a expensas de bosques y pastizales. Considerando cambios en el uso del suelo los autores estiman un incremento de emisiones de GEI de 95% del etanol a partir de maíz en comparación con la gasolina convencional. Otro artículo de la misma publicación, (Fargione, J. *et al.*, 2008) muestra evidencias de que en Indonesia y Malasia, el incremento en la demanda por aceite de palma está contribuyendo a la tasa de pérdida de bosques tropicales de 1,5% anual en estos países. En EE.UU. los precios crecientes del maíz, trigo y soja están causando que una gran proporción de los 15 millones de hectáreas hasta hace poco bajo el Programa de Reservas de Conservación se estén volviendo a cultivar.

Desde la perspectiva ambiental, en otro extremo podemos encontrar situaciones en las que el cultivo base de la producción de materia prima del biocombustible se realiza en tierras degradadas, utilizando especies que contribuyen a estabilizar los suelos (puede ser el caso de especies como la *Jatropha*⁸ cuyas semillas se utilizan en la producción de biodiésel). En este caso el impacto ambiental es positivo.

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 los riesgos relativos a la pérdida de espacios naturales, aunque no los eliminaría, ya que en algunas áreas se podría favorecer el proceso de sustitución de bosques naturales por plantaciones.

2.2 Otros impactos: suelos, agua y aire

2.2.1 Agroquímicos: pesticidas, fertilizantes y extracción de nutrientes del suelo

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,⁹ del uso intensivo de agroquímicos (fertilizantes, pesticidas) y agua.

⁷ 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.

⁸ 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.

⁹ 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.

Los impactos ambientales corrientes 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 a la salud si la lixiviación de nitratos y fosfatos llega a acuíferos usados para abastecimiento de poblaciones;
- 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 N₂O (uno de los gases de efecto invernadero).¹⁰

El uso de pesticidas también se relaciona con contaminación del suelo, agua y biota en procesos de bio-acumulación. En concentraciones altas pueden provocar daños importantes a la salud. El impacto ambiental de los agroquímicos depende de factores como la capacidad de asimilación del medio, si la aplicación es o no correcta (dosis, momento), tipo de producto utilizado, así como de la existencia y cumplimiento de normativa sobre uso de agroquímicos. En el caso de Brasil, las inversiones en investigación agrícola han generado variedades de caña 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 el cuadro 1 se presentan los resultados para diferentes cultivos en términos de MJ de energía por gramo de macronutriente utilizado por el cultivo.¹¹ En este caso solo se considera la energía contenida en los biocombustibles, obtenida a partir de los rendimientos en producción agrícola y de la conversión a etanol 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.

¹⁰ 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%.

¹¹ Para llegar al dato final se han utilizado las extracciones de macronutrientes según cultivo, la conversión a litros de biocombustible por tonelada de producción y el contenido energético del biodiesel y etanol.

CUADRO 1
EXTRACCIÓN DE NUTRIENTES POR UNIDAD DE ENERGÍA GENERADA SEGÚN CULTIVO

Cultivo	gr. N por MJ ^a	gr. P ₂ O ₅ por MJ	gr. K ₂ O por MJ	Rendimiento (ton/ha)	litros por tonelada	MJ/tonelada
Etanol						
Caña de azúcar	0,7	0,5	1,9	100	85	1 785
Maíz	2,4	1,0	2,4	6	396	8 316
Biodiésel						
Soja ^b	8,3	3,0	13,0	3	133	4 389
Girasol	4,0	2,0	8,0	3	304	10 032
Palma	0,3	0,2	1,1	25	342	11 286
Colza	4,7	2,0	6,3	3	351	11 600

Fuente: Elaboración propia a partir de varias fuentes; los datos de rendimiento y extracciones por cultivo obtenidos de (Guerrero, 2001).

^a Megajoule.

^b 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.

Un estudio más detallado respecto al uso de agroquímicos llevado a cabo en EE.UU. comparando entre etanol a partir de maíz y biodiesel a partir de soja (Morton, 2006) muestra mejores resultados en el caso del segundo cultivo. Por cada unidad de energía ganada, el biodiesel de soja usa solo 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 subproductos y la energía utilizada en los procesos agrícola e industrial.

2.2.2 Degradación de suelos

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 (soya, girasol), si bien en 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 para caña de azúcar muestran que las pérdidas de suelo por erosión (12,4 ton/ha/año) son relativamente pequeñas en comparación con otros cultivos como arroz, soya o frijol que presentan pérdidas de 25,1 ton/ha/año, 20,1 ton/ha/año y 38,1 ton/ha/año, respectivamente (Macedo, 2005).

Aunque existe la idea generalizada de que la principal fuente de pérdida de nutrientes del suelo es la erosión, la magnitud de pérdida asociada a la extracción de la cosecha y de los residuos es muy similar (Dreschel, 2004). La degradación de suelos a causa de la erosión depende de una serie de variables entre las que el cultivo empleado es solo uno, y no el más importante, de los factores a considerar.¹² En el cuadro 2 se presenta el rango de coeficientes correspondiente a cada cultivo que se utiliza para estimar la pérdida de suelos por erosión, de acuerdo a las prácticas agronómicas habituales de cada uno. Cuanto más alto es el factor, mayor contribución a la pérdida de suelos.

¹² 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 existencia o no de prácticas de conservación de suelos.

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 con monocultivo de soja se ha evidenciado la pérdida de materia orgánica, la pérdida neta de nutrientes y, por tanto, una disminución de la fertilidad. Respecto a la contaminación de acuíferos por pesticidas, actualmente no existen estudios concluyentes (Manuel-Navarrete et al., 2005).

CUADRO 2
FACTORES RELATIVOS A PRÁCTICAS DE CULTIVO UTILIZADOS
EN LA ECUACIÓN UNIVERSAL DE PÉRDIDA DE SUELOS (USLE)

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)	0,20-0,50
Soja (labranza cero)	0,03-0,06
Árboles de palma	0,10-0,30
Caña de azúcar	0,13-0,40

Fuente: Morgan (1995) y Brady, y Weil (1999) en el caso de soja (labranza cero).

2.2.3 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. (solo un 15% de la superficie total destinada a este cultivo es irrigada) y en Brasil con la producción de caña de azúcar. En el gráfico 2 se presenta la utilización de agua virtual¹³ en cada cultivo por unidad de energía asociada al biodiesel o etanol. Esta información se obtuvo a partir de datos sobre el promedio mundial de uso de agua por tonelada de cada producto y utilizando los rendimientos por hectárea del cuadro 1. La caña de azúcar en etanol y la palma en biodiesel son los cultivos más eficientes en el uso de agua.

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

- Intensificar la producción en la superficie existente. Una de las formas de aumentar la producción por hectárea es la transformación de tierras a regadío, generalmente incrementando el uso de agroquímicos. Una mala gestión de los recursos hídricos puede llevar a la sobreexplotación y contaminación de acuíferos o aguas superficiales. Otros

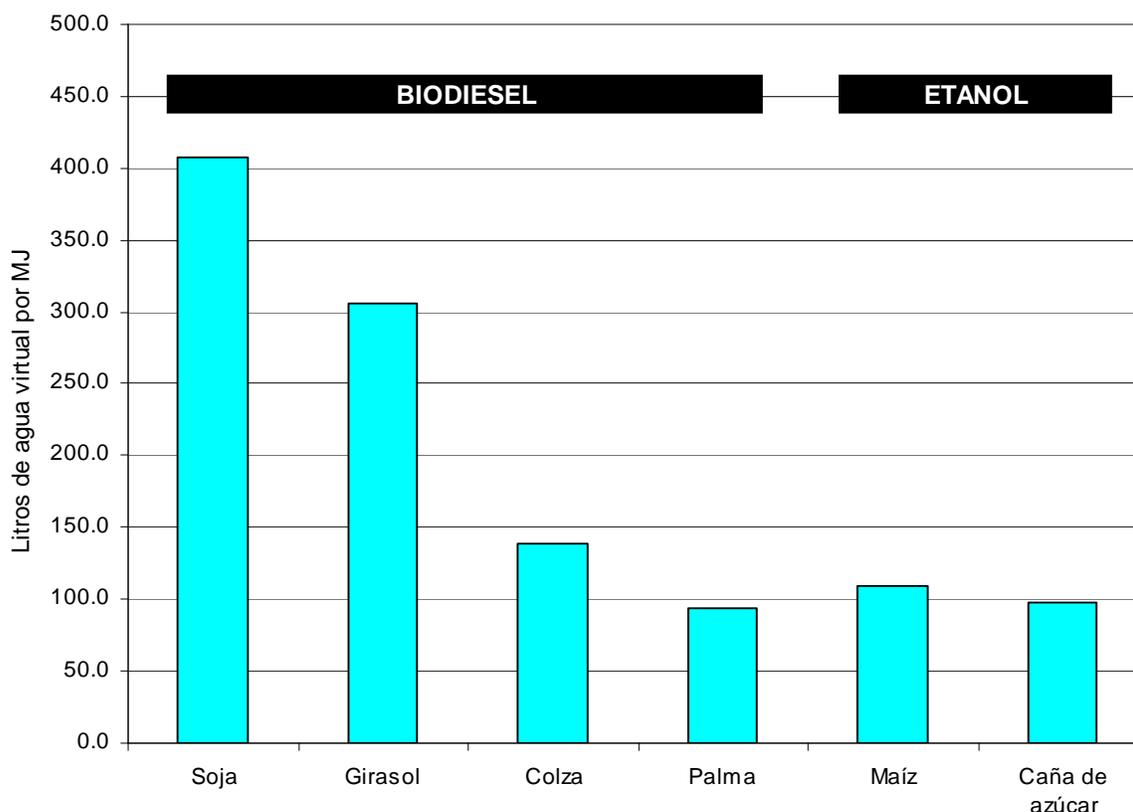
¹³ Agua virtual se define como el volumen de agua requerido para producir un bien o servicio. El contenido de agua virtual de productos agrícolas se calcula con base en los requerimientos de agua y en los rendimientos de los cultivos (Chapagain y Hoekstra, 2004).

riesgos ambientales asociados a las áreas de irrigación son los problemas de salinización e hidromorfismo en suelos y la proliferación de vectores de algunas enfermedades como malaria.

- Incrementar la superficie bajo cultivo. Puede ser a través de la utilización de nuevas tierras o de sustitución de cultivos. La ampliación de la frontera agrícola, tanto directa como indirecta (cuando la producción sustituida por la materia prima de biocombustible se desplaza a 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 de agua, en la regulación del ciclo hídrico e incluso en el régimen de lluvias, por lo que su sustitución (sobre todo por cultivos anuales) genera un aumento de la escorrentía y por tanto modifica la disponibilidad de agua. 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 stress hídrico, así como sistemas más eficientes de riego contribuirían a un uso más racional de los recursos hídricos.

GRÁFICO 2
CONSUMO DE H₂O VIRTUAL EN LA PRODUCCIÓN AGRÍCOLA POR UNIDAD DE ENERGÍA GENERADA
(Litros agua / MJ)



Fuente: Elaboración propia a partir de Chapagain y Hoekstra (2004).

