

# ELEMENTOS DE SUSTENTABILIDAD EN LA PRODUCCIÓN DE BIOCOMBUSTIBLES: LA CERTIFICACIÓN COMO INSTRUMENTO DE POLÍTICA AMBIENTAL<sup>1</sup>

**Dirección General de Investigación en Política y Economía Ambiental  
Dirección de Economía Ambiental  
Instituto Nacional de Ecología**

Dra. Ina Salas Casasola<sup>2</sup>  
M en C. Iván Islas Cortés<sup>3</sup>  
Dr. Carlos Muñoz Piña<sup>4</sup>

## RESUMEN

Los biocombustibles han sido promocionados como energías renovables y sustentables debido a la reducción potencial de emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) en comparación con los combustibles fósiles. Sin embargo, en la actualidad diversos estudios muestran que su producción puede tener impactos ambientales negativos.

En México, como en otros países de América Latina, la promoción de biocombustibles es incipiente y se ha plasmado en una ley cuyo objetivo principal es apoyar los ingresos rurales pero que también incluye el establecimiento de criterios ambientales. En este trabajo se discuten los diversos criterios e instrumentos de política que pueden ayudar a reducir las externalidades negativas de los biocombustibles. Asimismo, se presenta una metodología para analizar la sustentabilidad de los biocombustibles en términos de balance neto de CO<sub>2</sub> y el costo económico de su mitigación.

A través de una calculadora del balance de dióxido de carbono se han simulado los rendimientos de diversas formas de producción agrícola para analizar el desempeño energético y ambiental de los biocombustibles. Los resultados ponen en evidencia las fuertes divergencias en términos de resultados ambientales dentro de la producción de los biocombustibles, por lo que se propone un sistema de certificación (eco-etiquetado) que permita distinguir aquellos con un mejor rendimiento ambiental de los que generan elevados costos sociales.

**Palabras clave:** biocombustibles, certificación, costos ambientales, desempeño ambiental, instrumento de política pública.

---

<sup>1</sup> Los autores agradecen a Marie Kreipe, Enrique Sanjurjo, Rodolfo Quintero, Alejandra Elizondo y Adriana Caballero quienes formaron parte de la investigación que se desarrolló en la Dirección de Economía Ambiental sobre la sustentabilidad en la producción de los biocombustibles.

<sup>2</sup> Dirección General de Investigación en Política y Economía Ambiental, Instituto Nacional de Ecología, México. Teléfono: + 52 55 54246400 ext. 13137. Fax: + 52 55 54245408. Correo electrónico: [isalas@ine.gob.mx](mailto:isalas@ine.gob.mx)

<sup>3</sup> Director de Economía Ambiental, Instituto Nacional de Ecología, México. Teléfono: + 52 55 54246409. Fax: + 52 55 54245408. Correo: [ivislas@ine.gob.mx](mailto:ivislas@ine.gob.mx)

<sup>4</sup> Director General de Investigación en Política y Economía Ambiental, Instituto Nacional de Ecología, México. Teléfono: + 52 55 54246411. Fax: + 52 55 54245408. Correo [carmunoz@ine.gob.mx](mailto:carmunoz@ine.gob.mx)

## **ABSTRACT**

Biofuels have been promoted as a renewable and sustainable energy due to the potential reduction of carbon dioxide emissions (CO<sub>2</sub>) in comparison with fossil fuels. Nevertheless, recent studies show that its production could have negative environmental impacts.

The official support for biofuels production in Mexico, as well as in other Latin American countries, is recent and it has been encourage in a law whose primary target is to support rural incomes along with the establishment of environmental criteria. This work reviews the different environmental criteria and policy instruments that should help to reduce the negative externalities of biofuels. It also presents a methodology to analyze the sustainability of biofuels in terms of net CO<sub>2</sub> balance and the economic cost of its mitigation.

This paper undertakes an analysis of the environmental performance of biofuels production using a carbon dioxide balance model that assumes different agricultural and production technologies. The results show the strong divergences in terms of environmental results within the production of the biofuels, and give us a reason to propose a certification system (ecolabel) that allows distinguishing those with a better environmental performance from the ones that generate social costs.