La producción de biodiesel a partir de aceites usados y grasas animales tiene impactos positivos en la calidad del agua. Se trata de insumos de disponibilidad limitada como los subproductos del procesamiento de carnes, aceites vegetales usados y grasas recuperadas de los sistemas de alcantarillado, principalmente. En los dos primeros casos los destinos más usuales son alimento para ganado, fabricación de jabones y cosméticos y otros procesos industriales. Frecuentemente los aceites usados no se reciclan y son vertidos a los sistemas de alcantarillado y cauces de agua. Desde el punto de vista ambiental la principal ventaja 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 existen estos sistemas.

2.2.4 Contaminación del aire

Respecto a 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 en el aumento de enfermedades respiratorias está en discusión; otros impactos, como contaminación visual y aumento en la suciedad de ropa por las partículas y pavesas del aire generan molestias en las poblaciones. 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 sea posible la cosecha mecanizada (Kojima y Johnson, 2005).

2.3 Biocombustible a partir de lignocelulosa

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

En general, las plantaciones forestales tienen menores impactos negativos que los cultivos agrícolas, especialmente en términos de biodiversidad y suelos. Sin embargo, la destrucción de bosques naturales para la instalación de monocultivos para la producción de biocombustibles tendrá incuestionablemente importantes consecuencias negativas en el ambiente. Por otro lado, los ecosistemas forestales tienen un alto nivel de biomasa subterránea, lo que contribuye a mejorar la estabilidad del suelo y el almacenamiento de carbono. Se considera que producen menos impacto visual en el paisaje, y que albergan mayores índices de diversidad animal y vegetal (Rowe *et al.*, 2007).

3. Etapa de transformación industrial

Uno de los residuos que se genera en la producción de etanol a partir de caña de azúcar en la fase de destilación y deshidratación es la vinaza, un efluente industrial rico en materia orgánica y potasio. En el pasado, la disposición de este efluente en cuerpos de agua generó graves problemas ambientales. Actualmente, la vinaza es prácticamente reciclada en su totalidad mediante sistemas de fertirrigación. Otro de los subproductos, la torta residual (filtercake) se utiliza como suplemento en la alimentación animal y también como fertilizante. En EE.UU. los vertidos de efluentes de las plantas de producción de etanol a partir de granos, se han convertido en una preocupación ambiental importante (Kojima y Johnson, 2005; Williams, 2004).

Las emisiones de monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO_x), compuestos orgánicos volátiles (COV, especialmente aldehídos), material particulado y olores requieren de sistemas de control y de filtros de acuerdo a la legislación de los países (se trata de proyectos que deben llevar a cabo una evaluación de impacto ambiental). La contaminación del aire en la producción de etanol constituye un problema serio en EE.UU.; desde 1992 la Environmental Protection Agency (EPA) comenzó a investigar por el incumplimiento de la legislación vigente sobre contaminación del aire e incrementó los controles y requerimiento de equipos para reducir las emisiones de

contaminantes al aire.¹⁴ Otro problema ambiental es el consumo de agua en el proceso industrial.¹⁵

Respecto a la producción de biodiésel, se puede distinguir el proceso en que se obtiene el biodiésel junto con glicerina a partir de aceites vegetales del proceso en que se obtienen estos últimos a partir de la materia prima vegetal (soya, girasol, colza, palma, etc.). Los principales problemas ambientales asociados a la producción de aceites vegetales son la generación de residuos líquidos y sólidos con una alta Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)¹⁶ y la presencia de malos olores.

En general, la fabricación de biodiésel no implica emisiones significativas de contaminantes al aire. Pueden producirse emisiones marginales de metanol por venteo y de óxidos de azufre (SO_x). Respecto a vertidos a cuerpos de agua, 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. El tratamiento de efluentes también dependerá de la norma establecida para el cuerpo receptor.

En la fase de producción del aceite vegetal pueden producirse situaciones diversas, dependiendo de la materia prima y proceso utilizado, así como de los equipos (principalmente filtros) utilizados para reducir las emisiones de efluentes (aceites y grasas minerales) a 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.

¹⁴ Entre 2002 y 2005 la EPA llegó a acuerdos con los dos principales productores de etanol procedente de grano (ADM y Cargill) 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 (EPA, 2002).

¹⁵ De acuerdo a (Coelho, 2006), en Brasil se ha reducido el consumo de agua desde 5m³ hasta 1,83 m³ por tonelada de caña; es decir unos 26 litros de agua por cada litro de etanol (considerando una producción de 70 litros/ton de caña).

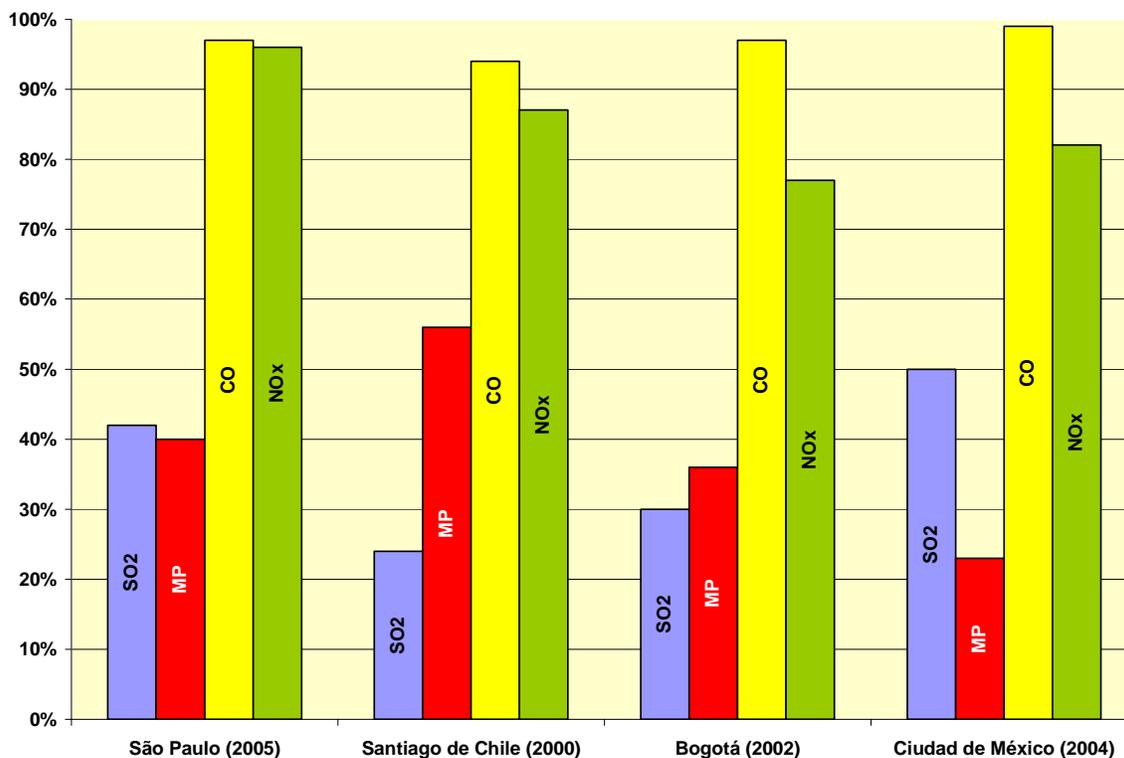
¹⁶ La DBO es un parámetro que sirve para medir la contaminación por materia orgánica. Cuando los residuos líquidos contienen mucha materia orgánica (DBO alta), los niveles de oxígeno disuelto disminuyen porque el oxígeno que está disponible en el agua es consumido por las bacterias en el proceso de descomposición de la materia orgánica. Esta disminución de los niveles de oxígeno afecta negativamente a peces y otros organismos acuáticos.

4. Etapa de consumo

4.1 La contaminación local: el aire en las ciudades y el transporte

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 óxido de azufre (SO₂), óxidos de nitrógeno (NO_x) y compuestos orgánicos volátiles (COV), categoría esta que incluye hidrocarburos (HC), aldehídos y compuestos aromáticos como el benceno. En el gráfico 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 y por tanto a los edificios y viviendas, y a la vegetación, suelos y cuerpos de agua principalmente en forma de lluvia ácida (ver cuadro 3).

GRÁFICO 3
CONTRIBUCIÓN DEL TRANSPORTE RODADO A LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE
EN CUATRO CIUDADES DE AMÉRICA LATINA
(En porcentajes)



Fuente: CETESB (2006), CONAMA (2001), DAMA (2002), GDF (2004).

Diferentes variables afectan a la magnitud y poder contaminante de las emisiones de los vehículos, desde el tipo y calidad del combustible (gasolina, diésel, gas), pasando por la edad de los vehículos hasta su mantenimiento. Por ejemplo, el combustible diésel se considera el principal responsable de la contaminación por material particulado fino. Las emisiones de SO₂ dependen en gran parte del contenido en 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.

CUADRO 3
PRINCIPALES CONTAMINANTES LOCALES DEL AIRE

Contaminante	Características	Efectos generales sobre la salud	Efectos generales sobre el medio ambiente
Óxido de azufre (SO ₂)	Es un contaminante primario y también precursor en la formación de MP10 y MP2.5 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 _x)	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, contaminación de suelos, alteraciones del patrón de lluvias
Ozono (O ₃)	Es un contaminante secundario resultante de la reacción química entre NO _x 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: O’Ryan R. y Larraguibel L. (2000)

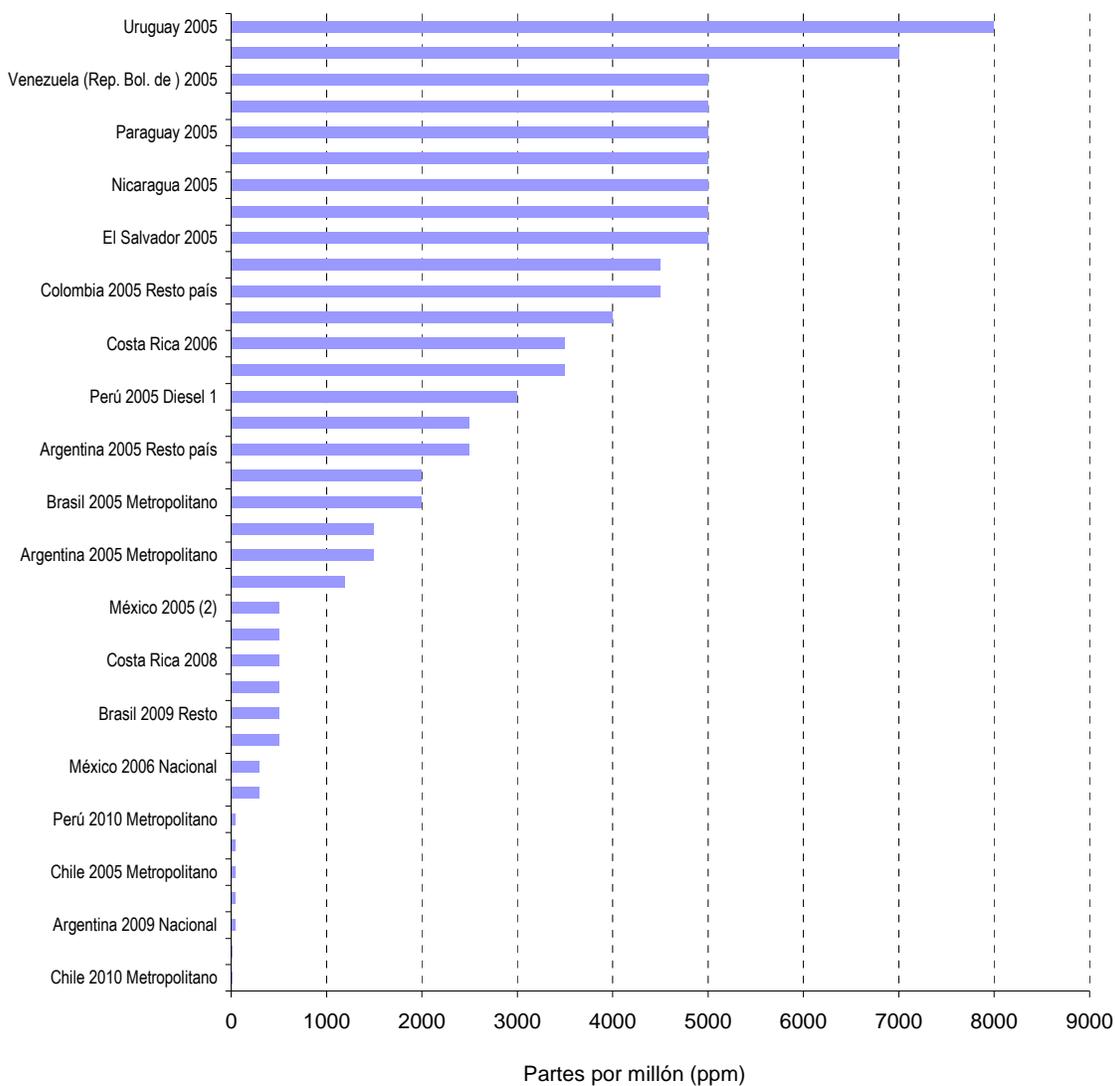
4.2 Cambios en contaminantes locales asociados a la introducción de biocombustibles

Los biocombustibles son generalmente menos tóxicos que los combustibles fósiles ya que emiten menos CO, HC, SO₂ y material particulado que los combustibles fósiles. En algunos casos, no obstante, como en las mezclas de etanol con gasolina, se producen aumentos en las emisiones de COV. El impacto de los biocombustibles (etanol y biodiésel) en las emisiones de NO_x generalmente es de poca magnitud y puede tener signo positivo o negativo dependiendo de las condiciones. Por otro lado, presentan menos riesgos de toxicidad en su manipulación que los combustibles de origen fósil.

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. En los países en desarrollo, la contribución de los biocombustibles a la reducción de la contaminación del aire puede ser bastante mayor, especialmente cuando los estándares respecto a emisiones de los vehículos son menos estrictas y la edad de los vehículos mayor.

Uno de los beneficios más importantes de los biocombustibles es la reducción en algunos contaminantes locales. El contenido de azufre de gasolina y diésel está directamente relacionado con las emisiones de SO_2 . Los biocombustibles **están libres de sulfuros**, por lo que su uso, ya sea sustituyendo totalmente al combustible fósil o en mezcla, reduce las emisiones de SO_2 por litro consumido. La dimensión de los beneficios asociados a la reducción de emisiones de SO_2 depende, entre otros factores, del contenido en azufre de los combustibles y de la edad del parque vehicular. Cuanto mayor sean el contenido en azufre y la edad promedio de los vehículos, mayor es el beneficio potencial de la introducción de biocombustibles. En el gráfico 4 se puede observar el contenido de azufre en partes por millón (ppm) en el petróleo diésel 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 biodiésel son mayores son Uruguay, Ecuador, Venezuela y los países centroamericanos, mientras que los beneficios serían relativamente menores en Perú, Chile, Argentina, Brasil y México, especialmente en los años próximos en que entran en vigor normativas que introducen reducciones adicionales del contenido en azufre del combustible diésel.

GRÁFICO 4
CONTENIDO DE AZUFRE EN PETRÓLEO DIÉSEL DE PAÍSES DE AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE
(ppm)



Fuente: CEPAL, 2006.

4.3 Cambios en los contaminantes locales asociados al uso de etanol

Las principales ventajas ambientales vinculadas al etanol y al gasohol 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. Entre los inconvenientes se encuentra el aumento en las emisiones de aldehídos y NO_x. Por otro lado, la introducción de etanol permite sustituir el MTBE¹⁷ (producto con riesgos ambientales, crecientemente prohibido en todo el mundo) como oxigenante y el plomo, u otras sustancias igualmente tóxicas, para aumentar el octanaje¹⁸ (Horta, L., 2004).

La Compañía Estatal de Tecnología de Saneamiento Básico y Protección Ambiental (CETESB), vinculada a la autoridad ambiental del gobierno de São Paulo estima que la adición de etanol 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 etanol y gasohol son los principales responsables de la emisión de aldehídos (que forman parte del grupo de COV). Antes de 1980, cuando la gasolina era el único combustible en uso, las emisiones de CO eran superiores a 50g/Km.; actualmente son menores a 1g/Km. (0,73 g/Km. en vehículos a gasohol y 0,63 g/Km. en vehículos movidos por etanol) gracias a la introducción de etanol y a cambios tecnológicos. Por otro lado, Brasil fue país pionero en la eliminación del plomo como aditivo gracias a la introducción del etanol (CETESB, 2006).

Es posible encontrar otras experiencias en que 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 etanol (E10) mostraron niveles similares de emisiones de CO y de HC que los de la gasolina regular (Horta, L., 2004). 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 (reducción de 46%); no encontraron variaciones significativas en las emisiones de NO_x, y los aldehídos aumentaron en 510% (Kojima y Johnson, 2005).

Otro estudio de EPA del año 2002 también muestra ligeras variaciones en las emisiones de NO_x desde 10% de reducción a 5% de aumento en mezclas de gasolina con baja proporción de etanol, en comparación con la gasolina convencional. En mezclas con mayor porcentaje de etanol (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 era 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 en niveles muy bajos.

4.4 Cambios en los contaminantes locales asociados al uso de biodiésel

El biodiésel y el petrodiesel presentan propiedades físicas y químicas similares. De acuerdo a la EPA (EPA, 2002), con excepción de las emisiones NO_x, el biodiésel puro y sus mezclas presentan menores emisiones de contaminantes que el diésel convencional. Aunque las emisiones varían

¹⁷ El éter metil tert-butílico (MTBE) es un líquido inflamable usado como aditivo en gasolina sin plomo.

¹⁸ La eliminación del plomo en la gasolina ya es un hecho en la mayor parte de los países de la región.

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 biodiésel en la mezcla. En comparación con el combustible diésel de origen fósil, el biodiésel puro (B100), elimina las emisiones de SO₂, reduce las emisiones de CO y COVs, especialmente bencenos, y el material particulado; tan solo se aprecia aumento en las emisiones de NO_x. Otras ventajas de carácter ambiental son su alta biodegradabilidad y que la ausencia de azufre permite el uso de catalizadores.

En el cuadro 4 se muestran dos estudios sobre desempeño del biodiésel B20 y B100 obtenido a partir de soja. Un estudio es de la Agencia de Protección Ambiental (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.

CUADRO 4
CAMBIOS EN EMISIONES CONTAMINANTES DE BIODIÉSEL B20 Y B100
RESPECTO AL DIESEL CONVENCIONAL EN LA ETAPA DE CONSUMO
(En porcentajes)

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

Fuente: EPA (2002) y Sheehan et. al (1998).

Por último, hay influencia del tipo de aceite sobre las propiedades del biodiésel. Respecto a las emisiones contaminantes, los biodiésel con base en grasas animales tienen menores aumentos en las emisiones de NO_x, y mayores reducciones en las emisiones de CO y MP que los combustibles biodiésel con base en colza y soja (Kojima y Johnson, 2005). Por otro lado, la utilización de materia prima como aceite usado de cocina, 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.

4.5 Biocombustibles, contaminación del aire y crecimiento del parque automotor

Aunque en términos generales los biocombustibles presentan menores emisiones contaminantes que los combustibles fósiles, estos efectos positivos se ven rápidamente compensados 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 mejora en la 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 de la situación del aire en las ciudades con parque automotores envejecidos y combustibles de baja calidad.

Como ha señalado la Oficina Europea del Medio Ambiente (Kojima y Johnson, 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 compensada por el crecimiento del sector en solo tres años. Por este motivo, no considera la introducción de biocombustibles como una medida capaz de proporcionar beneficios ambientales significativos y aconseja centrarse en políticas más efectivas que buscan 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 biocombustibles pueden verse rápidamente compensados por el crecimiento del sector (ver cuadro 5).¹⁹

Los datos de algunos países de América Latina ratifican este escenario como puede verse en el cuadro 5. 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-25²⁰ 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.

CUADRO 5
DIMENSIÓN Y VARIACIÓN DEL PARQUE AUTOMOTOR EN ALGUNOS
PAÍSES DE AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE (1995-2005)

País	1995	2003	Crecimiento en el período (Porcentaje)	Crecimiento anual (Porcentaje)	Número de vehículos por 1.000 habitantes 2005
Brasil	26 609 232	42 071 961	58,1	4,7	224
Chile	1 632 283	2 444 571	49,8	4,1	150
Colombia	2 246 893	3 454 126 ^a	53,7	5,5	78
México	11 961 930	21 450 567	79,3	6,0	202
Panamá	255 955	351 649	37,4	3,2	109
Paraguay	342 024	473 888 ^a	38,6	4,2	80
Perú	862 589	1 613 694	87,1	6,5	58
R. Dominicana	301 233	2 122 739 ^b	604,7	24,2	237

Fuente: CEPAL (2006).

Notas: ^a año 2003
^b año 2004

¹⁹ Lo ocurrido en EE.UU. respecto a las mejoras tecnológicas es también ilustrativo. Entre 1979 y 1997 la eficiencia del combustible 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% (Harrington W. y V. McConnell, 2003). Se estaría cumpliendo, de alguna manera, la paradoja de Jevons según la cual la introducción de tecnologías con mayor eficiencia energética pueden, a la postre, aumentar el consumo total de energía.

²⁰ Unión Europea con 25 países miembros.

5. Biocombustibles y emisiones de gases de efecto invernadero bajo el enfoque de análisis de ciclo de vida

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 que los biocombustibles emiten entre 40% y 80% menos GEI que otros combustibles fósiles (Comisión Europea, 2000).

En Estados Unidos, el Departamento de Energía ha establecido la meta de desplazar el 30% de la demanda de gasolina de 2004 con biocombustibles, principalmente etanol, 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 CO₂ del biodiésel en comparación con el petrodiésel (Sheehan et. Al, 1998).