**Key Words:** Biofuels, certification, environmental costs, environmental performance, public policy instrument.

## INTRODUCCIÓN

Los biocombustibles se han presentado como una fuente de energía que pueden aumentar la seguridad del aprovisionamiento, reducir las emisiones de los vehículos y constituirse en una nueva fuente de ingresos para los productores agrícolas. (OECD, 2007 p:4). Es así que el fomento de los biocombustibles se ha convertido en una de las más importantes respuestas de políticas ante la dependencia de las fuentes fósiles y como alternativa de mitigación al cambio climático.

Desde hace dos años en México se ha venido impulsando la producción de bioenergéticos a través de iniciativas legales que concedan el marco legal adecuado para promover su uso y producción sustentable. Es así que a inicios del 2008 se promulgó la Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos a través de la cual se presentan los lineamientos para fomentar los biocombustibles y se define la participación de diferentes Secretarías (Secretaría de Energía, de Agricultura y de Medio Ambiente).

Sin embargo, las experiencias de otros países muestran que los biocombustibles no siempre reducen las emisiones netas de CO<sub>2</sub> y tampoco pueden ser empleados como un sustituto perfecto de la gasolina. Por el contrario, diferentes estudios realizados demuestran que los biocombustibles pueden tener consecuencias negativas en el medio ambiente por un mayor uso de los recursos naturales y la generación de mayores emisiones durante su producción, presionar el alza de los precios de los alimentos y no solucionan la eficiencia energética en la medida que algunos pueden requerir mayor energía que la que proporcionan.

En este sentido, surge la necesidad de diseñar mecanismos que reconozcan las diferencias en los métodos de producción y eficiencia energética y que sirvan para orientar la demanda a fin de que la producción de biocombustibles no genere externalidades negativas y evitar que los costos ambientales sean mayores a los beneficios que podría aportar.

Este documento busca analizar la iniciativa de producción de los biocombustibles bajo la óptica de un análisis costo beneficio social y corroborar si es una alternativa ambientalmente eficiente en términos de emisiones de bióxido de carbono. Se propone además mecanismos para diferenciar las formas de producción y orientar a los consumidores sobre el cumplimiento de criterios ambientales. Para ello se propone la instrumentación de mecanismos de certificación que permitan cuantificar el saldo neto de las emisiones de bióxido de carbono, uno de los principales gases de efecto invernadero.

La certificación es un instrumento de política que permite otorgar información sobre la calidad de los bienes. En México, se ha utilizado en el sector forestal donde existen dudas sobre su contribución en evitar la deforestación. Por otro lado, existen pruebas empíricas que muestran que los hoteles certificados con un desempeño ambiental superior contaron con ventajas que conducen a incrementos en el precio. (Rivera 2002, 33).

La primera parte del documento presenta a manera de antecedentes las ventajas y desventajas de los biocombustibles como fuente energética y alternativa para la reducción

de CO<sub>2</sub>. En la segunda sección como marco teórico se discuten los instrumentos económicos para orientar la política ambiental. Posteriormente, se presenta una metodología que sirve para cuantificar la eficiencia energética y ambiental de los biocombustibles a partir de la cual se espera validar el instrumento de certificación, y finalmente se discute si los biocombustibles pueden ser considerados una alternativa ambiental. En este sentido una de las principales conclusiones de este documento es que dada las elevadas diferencias en la producción de insumos y formas de producir biocombustibles es necesario asegurarse que los instrumentos económicos de oferta y demanda incentiven sólo a aquellos que sean ambientalmente eficientes.

## **ANTECEDENTES: LOS BIOCOMBUSTIBLES COMO FUENTE ENERGÉTICA Y ALTERNATIVA AMBIENTAL**

Se entiende por biocombustible el energético producido mediante el procesamiento de la biomasa, cualquiera que sea su uso. La materia orgánica, puede ser utilizada directamente como combustible o procesarse en algunos casos para convertirse en estado líquido o gaseoso. Desde hace unos años, han tomado auge dos tipos de biocombustibles, el bioetanol y el biodiesel, que se usan de forma extensiva en países como Brasil, Estados Unidos y la Unión Europea, donde gradualmente se incrementa la demanda. En todos los casos, los biocombustibles se han producido a partir de insumos agrícolas a pesar que en la actualidad se desarrollan investigaciones para obtenerlos de otras fuentes.