La reducción de la dependencia de los combustibles fósiles, la reactivación de la agricultura y la reducción de emisiones de contaminantes locales son los principales motivos para impulsar el uso de biocombustibles en los países en desarrollo. Teniendo en cuenta que estos países 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,²¹ uno de los llamados mecanismos flexibles para reducir emisiones de GEI establecidos en el Protocolo de Kioto.

5.1 El papel de los biocombustibles en la reducción de emisiones de GEI

En los cuadros 6 y 7 se presentan los resultados de numerosos estudios llevados a cabo sobre los cambios en las emisiones de GEI al sustituir combustibles convencionales por biocombustibles. En algunos casos, notablemente en maíz en el caso de etanol y soja en el caso de biodiésel, 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 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. 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 genera reducciones importantes de GEI. Las reducciones podrían ser mayores si los sub-productos sustituyen producciones en otra parte (insumos para alimentación de ganado o glicerina) y si parte de la biomasa se puede utilizar para la producción de energía como se hace actualmente en muchas plantas de etanol de 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 etanol 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 la reducción de las emisiones de GEI se atribuyen a sub-productos como alimentos para ganado o co-generación de electricidad (IEA, 2004). El resultado más sorprendente muestra un incremento en las emisiones de GEI de 95% utilizando etanol de maíz. Se trata del resultado de un estudio mencionado anteriormente (Searchinger *et al*, 2008), en el que se consideran cambios en el uso de la tierra (principalmente deforestación) por aumento en los precios de los productos agrícolas.

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 los 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 (Farrell *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).

²¹ 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.

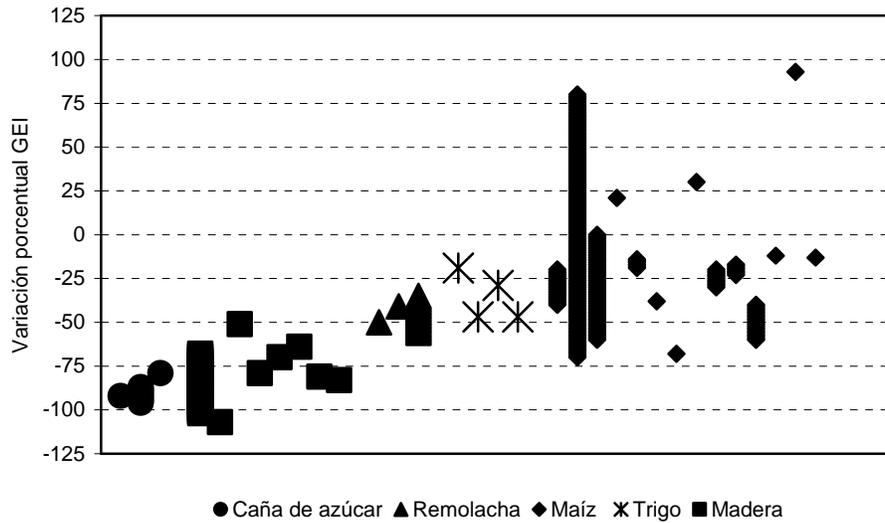
CUADRO 6
CAMBIOS EN LAS EMISIONES DE GEI (EN CICLO DE VIDA) POR DISTANCIA RECORRIDA
SUSTITUYENDO GASOLINA CONVENCIONAL POR ETANOL

Materia prima	Cambio (%)	Fuente y año
Derivado de azúcar		
Caña de azúcar (Brasil)	[-87 a -96]	Macedo y otros – 2004 ^b
Caña de azúcar (Tailandia)	-79	Proyecto MDL – 2004
Remolacha	-50	Comisión Europea – 1994 ^a
Remolacha	-41	GM y otros – 2002 ^a
Remolacha	[-35 a -56]	Amstrong y otros – 2002 ^b
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 y otros – 1999 ^b
Maíz	-38	Levelton – 2000 ^a
Maíz (E85)	-68	GMC/Argonne – 2001
Maíz	+30	Pimentel – 2001 ^a
Maíz (E85)	[-20 a -30]	Brinkman y otros – 2005
Maíz (E85)	[-17 a -23]	Wang – 2005
Maíz (E100)	[-40 a -60]	Kim y Dale – 2005
Maíz (E100)	-12	Hill y otros – 2006
Maíz (con cambio uso suelo)	+93	Searchinger y otros – 2008
Maíz	-13	Farrel y otros –2006
Trigo	-19	Comisión Europea – 1994 ^a
Trigo	-47	ETSU – 1996 ^a
Trigo	-29	Levington –2000*
Trigo	-47	Amstrong y otros –2002 ^b
Derivado de celulosa		
Madera	[-68 a -102]	Wang y otros -1999 ^b
Madera	-107	Wang – 2001 ^a
Madera (álamo)	-51	GM y otros – 2002 ^a
Madera	-79	Viewls – 2005
Madera (E85)	-70	Brinkman y otros – 2005
Madera (E85)	-64	Wang – 2005
Resíduo de madera (E85)	-81	Beer y otros – 2001 ^b
Resíduo de madera	-83	Viewls – 2005
Pasto	-73	Wang – 2001 ^a
Heno	-68	Levelton – 2000 ^a
Resíduo de cultivo (paja)	-82	GM y otros – 2002*
Residuo de cultivo (tallos y hojas)	-61	Levelton – 2000 ^a
Paja de trigo	-57	Levelton – 2000 ^a

^a Extraídos de IEA (2004).

^b Extraídos de (Kojima y Johnson, 2005).

GRÁFICO 5
CAMBIOS EN LAS EMISIONES DE GEI (EN CICLO DE VIDA) POR DISTANCIA RECORRIDA
SUSTITUYENDO GASOLINA CONVENCIONAL POR ETANOL
(En porcentaje)



Fuente: Elaboración propia con base en los datos del cuadro 6.

Nota: Cada conjunto de datos agrupados verticalmente define un intervalo, dentro del cual varían los resultados de un mismo estudio.

En la producción de biodiésel, el sub-producto glicerina puede desplazar producción en otro lugar o proporcionar un combustible adicional en el proceso de producción (la combustión de la glicerina requiere de instalaciones especiales). En el primer caso, las estimaciones de reducción de emisiones se incrementan en un 30% adicional (IEA, 2004) según estudios llevados a cabo en colza. Como era de esperar, el biodiésel elaborado a partir de aceite usado de cocina muestra muy buenos resultados de reducción de emisiones. Lo mismo se observa en los cultivos de *Jatropha*.

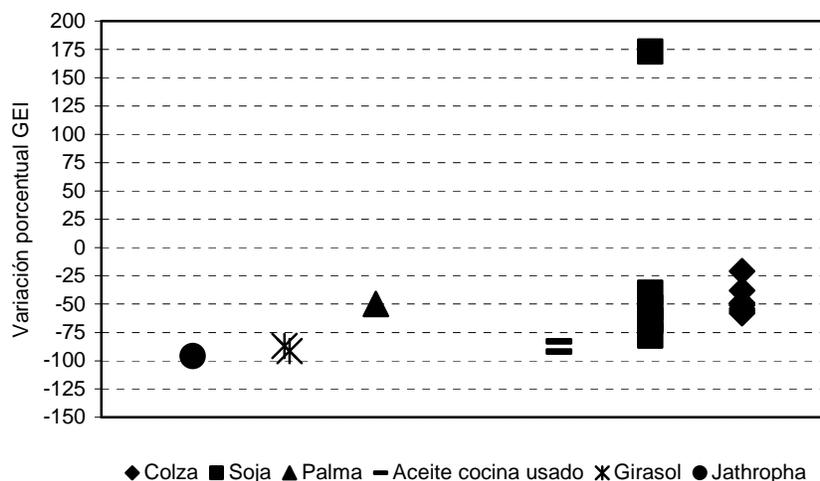
CUADRO 7
CAMBIOS EN LAS EMISIONES DE GEI (EN CICLO DE VIDA) POR DISTANCIA RECORRIDA
SUSTITUYENDO DIÉSEL CONVENCIONAL POR BIODIÉSEL

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

^a Extraídos de IEA (2004)

^b Extraídos de (Kojima y Johnson, 2005)

GRÁFICO 6
CAMBIOS EN LAS EMISIONES DE GEI (EN CICLO DE VIDA) POR DISTANCIA RECORRIDA
SUSTITUYENDO DIÉSEL CONVENCIONAL POR BIODIÉSEL
(En porcentajes)



Fuente: Elaboración propia con base en los datos del cuadro 7.

5.2 Biocombustibles y costos de reducir emisiones de GEI

Una primera reflexión sobre la relación entre biocombustibles y reducción de emisiones de GEI es que la inversión en biocombustibles, en las condiciones actuales, no es la manera más eficiente de reducir emisiones, en comparación con otras alternativas. Por un lado, ya se mencionó antes que el crecimiento del parque automotriz compensa en poco tiempo las reducciones vía fomento de biocombustibles. Además, en comparación con otras medidas de mitigación de emisiones de GEI, los costos actuales excepto en el caso de etanol de Brasil son bastante superiores, aunque se esperan reducciones en el futuro. En el cuadro 8 se presentan algunas de estas estimaciones.

CUADRO 8
COSTOS ACTUALES Y FUTUROS DE REDUCCIÓN DE EMISIONES
DE GEI MEDIANTE BIOCOMBUSTIBLES

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

^a Los costos presentados en euros se han convertidos a US dólares a la tasa de cambio de 1 € = 1,3 US\$.

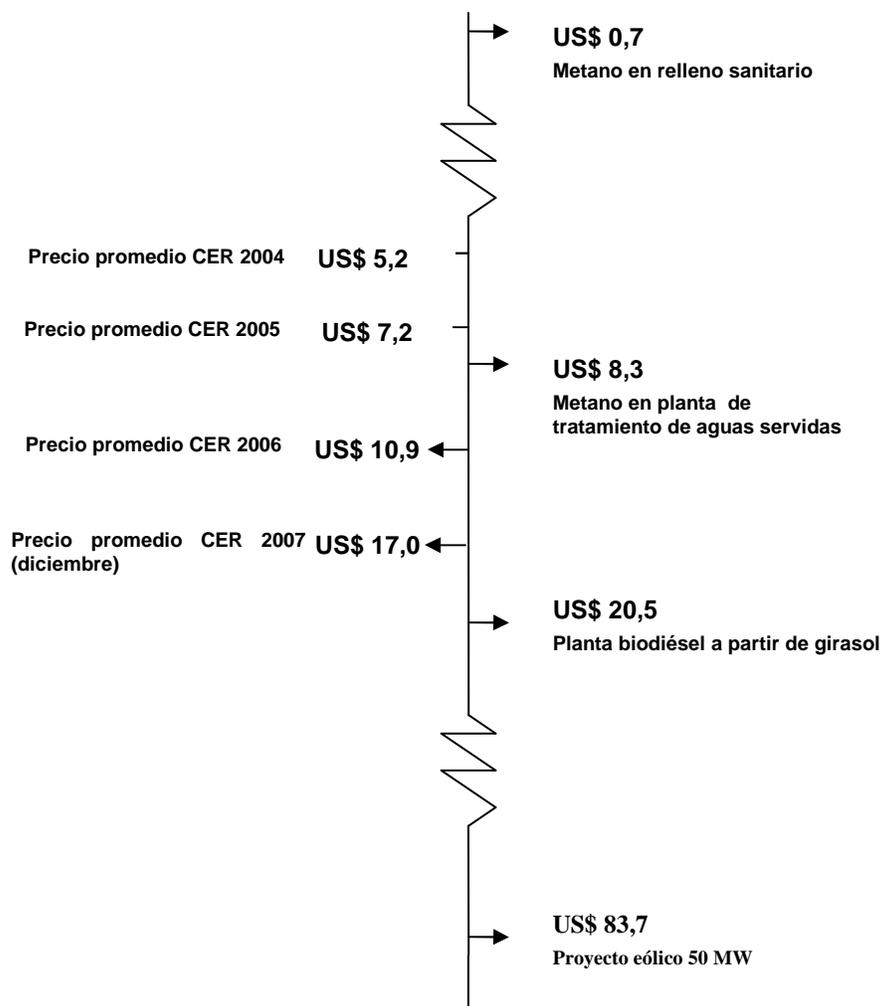
^b Extraído de (Kojima y Johnson, 2005).

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 CO₂eq 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 CO₂e 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 CO₂eq reducida pueden alcanzar US\$83,7.²²

²² 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 CO₂e 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 CO₂; 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 CO₂e 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 7
COSTOS DE INVERSIÓN INICIAL POR REDUCCIÓN DE TONELADA DE CO₂E
 (US\$)



Costos de inversion inicial por tonelada de CO₂e reducida

Fuente: Elaboración propia.

5.3 Los proyectos de biocombustibles en el Mecanismo de Desarrollo Limpio

Hasta el momento han sido presentados cinco proyectos MDL de biocombustibles, cuatro de ellos para la producción de biodiésel (dos en Tailandia con base 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 es de Tailandia a partir de caña de azúcar. De las metodologías asociadas a los proyectos, basadas en 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). La metodología propuesta en la producción de etanol a partir de caña de azúcar (asociada a un proyecto a desarrollarse en Tailandia) alcanzo a ser calificada como B (para reconsideración), si bien posteriormente fue retirada. Todas las demás metodologías se encuentran en fase C (no aprobadas). En el cuadro 9 se presenta información de las reducciones asociadas a los proyectos presentados.

Las principales causas para la no aprobación de los proyectos corresponden a dificultades metodológicas asociadas al cambio de uso del suelo (comprobar que el proyecto no producirá impactos negativos en el uso de la tierra, como deforestación) y a la doble contabilidad (verificar que los consumidores del biocombustible producido no serán países del Anexo I u otros destinatarios que pudieran registrar el consumo como reducción de GEI).

CUADRO 9
PROYECTOS MDL DE BIOCMBUSTIBLES

Proyecto	Producción (kl/año)	Reducción tCO ₂ e/año (% reducción)
Etanol caña azúcar	22 950	40 196 (79%)
Biodiésel aceite cocina	57 274	123 211 (83%)
Biodiésel girasol	17 182	44 217 (87%)
Biodiésel semillas árbol	10 206	26 798 (96%)
Biodiésel palma	103 093	145 044 (50%)

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

De los proyectos presentados, el más conservador al establecer las emisiones y fugas del proyecto es el de producción de biodiésel a partir de aceite de palma en Tailandia.²³ Ello explica que la reducción de emisiones solo alcance el 50%. Todos los proyectos presentan rentabilidad positiva sin ingresos MDL, aunque demasiado baja para atraer inversores.

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 del Anexo I no pueden acogerse al mecanismo de desarrollo limpio, aunque estos países si pueden importar biocombustibles para cumplir sus compromisos.²⁴ 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 para hacer financieramente atractivos a los proyectos. El proyecto de producción de biodiésel 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.

Otro problema se plantea cuando la producción de biocombustible 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.

²³ 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.

²⁴ Ello ha generado un fuerte debate en la Unión Europea respecto a la necesidad de asegurar la sostenibilidad, en todo el ciclo de vida, de los sistemas de producción de biocombustibles, lo que probablemente implique la implementación de un sistema de certificación para las importaciones.

6. Estimaciones del costo de las externalidades (o efectos externos) ambientales

Existen numerosos estudios sobre el desempeño económico y técnico de la producción de biocombustibles. En su mayoría, estos estudios se enfocan en los costos internos de producción, en el balance energético y en último término en el balance de emisiones GEI (externalidad global) y en los cambios en las emisiones de contaminantes atmosféricos locales (externalidad local). En los apartados anteriores se revisaron numerosos estudios sobre cambios en las emisiones de GEI asociados a la introducción de biocombustibles. También se presentaron algunos estudios que muestran reducciones en varios contaminantes atmosféricos (CO, material particulado y azufre particularmente).

La mayor parte de los estudios presentan estos resultados en términos de cambios físicos, pero es difícil encontrar información sobre la valoración de los cambios de estos efectos externos ambientales. Por ejemplo la reducción en la morbilidad por la mejora en la calidad del aire o la contribución a la reducción de emisiones de GEI. En general se argumenta la dificultad para valorar económicamente estas externalidades. Desde la perspectiva de formulación de políticas energéticas y ambientales, la valoración de los efectos externos positivos del uso de biocombustibles podría dar lugar a tratamientos fiscales más favorables que el de los combustibles convencionales. Por otro lado también es necesario considerar los efectos externos negativos asociados al cambio de uso de suelo y a la actividad productiva agrícola.

La mayor parte de los estudios disponibles provienen principalmente de Europa y Estados Unidos. En América Latina las estimaciones existentes sobre biocombustibles son escasas y es cuestionable en qué medida los resultados de estudios europeos o norteamericanos pueden ser extrapolados a escenarios de países menos desarrollados.

6.1 Externalidades asociadas al cambio de uso de suelo y a la agricultura

En América Latina y el Caribe, los esfuerzos por internalizar externalidades corresponden en ocasiones a sistemas de Pagos por Servicios Ambientales, y se enfocan hacia la protección de bosques naturales, el manejo de áreas protegidas y de cuencas. Para evitar los costos externos de la deforestación y de la erosión, especialmente en lo que se refiere a impactos negativos en el régimen hídrico, los usuarios aguas abajo (o una institución pública) paga a las comunidades y/o a los propietarios aguas arriba para conservar los recursos boscosos.

Las cuencas hidrológicas son los sistemas en que se han estudiado más frecuentemente los servicios ambientales asociados al agua. El cuadro 10 presenta algunos ejemplos de este sistema en América Latina y en EE.UU.

CUADRO 10
PAGO POR SERVICIOS AMBIENTALES EN CUENCAS HIDROGRÁFICAS

País	Servicios	Precio servicio (US\$)
Costa Rica	Servicios ecosistema fluvial	40-100 por hectárea
Mexico	Servicios hidrológicos	33 por hectárea
USA	Compensación contaminantes agua	11,5 por Kg. de sedimento

Fuente: FAO (2007).

En caso de que la producción de biocombustibles implique la ocupación y alteración de los ecosistemas que prestan servicios ambientales, una aproximación al valor del daño ambiental es a través de computar el valor por hectárea de estos servicios ecológicos perdidos y multiplicarlo por el número de hectáreas involucradas. Cuando el cambio de uso de suelo implica deforestación y se producen emisiones de GEI (lo usual en caso de quema) también es necesario añadir el daño ambiental causado por estas emisiones. Teniendo en cuenta las dificultades de asignar un valor al daño causado al aumentar la concentración de GEI en la atmósfera, es posible una aproximación a través del costo de mitigación de las emisiones. En el caso de América Latina y el Caribe, región no sujeta a compromisos de reducción de emisiones, una aproximación es la de los precios pagados por las reducciones de emisiones en el marco del Mecanismo de Desarrollo Limpio del Protocolo de Kyoto.

Considerando el contenido en carbono en la parte aérea de un bosque tropical en 120,4 toneladas de carbono (441 toneladas de CO₂), según datos del IPCC y un precio promedio de los certificados de reducción de emisiones de US\$17 (diciembre 2007), el daño ambiental causado por la deforestación (a través de la combustión) en términos de emisiones de GEI alcanza aproximadamente US\$7.500 por hectárea. A ello hay que añadir el daño derivado de la pérdida de otros servicios ambientales (hidrológicos, de conservación de la biodiversidad, de recreación, entre otros) con los valores mencionados arriba.

Los efectos externos ambientales de las actividades agrícolas dependen mucho del cultivo, de las condiciones locales y de los sistemas de producción utilizados. A modo de ejemplo se presenta un estudio realizado en el Reino Unido sobre externalidades del sector agrícola en que se estiman los costos económicos que originan los cultivos en distintos espacios geográficos. Los resultados principales se presentan en el cuadro 11 (Pretty *et. al.*, 2000).

CUADRO 11
EXTERNALIDADES DE LAS ACTIVIDADES AGRÍCOLAS EN EL REINO UNIDO
(US\$ / hectárea)

Externalidades Agricultura Reino Unido	US\$ por hectárea
Agua	33,4
Aire	160,6
Suelo ^a	2,0
Suelo (ex-situ)	0,6
Pesticidas	0,14

Fuente: Pretty *et. Al* (2000), Atkinson, (2004).

^a En sentido estricto, la degradación del suelo *in situ* no se debe considerar externalidad cuando el daño recae en el propietario de la tierra.

6.2 Externalidades asociadas a contaminación atmosférica local

La magnitud de la reducción en la contaminación local asociada al uso de biocombustibles depende de muchos factores. Entre los principales se encuentra la calidad de los combustibles, la edad y tecnología predominante del parque vehicular y el mantenimiento de los vehículos, entre otros.

Para valorar el beneficio ambiental que resulta de sustituir combustibles convencionales por biocombustibles es necesario partir de las estimaciones monetarias del daño ambiental de los contaminantes. Se trata de estudios realizados en ciudades concretas, ya que el daño ambiental depende, entre otros factores, de condiciones atmosféricas y de la estructura etaria de la población. En el siguiente cuadro 12 se muestran algunas estimaciones en varias ciudades del mundo.

CUADRO 12
DAÑOS AMBIENTALES DE COMBUSTIBLES CONVENCIONALES
(US\$/litro de combustible)

Gasolina	Diesel	Lugar del estudio	Fuente y observaciones
0,075	0,32	Sin especificar	(Kojima y Johnson, 2005); referencia a estudios de Lvovsky et al del año 2000
	0,22	Santiago de Chile	Pontificia UC (1999)
0,13	0,47	Bélgica	(Proost, Stef and Mayeres, Inge, 2001) Incluye daño por CO ₂ ;
	0,57	Londres	(Glaister, Graham and Hoskins, 1999)

El primero de los estudios, financiado conjuntamente por PNUD y Banco Mundial apunta a reducciones modestas de contaminantes locales del aire. Partiendo de estudios realizados en 1993 por otros autores para examinar los costos ambientales de varios combustibles en seis ciudades de países en desarrollo, utilizaron la estimación de los costos marginales del diesel de US\$0,32 por litro de diesel y US\$0,075 por litro de gasolina. Posteriormente hacen dos supuestos simplificadores: i) consideran que no todos los combustibles se usan en ciudades densamente pobladas, por lo que reducen a la mitad los daños para llegar a un orden de magnitud de daño a escala nacional; ii) la sustitución de combustibles convencionales por biocombustibles reduce a la mitad los daños por contaminación. Con los dos supuestos anteriores la diferencia máxima de los daños externos entre un litro de diesel y biodiesel sería de US\$0,08, y US\$0,02 por litro entre gasolina y etanol (Kojima y Johnson, 2005).