### **Producción de los biocombustibles**

La cadena de biocombustibles a partir de insumos agrícolas está compuesta por cuatro etapas que van desde la producción hasta el consumo. En el caso del bioetanol estas son:

1. *Producción de la biomasa*: es decir la actividad agrícola que consiste en el cultivo de insumos para generar biocombustibles. Estos, pueden ser comestibles como el maíz, la caña de azúcar o dedicados a la energía como el switchgrass.
2. *Conversión de la materia prima al combustible (o electricidad)*: es la actividad industrial mediante la cual se convierte la biomasa en un biocombustible. Se puede transformar como biocombustible primario, cuando se realiza de forma directa y en su estado natural (por ejemplo el uso de leña para cocinar) y como biocombustible secundario, es decir a través del procesamiento en estado sólido, líquido, y gaseoso, como el metano. En el caso del bioetanol, la conversión puede darse para el uso del combustible como tal (es el caso de Brasil) o como aditivo y en ese caso se convierte en un oxigenante de las gasolinas.
3. *Distribución y venta de combustibles*: consiste en la repartición del bioetanol o el biodiesel para su consumo final.
4. *El consumo de bioenergía*: es el uso final del biocombustible como proveedores de energía.

La biomasa se procesa con el fin de obtener un combustible con características definidas, que de un lado tenga mayor o igual eficiencia energética y a su vez contribuya en la reducción de las emisiones generadas en su uso, al menos en relación con los combustibles fósiles.

En un estudio reciente de la OCDE (OECD 2008, 13) se publicaron los datos de los principales países productores de etanol y biodiesel. En el año 2007 la producción global de biocombustibles fue de 62,000 millones de litros, que equivalen al 1.8% del consumo global de combustibles utilizado en transporte, medido en términos energéticos. Estados Unidos y Brasil conjuntamente generan casi tres cuartas partes del total.

En Estados Unidos el etanol se utiliza como sustituto del metil-terbutil-éter (MTBE), el cual es un producto químico que se añade como aditivo a la gasolina para aumentar el contenido de oxígeno en el motor, lográndose una combustión más completa y reduciendo las emisiones (Quintero, 2008). Desde hace unos años la Agencia de Protección Ambiental (EPA) ha publicado investigaciones en torno a los efectos nocivos sobre la salud del uso de MTBE. En algunos estados como en California, se ha implementado una sustitución paulatina en la gasolina (California Environmental Protection Agency, 2008). En Brasil la producción de etanol se emplea en mezclas con gasolina que pueden llegar a un 22 y 25% de etanol y además el 90% de sus autos nuevos tiene el sistema Flex-fuel lo cual les permite usar indistintamente diferentes mezclas de etanol y gasolina. Los otros grandes productores de etanol, China y la Unión Europea, aún se encuentran en un nivel de producción muy inferior al de los líderes.

La producción mundial de biodiesel es pequeña comparada con la del etanol, habiendo alcanzado en el 2007: 10,200 millones de litros; cerca del 60% se produce en la Unión Europea, principalmente en Alemania y Francia. Al igual que con el etanol, la mayor parte del biodiesel se usa mezclándose con el diesel de petróleo, usualmente en una mezcla del 5% (B5) para poder utilizarlo en vehículos convencionales. En algunos países se ofrecen mezclas al 30% (B30) ó en forma pura (B100). El biodiesel contiene cerca del 90% de energía si se compara con el diesel convencional, pero su lubricidad y su mayor número de cetano (es una medida de la calidad de la combustión del diesel bajo compresión) hace que en términos económicos no exista mayor diferencia entre ellos. (Quintero, 2008).

La producción convencional de etanol a partir de azúcares y almidón ha tenido un impacto en el mercado energético de Estados Unidos y de Brasil. La producción mundial de etanol en el período 2000-2007 se triplicó hasta alcanzar los 52,000 millones de litros en el 2007. Estados Unidos es el responsable del mayor incremento en este período y aún cuando en ese país el etanol se consume a nivel doméstico, el otro gran productor de etanol, Brasil, empieza a convertirse en un gran exportador; actualmente cubre más de la mitad del comercio internacional de este biocombustible (OECD 2008, 12).