Otro estudio llevado a cabo por Vollebergh (1997) sobre biocombustibles en Francia estima los costos de cada contaminante del aire estudiado (tabla).

CUADRO 13
IMPACTOS Y COSTOS AMBIENTALES DE BIODIESEL Y ETANOL (POR UNIDAD DE COMBUSTIBLE)
(US\$/litro)

Emisiones	Biodiesel (colza)	Etanol (trigo)	Etanol (remolacha)
SO ₂	0,003	0,000	0,000
NO _x	0,060	0,039	0,039
COV	0,012	0,017	0,017
Total	0,075	0,056	0,056

Fuente: Vollebergh (1997).

Si se comparan estos datos con la valoración de las externalidades ambientales asociadas a combustibles convencionales del primer estudio mencionado anteriormente (US\$0,32 por litro de diesel y US\$0,075 por litro de gasolina), la introducción de biocombustibles representaría un beneficio ambiental de US\$0,245/litro para biodiesel y de US\$0,019/litro en etanol. En el caso del etanol sustituyendo a gasolina el dato prácticamente coincide con el del estudio anterior, mientras que la introducción de biodiesel, de acuerdo a este estudio representaría un beneficio ambiental bastante significativo. En todos los casos anteriores la introducción de biodiesel tiene mayor capacidad para reducir contaminantes locales que la introducción de etanol.

6.3 Externalidades asociadas a contaminación global (emisiones de gases de efecto invernadero)

Aunque la mayor parte de los proyectos de biocombustibles no han sido aprobados por la Junta Ejecutiva del MDL, en este apartado se hace un ejercicio hipotético de los ingresos asociados a la reducción de la externalidad global. Utilizando de nuevo el costo de mitigación de las emisiones como aproximación al daño ambiental de las emisiones de GEI, y concretamente los precios pagados por las reducciones de emisiones en el marco del Mecanismo de Desarrollo Limpio del

Protocolo de Kyoto, en el cuadro 14 se presenta información sobre los proyectos presentados y estimaciones de los hipotéticos ingresos para distintos niveles de precios.²⁵

CUADRO 14
PROPUESTAS DE PROYECTOS MDL DE BIOCMBUSTIBLES

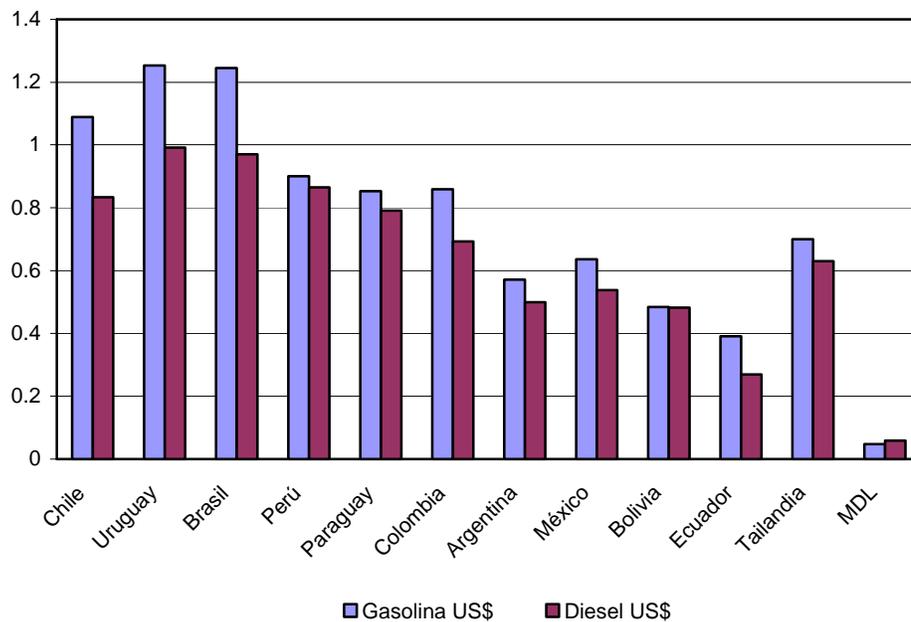
Proyecto	Reducción tCO ₂ e/año (% reducción)	Estimación de Ingresos anuales US\$			Ingresos por litro Centavos dólar/litro		
		US\$10	US\$17	US\$27	US\$10	US\$17	US\$27
Precio tonelada CO ₂							
Etanol caña azúcar	40 196 (79%)	401 960	683 332	1 085 292	1,75	2,98	4,73
Biodiésel aceite cocina	123 211 (83%)	1 232 110	2 094 587	3 326 697	2,15	3,66	5,81
Biodiésel girasol	44 217 (87%)	44 170	751 689	1 193 859	2,57	4,37	6,95
Biodiésel semillas árbol	26 798 (96%)	267 980	455 566	723 546	2,63	4,46	7,09
Biodiésel palma	145 044 (50%)	1 450 440	2 465 748	3 916 188	1,41	2,39	3,80

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

Respecto a los hipotéticos ingresos provenientes de la venta de reducciones de carbono, en el gráfico 8 se presentan los precios de la gasolina regular y diésel 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\$27 tCO₂eq) y que corresponde a 4,73 centavos/litro en el caso de etanol y a 5,91 centavos/litro en el caso del biodiésel (promedio de los cuatro proyectos). Se ha incluido 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 (Kojima y Johnson, 2005), en el caso de los países con precios de combustibles fósiles más bajos como Ecuador, el ingreso MDL representa un porcentaje que va desde 8% hasta 21% (de acuerdo a los supuestos de precio de la tonelada de carbono reducida) en el caso del diésel y del 4% al 12% en el caso de la gasolina regular. De acuerdo a la información del proyecto MDL de Tailandia, los ingresos por esta vía convierten en rentables a las inversiones.

²⁵ Se ha tomado US\$27 por ser el precio máximo del que se tiene conocimiento en 2007 (Carbonpositive, 2007).

GRÁFICO 8
PRECIOS DE LA GASOLINA REGULAR Y DIÉSEL EN PAÍSES DE AMÉRICA LATINA Y EN TAILANDIA
(PRECIO DE VENTA AL CONSUMIDOR)
(US\$/litro – año 2005^a)



Fuente: DRNI (2008).

^a Octubre 2006 en el caso de Tailandia.

7. Conclusiones

A lo largo del documento se han presentado los resultados de diversos estudios que tratan los impactos ambientales de los biocombustibles. Es importante recalcar que el documento se centra en los impactos ambientales, por lo que no aborda otros temas que se encuentran en el centro de los debates actuales como es el posible impacto de los biocombustible en el aumento del precio de los productos agrícolas. Una primera conclusión de carácter general desde el punto de vista ambiental es que los beneficios ambientales asociados al uso de los biocombustibles pueden ser significativos, siempre que el principal riesgo ambiental -la ocupación de espacios naturales- se controle. Hay experiencias, como la brasileña, que muestran un desarrollo de los biocombustibles cuyo desempeño ambiental ha ido mejorando con el tiempo y cuyas áreas de cultivo no amenazan espacios naturales. Otras experiencias, principalmente en Asia, muestran la destrucción de espacios naturales para expandir los cultivos. La escalada de los precios internacionales de algunos productos agrícolas básicos para la alimentación humana y animal, como los cereales, constituye un enorme incentivo para la expansión de los cultivos a expensas de áreas naturales, además de los problemas sociales que acarrea. Las principales causas que explicarían esta escalada de precios de productos alimentarios, que son objeto de fuerte controversia, serían el aumento de la demanda de los países asiáticos (China e India), la especulación financiera en los mercados de materias primas, el aumento del precio del petróleo (que incrementa los costos de producción agrícola) y el aumento de la producción de los biocombustibles. Con relación a los biocombustibles hay una fuerte discusión respecto a la magnitud de su contribución al aumento de los precios de los alimentos. Es importante distinguir, en esta discusión, la materia prima origen del biocombustible ya que el impacto potencial en el

aumento del precio de los alimentos es mucho mayor en la producción de etanol a partir de maíz que en la producción a partir de caña de azúcar.

En el ámbito de la contaminación del aire de las ciudades, la contribución a la mejora de la calidad del aire por el uso de biocombustibles es poco significativa cuanto mejor sea la calidad del combustible convencional (especialmente el contenido en azufre) y menor 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 ha habido avances en estas áreas. Por otro lado, las altas tasas de crecimiento del parque vehicular contrarrestan 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 solo puede considerarse como una medida de carácter complementario.

Respecto a la contribución de los biocombustibles a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, los estudios de ciclo de vida muestran en general reducciones de mayor o menor cuantía en comparación con los combustibles fósiles. No obstante, recientes estudios que incorporan el cambio de uso de suelo en los análisis de ciclo de vida ofrecen resultados muy negativos de incremento de las emisiones de GEI. En Europa es considerada una medida relevante para el cumplimiento de los compromisos establecidos en el Protocolo de Kyoto, si bien se encuentra entre las de menor costo-efectividad de entre todas las opciones posibles para reducir emisiones de GEI. La promoción del uso de los biocombustibles tampoco ha tenido un papel relevante en el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) del Protocolo de Kyoto, que sólo recientemente ha visto aprobada una de las metodologías propuestas. Entre las principales causas para la no aprobación de las metodologías propuestas se encuentran precisamente las dificultades metodológicas asociadas al cambio de uso del suelo (comprobar que el proyecto no producirá impactos negativos en el uso de la tierra, como deforestación). Incluso superando este problema, lo que no parece probable, los eventuales ingresos por las venta de certificados de reducción de emisiones en el marco del MDL tampoco tendrían capacidad para cambiar de manera significativa el precio de los biocombustibles.

La mayor parte de los impactos ambientales negativos se presentan en la fase de producción agrícola, asociados 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 la ocupación de áreas naturales para el cultivo de las materias primas de los biocombustibles, ya sea de manera directa, o bien como efecto de la sustitución y del desplazamiento de otros cultivos. Esta situación puede generar la pérdida de áreas naturales, que juegan un papel crucial en la provisión de bienes y servicios ambientales y contribuir al aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero por la vía del cambio del uso del suelo.

Tanto los beneficios como los riesgos ambientales cambiarán con el desarrollo comercial de biocombustibles obtenidos a partir de celulosa, que además de tener mayor potencial de reducción de gases de efecto invernadero, también presentan algunas ventajas ambientales potenciales como la posibilidad de recuperar áreas degradadas a través de la forestación, la generación de menores impactos ambientales que los cultivos agrícolas y la no competencia por cultivos alimenticios.

Bibliografía

- Ahmed, I., Decker, J. & Morris, D. (1994). "How much energy does it take to make a gallon of soydiesel?" Institute for Local Self-Reliance. Minneapolis, Minnesota. <http://www.carbohydrateconomy.org>.
- Atkinson G., Baldock D., Bowyer C., Newcombe J., Ozdemiroglu E., Pearce D. y Provins A. (2004). "EFTEC: Framework for Environmental Accounts for Agriculture".
- Bakker, S.J.A. (2006), "CDM and biofuels, Can the CDM assist biofuels production and deployment?", en Energy Research Centre of Netherlands, octubre 2006.
- Brady, N. y Weil, R. (1999). *The Nature and Properties of Soils*. 13th Ed. Macmillan Publishing. New York. 881p.
- Brinkman, N., Wang, M., Weber, T. & Darlington, T. (2005) "Well-to-Wheels Analysis of Advanced Fuel Vehicle Systems: A North American Study of Energy Use, Greenhouse Gas Emissions, and Criteria Pollutant Emissions" (Argonne Natl. Lab., Argonne, IL).
- Carbonpositive, 2007, www.carbonpositive.net, diciembre 2007.
- CDM – Executive Board, (2004), Project Design Document, PDD de los siguientes proyectos:
- Biodiesel production and switching fossil fuels from petro-diesel to biodiesel in transport sector - 30 TPD Biodiesel CDM Project in Andhra Pradesh, India;
 - Palm Methyl Ester – Biodiesel Fuel (PME-BDF) production and use for transportation in Thailand;
 - BIOLUX Benji Biodiesel Beijing Project;
 - Khon Kaen fuel ethanol project;
 - Sunflower Methyl-Ester Biodiesel Project in Thailand.
- CEPAL (2006) "Anuario Estadístico de América Latina y el Caribe 2006".

- CEPAL (2006), “Energía para el desarrollo sostenible, desarrollo industrial, contaminación del aire/ atmósfera y cambio climático: Resultados, tendencias y desafíos para América Latina y el Caribe” documento elaborado por el consultor Jorge Cáceres y presentado Decimocuarta Sesión de la Comisión sobre el Desarrollo Sostenible (CDS 14), Foro sobre la Aplicación Regional de Desarrollo Sostenible Santiago, Chile, 19 – 20 de enero de 2006.
- CETESB (2006), Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, “Relatório de Qualidade do Ar no Estado de São Paulo 2005” São Paulo, 2006.
- CONAMA – Región Metropolitana (2003), “Evolución de la calidad del aire en Santiago 1997-2003”, Área Descontaminación Atmosférica Conama Región Metropolitana de Santiago. Diciembre 2003.
- Chapagain, A. y Hoekstra, A. (2004) “Water footprints of nations”, Value of Water Research Report Series No. 16, UNESCO-IHE, Delft, the Netherlands.
- Coelho, S. (2006), “A Questão do Meio Ambiente na Cadeia Produtiva dos Biocombustíveis no Brasil”, Centro Nacional de Referência em Biomassa – USP.
Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, presentación realizada en el “Seminário Internacional de Biocombustíveis”, Brasília, 23-25 abril de 2006.
- Comisión Europea (2000) “Libro Verde: Hacia una estrategia europea de seguridad del abastecimiento energético”.
- Delucchi, M.A. (1991). “Emissions of Greenhouse Gases from the Use of Transportation Fuels and Electricity”, Center for Transportation Research, Argonne National Laboratory.
- _____(1996), “Emissions of Criteria Pollutants, Toxic Air Pollutants, and Greenhouse Gases, from the Use of Alternative Transportation Modes and Fuels”, Institute of Transportation Studies, University of California, Davis, enero 1996.
- Drechsel, P.; Giordano, M.; Gyiele, L. (2004). “Valuing Nutrients in Soil and Water: Concepts and Techniques with Examples from IWMI Studies in the Developing World”, International Water Management Institute, 32 pp.
- DRNI (2008) “Precio de los combustibles al consumidor” División de Recursos Naturales e Infraestructura. [www.eclac.org/drni].
- EPA (2002) “A Comprehensive Analysis of Biodiesel Impacts on Exhaust Emissions”.
- _____(2002) “Ethanol Plant Clean Air Act Enforcement Initiative”, U.S. Environmental Protection Agency, EPA. [<http://www.epa.gov/compliance/resources/cases/civil/caa/ethanol/>].
- FAO (2007) “The state of food and agriculture: Paying farmers for environmental services”, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- Fargione J, J. Hill, D. Tilman, S. Polasky and P. Hawthorne (2008) “Land Clearing and the Biofuel Carbon Debt” Science vol. 319, 29 febrero 2008.
- Farrell A., R. Plevin, B. Turner, A. Jones, M. O’Hare, D. Kammen (2006), “Ethanol Can Contribute to Energy and Environmental Goals” Science vol. 311, 27 enero 2006.
- General Motors Corporation (GMC)/Argonne National Laboratory. 2001. “Well-to-Wheel Energy Use and Greenhouse Gas Emissions of Advanced Fuel/Vehicle Systems-North American Analysis”. Argonne National Laboratory.
- Glaister, S. Graham, D. y Hoskins, E. (1999) “Transport and Health in London”, NHS London.
- Gobierno del Distrito Federal de México (2005), “Inventario de Emisiones de la Zona Metropolitana del Valle de México”, Secretaría del medio Ambiente, <http://www.sma.df.gob.mx>
- Guerrero R, (2001). Fundamentos técnicos para la fertilización de cultivos. En Silva, M.F., ed: Fertilidad de Suelos, diagnóstico y Control. 2ª. Ed. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. pp: 247-137.
- Hamelinck, C.N., (2004), “Outlook for advanced biofuels”, en Copernicus Institute, Department of Science, Technology and Society, Utrecht University.
- Harrington W. y V. McConnell (2003), “Motor Vehicles and the Environment”, Resources for the Future Report (RFF).
- Hill, J., E. Nelson, D. Tilman, S. Polasky y D. Tiffany (2006), “Environmental, economic and energetic costs and benefits of biodiesel and ethanol biofuels” Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA, PNAS, vol. 103, no. 30: | 11207-11210.
- Horta, L. (2004) “Perspectivas de un programa de biocombustibles en América Central”, CEPAL, México, LC/MEX/L.606.
- IEA (2004). Biofuels for transport: An International perspective, OECD, Paris.

- IPCC (2000) "Uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura", Robert T. Watson, Ian R. Noble, Bert Bolin, N. H. Ravindranath, David J. Verardo y David J. Dokken (Eds.), Informe Especial del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.
- Kim & Dale (2005), "Life cycle assessment of various cropping systems utilized for producing biofuels: bioethanol & biodiesel" en Biommas and Bioenergy.
- Kojima, M. y Johnson, T. (2005). "Potential for Biofuels for Transport in Developing Countries", Energy Sector Management Assistance Programme (ESMAP).
- Macedo I. (2005) "Aspectos da sustentabilidade da produção de cana de açúcar, açúcar e etanol no Brasil", presentación realizada en el seminario "Etanol Combustível: Balanço e Perspectivas", celebrado en UNICAMP Campinas, 16-17 Novembro 2005.
- Manuel-Navarrete D., G. Gallopín, G. Blanco, M. Díaz-Zorita, M. Ferraro, D. Herzer, H. Laterra, P. Morello, J. Murmis, M. Pengue, W. Piñeiro, M. Podestá, G. Satorre, E. Torrent, M. Torres, F. Viglizzo, E. Caputo, M. y Celis, A. (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", CEPAL, Serie Medio ambiente y desarrollo, N°118.
- Marland G. and A.F. Turhollow. (1991), "CO₂ Emissions from the Production and Combustion of Fuel Ethanol from Corn Energy" - the International Journal 16(11/12):1307-1316.
- Morgan, R. (1995) "Soil Erosion and Conservation", Longman, London.
- Morton, D. De Fries, R. Shimabukuro, Y. Anderson, L. Arai, E. del Bon Espirito-Santo, F. Freitas, R. y Morisette, J. (2006) "Cropland expansion changes deforestation dynamics in the southern Brazilian Amazon", Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA, PNAS, vol. 103, no. 39: | 14637-14641.
- OCDE (2005) "Agricultural Market Impacts of Future Growth in the Production of Biofuels", Working Party on Agricultural Policies and Markets. 55p.
- O’Ryan R. y Larraguibel L. (2000), "Contaminación del aire en Santiago: ¿qué es, qué se ha hecho, qué falta?" en Revista Perspectivas (Departamento de Ingeniería Industrial, Universidad de Chile), vol. 4, N° 1, 2000 (pp. 153-191).
- Pontificia Universidad Católica de Chile (1999), "Estudio de Seguimiento del Plan Piloto de Utilización de Combustibles Gaseosos en Buses de la Región Metropolitana", Vol. 2: Evaluación Económica; Escuela de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Industrial y de Sistemas, mayo 1999.
- Pretty, J.N., Brett, C., Gee D., Hine R.E., Mason C.F., Morison J.I.L., Raven H., Rayment M.D. y van der Bijl G. (2000) "An assessment of the total external costs of UK agriculture", Agricultural Systems 65, 113-136.
- Proost, S. y Mayeres, I. (2001) "Should Diesel Cars in Europe Be Discouraged?", FEEM Working Paper No. 1.2001. [<http://ssrn.com/abstract=268488> or DOI: 10.2139/ssrn.268488]
- Rowe R., Street N., Taylor G. "Identifying potential environmental impacts of large-scale deployment of dedicated bioenergy crops in the UK". Renew Sustain Energy Rev (2007), doi:10.1016/j.rser.2007.07.008.
- Searchinger, T., R. Heimlich, R.A. Houghton, F. Dong, A. Elobeid, J. Fabiosa, S. Tokgoz, D. Hayes, and T.H. Yu (2008) "Use of U.S. Croplands for Biofuels Increases Greenhouse Gases through Emissions from Land Use Change", Science vol. 319, 29 February 2008.
- Secretaría Distrital de Ambiente (DAMA), (2002), "Fuentes de contaminación: Fuentes móviles", Observatorio ambiental de Bogotá, <http://observatorio.dama.gov.co>
- 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. No. SR-580-24089.
- Stern, N. (2006). Stern Review on the Economics of Climate Change. London, UK Cabinet Office, HM Treasury Views, (2005), "Shift Gear to Biofuels", Resultados y recomendaciones del proyecto VIEWLS, "Clear Views on Clean Fuels", financiado por la Comisión Europea, noviembre 2005.
- Vollebergh, H. (1997) "Environmental externalities and social optimality in biomass markets: waste-to-energy in The Netherlands and biofuels in France", Energy Policy, 25 (6): 605-621.
- Wakker, E. (2006), "The Kalimantan Border Oil-Palm Mega Project", AIDEnvironment, Commissioned by Milieudefensie – Friends of the Earth Netherlands and the Swedish Society for Nature Conservation (SSNC)
- Wang, M. (2005), "The Debate on Energy and Green house Gas Emissions Impact of Fuel Ethanol". Renewable Fuels Association.
- Williams, T. (2004) "Drunk on Ethanol", Audubon, Aug, 2004.[<http://magazine.audubon.org/incite/incite0408.html>].