Entre los biocombustibles que se están tratando de impulsar en México y en otros países de América Latina, el bioetanol es uno de los que han recibido mayor promoción y desarrollo. Ello se debe a los posibles impactos socioeconómicos positivos que pueden generar su producción y los beneficios ambientales de su consumo. El bioetanol, que será el biocombustible analizado en este documento es un producto alcohólico de la

fermentación de carbohidratos de biomasa como la caña de azúcar, el maíz, los residuos agrícolas, entre otros.

En muchos países el fomento de los biocombustibles se ha dado a través de subsidios gubernamentales para su producción. En EEUU, la UE y Canadá se estimó que el apoyo en la producción y uso de biocombustibles fue de US\$ 11 mil millones por año, proyectándose un alza a US\$ 25 mil millones en el mediano plazo (2013-2017). (OECD 2007, 8).

Las diferentes formas de apoyos se pueden clasificar en tres grandes categorías:

- a) Medidas de apoyo presupuestarias: concesiones fiscales para los productores o refinerías, usuarios o proveedores de materias primas, apoyos para la producción, infraestructura o equipamiento en la producción. Estas medidas afectan directamente el presupuesto público tanto como ingresos que dejan de percibirse por las exoneraciones o como gastos que deben realizarse.
- b) Obligaciones para el uso o mezclas de biocombustibles dentro del mercado nacional. Si bien esta medida es neutral para el presupuesto del Estado, el alto costo de producción de los biocombustibles genera un incremento de los precios de combustibles al consumidor final.
- c) Restricciones comerciales, generalmente bajo la forma de aranceles a la importación que protegen el combustible local de los proveedores de combustible extranjero de bajo costo. Estas medidas imponen un mayor costo en frontera a los usuarios de biocombustible doméstico y limita el desarrollo de proveedores alternativos.

El alto nivel de apoyo gubernamental ha originado que la política de biocombustibles sea cuestionada en términos de los beneficios esperados a nivel ambiental, energético y económico. Se estima que estas medidas han logrado reducir las emisiones netas de GEI en menos del 1% de las emisiones de transporte. Estos efectos además resultan modestos, cuando se compara el costo equivalente de la tonelada de carbono evitada que oscila entre US\$ 960 y 1700 US\$ contra los US\$ 0.80 a US\$ 7 por litro de combustible fósil que no se utiliza, por ejemplo por medidas de eficiencia energética (OECD 2007, 92).

No obstante resulta difícil evaluar de forma general las políticas de los biocombustibles debido a las especificidades de cada país. Los objetivos para apoyar la producción de biocombustibles varían desde la seguridad energética, mejora ambiental incluyendo mitigación del cambio climático, creación de nuevos productos o incremento de la demanda de materias primas agrícolas, estimular el desarrollo regional, y contribuir a fomentar actividades económicas.

### **Análisis de los factores que influyen en la producción de bioetanol en México**

En México, el potencial agrícola para proveer insumos para la producción de bioenergéticos resulta bastante incierto. Si bien se han realizado estudios que convierten la producción en energía, estos han empleado conversiones teóricas ya que actualmente no se produce bioetanol en México y empleando rendimientos agrícolas uniformes.

En el caso de la caña de azúcar, en México se produce etanol para el consumo de la industria alimentaria y farmacéutica. Esta se puede realizar en ingenios azucareros quienes luego de extraer el azúcar generan mieles las cuales son transformadas en alcohol, o por destilerías que compran mieles o caña para producir únicamente alcohol. Evidentemente, los rendimientos para la obtención de etanol por tonelada de caña de azúcar varían siendo mejores los de las destilerías.

En cuanto a los costos de producción, existen una serie de diferencias, en particular para el bioetanol, dependiendo de la escala de producción que se desarrolle y de la tecnología de transformación que se utilice. Además los costos finales estarán en función del precio final que se pagará por la materia prima. En el caso de México, es necesario recordar que el sector cañero se encuentra regulado, y por lo tanto el precio que reciben los productores es el resultado del establecimiento de contratos al inicio de la zafra, el desempeño de los ingenios y el precio de referencia del azúcar establecido por regulaciones oficiales. Es así que en los últimos años, el precio de la tonelada de caña de azúcar no ha sido el resultado de la interacción de la oferta y la demanda. Ello refleja un problema estructural en el sector agrícola mexicano que en el caso del sector cañero ha generado una sobre regulación del sector. Es por ello que para que la caña sea considerada un insumo energético es necesario analizar estos problemas que encarecen los costos.

Los bioenergéticos, de acuerdo a la Ley de Promoción y desarrollo de los bioenergéticos, deben contribuir a la diversificación energética y al desarrollo sustentable (DOF 2008, 75). En este sentido, para que el bioetanol se constituya en una fuente energética, es necesario que resulte eficiente a nivel energético (genere mas energía que la requerida en los procesos) y a nivel ambiental (reduzca las emisiones de CO<sub>2</sub> en relación a las gasolinas). Si ambos criterios se cumplen, es necesario además tomar en cuenta el costo de una política que incentive los biocombustibles para lo cual, organismos como la OCDE (2007) proponen el análisis del costo de la tonelada de carbono evitada por el uso de los biocombustibles mientras que el IISD (2007) propone el costos de las políticas de fomento. Ello permite además analizar las ventajas entre usar el bioetanol como una medida de mitigación del cambio climático.

En los últimos años se viene discutiendo el uso de los biocombustibles. Algunos resultados muestran que los biocombustibles son ineficientes en términos de su ciclo de vida<sup>5</sup> energético y su balance de emisiones de CO<sub>2</sub>. Puede haber además bastante variabilidad dependiendo del método de producción, del cultivo y del método de procesamiento. Adicionalmente se pueden presentar algunos efectos negativos sobre el medio ambiente debido a la intensificación de las prácticas agrícolas (uso de agua, agroquímicos, expansión de la frontera agrícola hacia áreas protegidas, entre otros).

Los posibles efectos negativos de los biocombustibles en términos ambientales nos llevan a reflexionar sobre cuál sería el instrumento que podría servir para evitar que

---

<sup>5</sup> El análisis del ciclo de vida se basa en una metodología que toma en cuenta un inventario de todos los impactos (económicos, ambientales, sociales y energéticos) asociados con todas y cada una de las etapas de un proceso o producto, desde las materias primas, a través del procesamiento de materiales, la manufactura, la distribución, el uso, la reparación y el mantenimiento hasta la disposición final ó el reciclamiento. (Quintero, 2008)

las políticas de apoyo no resulten ineficientes en sus objetivos trazados, es decir promover la eficiencia energética y reducir las emisiones de efecto invernadero, en este caso, el CO<sub>2</sub>.

La siguiente sección explora la certificación de los biocombustibles como mecanismo que permite corregir la asimetría de información entre el productor y el consumidor. De esta manera el certificado se convierte en un signo distintivo que avala el manejo ambiental sustentable en el proceso productivo o en el tratamiento de los recursos.

## **MARCO TEÓRICO PARA LA CERTIFICACIÓN DE LOS BIOCOMBUSTIBLES**

La certificación es un instrumento de política que permite corregir la ausencia de información de los consumidores sobre los métodos de producción de los diferentes bienes en la economía. De esta forma sirven para corregir la asimetría de información existente entre el consumidor y el productor sobre la calidad ambiental del bien.

Cuando los consumidores no disponen de toda la información sobre el producto, difícilmente pueden tomar la decisión correcta sobre la elección final. A diferencia de los productores, estos si saben cuáles son las características ambientales de su producto o proceso. Cuando ello ocurre, y no todos los actores cuentan con los mismos elementos sobre el producto, se produce un problema generado por información imperfecta de los mercados. Ello puede conducir a una elección incorrecta por parte de los consumidores, o transformarse en oportunismo de los productores que cuentan con toda la información para manejar el precio y otros elementos en una negociación para su mejor interés, lo que crea desventajas para los consumidores desinformados.

En el caso de los biocombustibles por ejemplo, podrían no tomarse en cuenta los costos ambientales de la contaminación o daño ambiental que generan en su producción, y solo considerar los posibles beneficios de su uso, optándose por la decisión incorrecta, generándose un problema de selección adversa o anti-selección (Akerlof, 1970).

Una forma de corregir la ausencia de información es dando señales correctas que inciten a los productores a revelar sus prácticas o niveles de emisiones. En este sentido, la certificación permite dar señales sobre los productos y sus características que los diferencian en el mercado. La obtención de un distintivo es una estrategia de diferenciación donde hay productos o servicios que aseguran ser menos nocivos para el medio ambiente que su competencia. (Elizondo, 2008)

Desde un punto de vista de política ambiental, la idea es incitar a que los agentes productivos a que mejoren sus formas de producción reduciendo los impactos ambientales negativos y revelando los verdaderos costos ambientales derivados de la producción de los biocombustibles. Bajo un esquema de certificación, los consumidores o el gobierno, podrían decidir por aquellos combustibles que resultarán con un saldo neto ambiental positivo.

Es así que la certificación corrige la ausencia de información sobre las características particulares del manejo ambiental del proceso de producción,

comercialización y uso de los biocombustibles. A su vez, transmite incentivos a las empresas que quieran recibir apoyos gubernamentales, puede permitir la creación de mercado de certificados de carbono de biocombustibles, da señales a los consumidores a tomar las decisiones correctas con mayor información disponible.

Desde el punto de vista de la sociedad, los procesos de certificación ambiental son positivos para incrementar el nivel de bienestar (Elizondo, 2008):

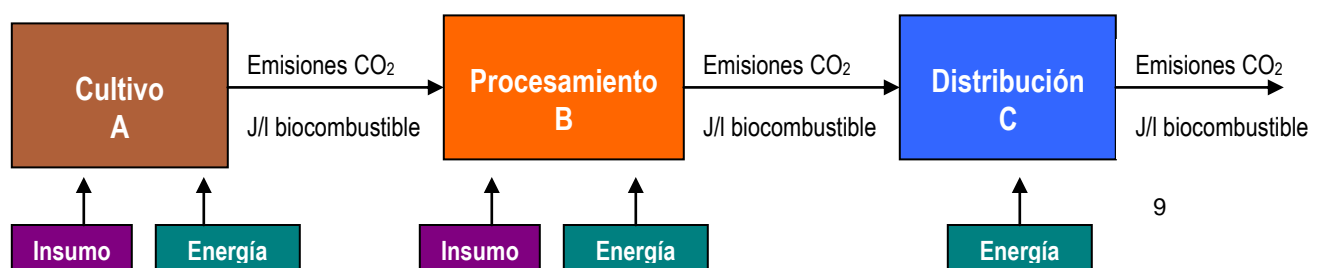
- Aún cuando el país no cuente con consumidores concientes sobre el medio ambiente, las empresas exportadoras deberán atender a las demandas de la sociedad externa. Así, si los consumidores europeos demandan productos de madera que provengan de bosques certificados, la población de los países productores de estos bienes se beneficiará, aún cuando la legislación en su país no exija altos estándares en el manejo de los bosques (Moeltner y Van Kooten 2003, 302). Por ejemplo, el Programa de Certificación Forestal Paneuropeo (PEFC) endosa programas nacionales que se basan a su vez en la certificación por parte de un tercero. El problema se basa en que parte de la madera se utiliza para la producción de pulpa, mezclándose con madera de otras fuentes, haciendo muy difícil rastrear la madera desde su origen hasta su destino final. De acuerdo a la experiencia observada en el tema forestal, la certificación no será suficiente para detener efectos negativos como el cambio de uso de suelo. (Elizondo, 2008)
- En países en desarrollo, parte del costo incurrido para mejorar las prácticas en términos ambientales es absorbido por los consumidores en países desarrollados, quienes están dispuestos a pagar más por productos certificados. De esta forma, se da la existencia de externalidades positivas para la población local.
- Los mecanismos de certificación voluntaria ofrecen información adicional sobre la operación de las empresas y su impacto en el medio ambiente.

Sin embargo, la herramienta de la certificación puede también estar acompañada de problemas en su instrumentación (credibilidad del organismo certificador) o generar una sobreoferta de productos certificados que presionarían al medio ambiente. Asimismo, si el productor anticipa que podría generar rentas por vender productos “verdes” podría estar incentivado a hacer trampa incrementando el costo de la verificación (Podhorsky, 2008).

## METODOLOGÍA PARA CALCULAR LA EFICIENCIA ENERGÉTICA Y AMBIENTAL

El modelo para el análisis ambiental y energético de los biocombustibles de primera generación en México permite contabilizar las emisiones y el balance energético considerando 3 secciones: cultivo, procesamiento y distribución, proponiendo analizar los valores de forma individual. (Gráfico 1)

Gráfico 1: Etapas de producción del modelo de contabilización de emisiones y balance energético de biocombustibles



En la sección **Cultivo (A)**, se considerará la productividad agrícola (tonelada/hectárea-año), la energía o emisiones de las materias primas (%) como parte del proceso, la cantidad de insumos requeridos por hectárea (kg/hectárea), en particular el tipo y cantidad de fertilizante utilizado. Para la conversión de los insumos en energía y las emisiones de CO<sub>2</sub> generadas se toma como base la información disponible en el anexo 1. Además se toma en cuenta la cantidad de energía requerida para el cultivo (J/hectárea), donde debe evaluarse el uso de maquinaria.

La sección **Procesamiento (B)**, trata específicamente de la conversión de la biomasa en biocombustible en función de las tecnologías empleadas. De acuerdo a la literatura sobre el análisis de ciclo de vida, en la sección de procesamiento hay tres partes que deben ser consideradas de manera particular, pues tienen un gran efecto en la medición de emisiones de CO<sub>2</sub> y de eficiencia energética: la generación y uso de los coproductos dándoles un crédito ambiental y energético; la cogeneración de energía y su venta a la red eléctrica. La evaluación considera la cantidad de insumos para la producción (kg/l biocombustible), el valor energético de los insumos (J/kg), los coproductos y la energía requerida para el procesamiento (J/l biocombustible).

La sección **Distribución (C)** se incluye en la metodología para calcular el transporte hacia la planta donde se realizará el proceso de oxigenación o almanecamiento de biocombustibles. Para un proyecto específico este consumo energético podría ser evaluado y así diferenciarlo de otros.

En resumen se propone una calculadora de dióxido de carbono para evaluar y posicionar cualquier proyecto de producción de biocombustibles en México. En cada sección se obtendría una calificación relativa y en conjunto un valor que pueda servir de base para los certificados que se desean otorgar y también para los permisos de instalación y uso masivo de biocombustibles.

### **Modelo para análisis de eficiencia energética y ambiental para biocombustibles en México**

El modelo asigna valores unitarios, tanto de requerimiento energético como de emisiones de CO<sub>2</sub> para los coproductos, en unidades por litro, cuando estos son elaborados en el proceso. Por ejemplo, en el caso del maíz generalmente se obtiene alimento para animales conocido como DDGS (dry distillers grain soluble) y para biodiesel el principal coproducto es la glicerina. En ambos casos los coproductos son importantes porque se consideran como un crédito de energía y CO<sub>2</sub>.

La evaluación energética se realiza a través del **valor neto energético** que equivale a la energía que puede obtenerse del biocombustible (para el etanol se considera como base 21 Mj/l) y la energía asociada a coproductos (crédito) a lo cual se le descuenta la energía requerida para la obtención del biocombustible; y la **relación energética** que se obtiene de dividir la energía obtenida por el biocombustible y el crédito por coproductos entre la energía requerida para la obtención del biocombustible. Cuando el valor de la relación energética es superior a 1, indica que el biocombustible es generador de energía, mientras que cuando es inferior a 1 consume más energía que la producida.

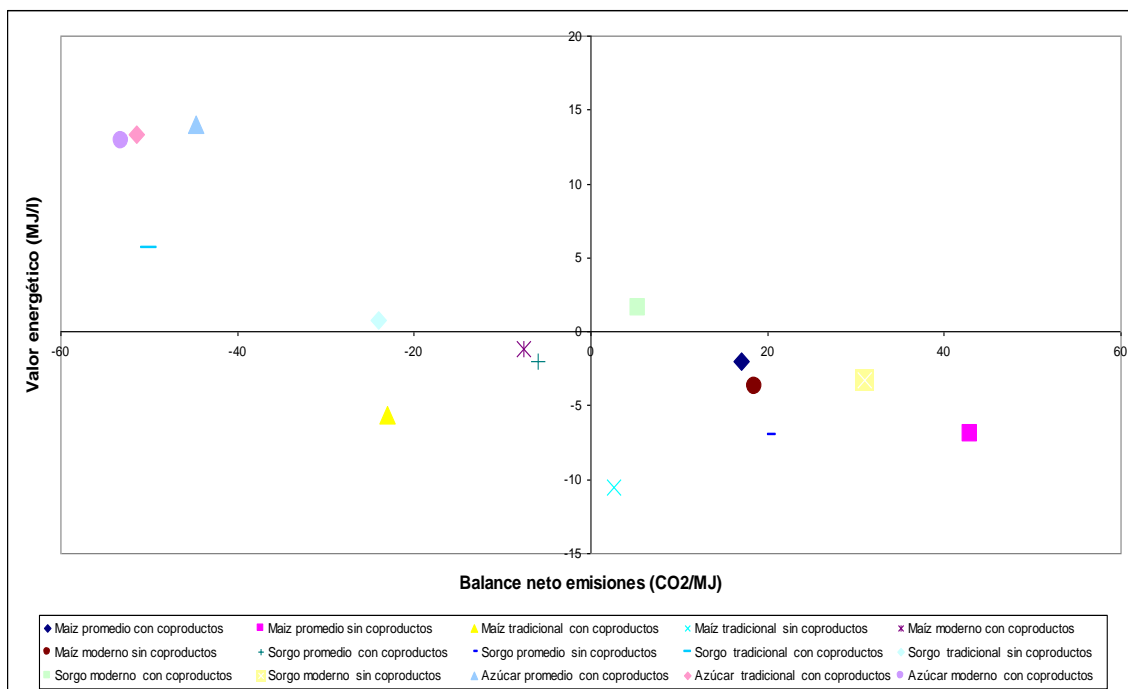
La evaluación ambiental se realiza comparando los valores obtenidos respecto a la gasolina. Las emisiones netas de CO<sub>2</sub> se calculan sumando las emisiones de todo el proceso menos los créditos asociados al coproducto. Las emisiones de CO<sub>2</sub> por MJ es el resultado del valor obtenido en las emisiones netas de CO<sub>2</sub> divididas entre la energía que ofrece el biocombustible. Con ello se obtiene el **balance neto de emisiones de CO<sub>2</sub>** que es igual a las emisiones generadas por el biocombustible comparadas con la gasolina, considerando que ésta última emite 94 g CO<sub>2</sub>/Mj. (Quintero, 2008)

### **Análisis de la producción de etanol en México, a partir de diferentes materias primas**

Para evaluar la eficiencia energética y ambiental del etanol producido con maíz, sorgo y caña de azúcar en México, se tomaron tres casos correspondientes a distintas formas de producción agrícola para cada uno. En el caso del maíz por ejemplo estos correspondieron a un sistema tradicional como Oaxaca, uno moderno como en Sinaloa y uno promedio donde se emplearon datos de Tlaxcala. A cada uno de los casos, se les asoció el paquete tecnológico correspondiente para poder estimar los requerimientos energéticos de los insumos reportados.

El cálculo del valor energético y el balance neto de emisiones de los biocombustibles respecto a las gasolinas dio lugar a resultados bastante heterogéneos. Estos además pueden variar aún mas si se considera o no el crédito de coproductos como se muestra en el gráfico a continuación.

Gráfico 2: Resumen de las simulaciones a partir de producción agrícola mexicana



El análisis ambiental del maíz encontró que al utilizar las técnicas de cultivo del promedio nacional, la reducción en emisiones de CO<sub>2</sub> respecto a la gasolina es negativa; es decir, conviene más en términos ambientales seguir consumiendo gasolina, que promover la producción de biocombustibles a base de maíz con técnicas de producción en México debido a que tienen más emisiones y un valor energético negativo.

En el caso del sorgo ocurre algo similar. El método tradicional (caso Tamaulipas) arroja el mayor ahorro posible en emisiones entre las tres alternativas consideradas, en comparación con la producción de gasolina. Las técnicas del promedio nacional también contribuyen al ahorro en emisiones, pero el ahorro es significativamente menor que el método tradicional. Para este escenario, el caso de mayor tecnología (Guanajuato) es el que genera mayores emisiones que la producción de gasolina, por lo que no conviene su producción en términos ambientales.

El análisis ambiental a partir de la caña de azúcar para la elaboración de etanol, es el único en donde se obtienen ahorros en emisiones, independientemente de la técnica de cultivo que se haya utilizado. El mayor ahorro se obtiene con técnicas avanzadas de cultivo (tipo Sinaloa), en segundo lugar, se