NACIONES UNIDAS

Serie

C E P A L

medio ambiente y desarrollo

Números publicados

Un listado completo así como los archivos pdf están disponibles en

www.cepal.org/publicaciones

137. Consideraciones ambientales en torno a los biocombustibles líquidos. José Javier Gómez, Joseluis Samaniego, Mariana Antonisse (LC/L.2915-P), N° de venta: S.08.II.G.49, julio de 2008. Email: jose.gomez@cepal.org
136. Impactos económicos y sociales de *shocks* energéticos en Chile: un análisis de equilibrio general. Raúl O’Ryan, Carlos de Miguel, Mauricio Pereira y Camilo Lagos (LC/L.2901-P), N° de venta: S.08.II.G.37, mayo de 2008. Email: carlos.demiguel@cepal.org
135. Externalidades en proyectos urbanos: saneamiento de aguas servidas y del ferrocarril metropolitano en Santiago de Chile (LC/L. 2807-P), N° de venta: S.07.II.G.140 (US\$ 10.00), diciembre 2007. Email: ricardo.jordan@cepal.org.
134. Financiamiento municipal y combate contra la pobreza: ejes de análisis. Oscar Cetrángolo (LC/L.2796-P), N° de venta: S.07.II.G.130 (US\$ 10.00), noviembre 2007. Email: raquel.szalachman@cepal.org
133. Primera evaluación del programa regional de vivienda social y asentamientos humanos para América Latina y el Caribe. Daniela Simioni y Raquel Szalachman (LC/L.2743-P), N° de venta: S.07.II.G.79 (US\$ 10.00), marzo 2007. Email: raquel.szalachman@cepal.org
132. Status and potential of commercial bioprospecting activities in Latin America and the Caribbean. Fernando Quezada (LC/L.2742-P), Sales No.: E.07.II.G.78 (US\$ 10.00), February 2007. E-mail: jose.gomez@cepal.org
131. Nicaragua: el papel de los municipios como instrumento para el combate de la pobreza. Juan C. Gómez Sabaini y Maximiliano Geffner (LC/L.2644-P), N° de venta: S.06.II.G.170 (US\$ 10.00), noviembre 2006. E-mail: raquel.szalachman@cepal.org
130. Pobreza y precariedad urbana en México: un enfoque municipal. Alberto Díaz Cayeros (LC/L.2639-P), N° de venta: S.06.II.G.166 (US\$ 10.00), noviembre 2006. E-mail: raquel.szalachman@cepal.org
129. Guatemala: fortalecimiento de las finanzas municipales para el combate a la pobreza. Juan C. Gómez Sabaini y Maximiliano Geffner (LC/L.2634-P), N° de venta: S.06.II.G.160 (US\$ 10.00), noviembre 2006. E-mail: raquel.szalachman@cepal.org
128. Honduras: el papel de los municipios en el combate a la pobreza. Juan C. Gómez Sabaini y Maximiliano Geffner (LC/L. 2632-P), N° de venta: S.06.II.G.158 (US\$ 10.00), noviembre 2006. E-mail: raquel.szalachman@cepal.org
127. Previendo y regularizando la informalidad del suelo en América Latina. Marco Legal. Nora Clichevsky (LC/L.2592-P), N° de venta: S.06.II.G.121 (US\$ 10.00), agosto 2006. E-mail: daniela.simioni@cepal.org
126. Estilos de desarrollo y medio ambiente en América Latina, un cuarto de siglo después. Nicolo Gligo V (LC/L.2533-P), N° de venta: S.06.II.G.60 (US\$ 10.00), mayo 2006. E-mail: joseluis.samaniego@cepal.org
125. Agriculturalization as a syndrome: a comparative study of agriculture in Argentina and Australia. Sarah Young (LC/L.2531-P), Sales N°: E.06.II.G.58 (US\$ 10.00), May, 2006. E-mail: gilberto.gallop@cepal.org
124. Previendo la informalidad urbana en América Latina y el Caribe. Nora Clichevsky (LC/L.2472-P), N° de venta: S.05.II.G.218 (US\$ 10.00), diciembre 2005. E-mail: daniela.simioni@cepal.org
123. Financiamiento municipal y reducción de la pobreza en Argentina. Javier Curcio. (LC/L.2467-P), N° de venta: S.05.II.G.214 (US\$ 10.00), diciembre 2005. E-mail: daniela.simioni@cepal.org
122. Espacios públicos urbanos, pobreza y construcción social. Olga Segovia, Ricardo Jordán (LC/L.2466-P), N° de venta: S.05.II.G.213 (US\$ 10.00), diciembre 2005. E-mail: daniela.simioni@cepal.org
121. El sistema municipal y superación de la pobreza y precariedad urbana en Uruguay. David Glejberman (LC/L.2465-P), N° de venta: S.05.II.G.212 (US\$ 10.00), diciembre 2005. E-mail: daniela.simioni@cepal.org
120. El sistema municipal y superación de la pobreza y precariedad urbana en el Perú. Alberto Flores (LC/L.2464-P), N° de venta: S.05.II.G.211 (US\$ 10.00), diciembre 2005. E-mail: daniela.simioni@cepal.org
119. Bienes y servicios ambientales en México: caracterización preliminar y sinergias entre protección ambiental, desarrollo del mercado y estrategia comercial. Carlos Muñoz Villarreal (LC/L.2463-P), N° de venta: S.05.II.G.210 (US\$ 10.00), diciembre 2005. E-mail: jose.leal@cepal.org

118. 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. David Manuel-Navarrete, Gilberto Gallopín y otros (LC/L.2446-P), N° de venta: S.05.II.G.193 (US\$ 10.00), diciembre 2005. E-mail: gilberto.gallopín@cepal.org
117. La otra agenda urbana. Tareas, experiencias y programas para aliviar la pobreza y precariedad en las ciudades de América Latina y el Caribe. Joan Mac Donald (LC/L.2445-P), N° de venta: S.05.II.G.192 (US\$ 10.00), noviembre 2005. E-mail: daniela.simioni@cepal.org
116. Coordinación de políticas públicas para el desarrollo sostenible del sector turismo en el Perú. Jorge Mario Chávez Salas (LC/L.2429-P), N° de venta: S.05.II.G.176 (US\$ 10.00), noviembre 2005. E-mail: jose.gomez@cepal.org
115. Fallas de coordinación: desafíos de política para el federalismo fiscal-ambiental argentino Ernesto Rezk (LC/L.2428-P), N° de venta: S.05.II.G.175 (US\$ 10.00), noviembre 2005. E-mail: jacquatella@cepal.org
114. El financiamiento del desarrollo sostenible en el Ecuador. Nelson Gutiérrez Endara, Sandra Jiménez Noboa (LC/L.2396-P), N° de venta: S.05.II.G.139 (US\$ 10.00), octubre 2005. E-mail: carlos.demiguel@cepal.org
113. Revisión crítica de la experiencia chilena en materia de crédito y microcrédito aplicado a iniciativas de la microempresa y pymes para lograr mejoras en la gestión ambiental. Enrique Román (LC/L.2384-P), N° de venta: S.05.II.G.128 (US\$ 10.00), octubre 2005. E-mail: jose.leal@cepal.org
112. Políticas e instrumentos para mejorar la gestión ambiental de la pyme en Chile y promover su oferta de bienes y servicios ambientales. Marcelo Sepúlveda (LC/L. 2382-P), N° de venta: S.05.II.G.126 (US\$ 10.00), octubre 2005. E-mail: jose.leal@cepal.org
111. El sistema municipal y la superación de la pobreza y precariedad urbana en Chile. Patricia Cortés (LC/L.2381-P), N° de venta: S.05.II.G.125 (US\$ 10.00), octubre 2005. E-mail: daniela.simioni@cepal.org
110. El sistema municipal y la superación de la pobreza en Colombia. Alberto Maldonado (LC/L.2380-P), N° de venta: S.05.II.G.124 (US\$ 10.00), octubre 2005. E-mail: daniela.simioni@cepal.org
109. O sistema municipal e o combate à pobreza no Brasil. Beatriz Azeredo, Thereza Lobo (LC/L.2379-P), N° de venta: P.05.II.G.123 (US\$ 10.00), octubre 2005. E-mail: daniela.simioni@cepal.org
108. Oportunidades para a coordenação de políticas agrícolas e ambientais no Brasil. Aécio S. Cunha (LC/L.2358-P), N° de venta: P.05.II.G.96 (US\$ 10.00), octubre 2005. E-mail: jose.gomez@cepal.org
107. Política fiscal para la gestión ambiental en Colombia. Mary Gómez Torres (LC/L.2357-P), N° de venta: S.05.II.G.95 (US\$ 10.00), octubre 2005. E-mail: jose.gomez@cepal.org
106. Gasto y desempeño ambiental del sector privado en Colombia. Carlos Manuel Herrera Santos (LC/L.2356-P), N° de venta: S.05.II.G.94 (US\$ 10.00), septiembre 2005. E-mail: carlos.demiguel@cepal.org
105. Ecoeficiencia: marco de análisis, indicadores y experiencias. José Leal (LC/L.2352-P), N° de venta: S.05.II.G.91 (US\$ 10.00), septiembre 2005. E-mail: jose.leal@cepal.org
104. Panorama do comportamento ambiental do setor empresarial no Brasil. Karen Pires de Oliveira (LC/L.2351-P), N° de venta: P.05.II.G.90 (US\$ 10.00), agosto 2005. E-mail: carlos.demiguel@cepal.org
103. El gasto medio ambiental en Perú: exploración inicial. Javier Abugattás (LC/L.2349-P), N° de venta: S.05.II.G.88 (US\$ 10.00), agosto 2005. E-mail: carlos.demiguel@cepal.org
102. Coordinación entre las políticas fiscal y ambiental en el Perú. Manuel Glave Tesino (LC/L.2327-P), N° de venta: S.05.II.G.72 (US\$ 10.00), junio 2005. E-mail: jose.gomez@cepal.org
101. Evaluación de la aplicación de los beneficios tributarios para la gestión e inversión ambiental en Colombia. Diana Ruiz Benavides, Gerardo Viña Vizcaíno, Juan David Barbosa Mariño y Alvaro Prada Lemus. (LC/L.2306-P), N° de venta: S.05.II.G.55 (US\$ 10.00), abril 2005. E-mail: jose.gomez@cepal.org
100. Coordinación de las políticas fiscales y ambientales en la República Dominicana. Magdalena Lizardo y Rolando M. Guzmán (LC/L. 2303-P), N° de venta: S.05.II.G.51 (US\$ 10.00), marzo 2005. E-mail: jose.gomez@cepal.org

- El lector interesado en adquirir números anteriores de esta serie puede solicitarlos dirigiendo su correspondencia a la Unidad de Distribución, CEPAL, Casilla 179-D, Santiago, Chile, Fax (562) 210 2069, correo electrónico: publications@cepal.org.

Nombre:

Actividad:

Dirección:

Código postal, ciudad, país:

Tel.: Fax: E.mail: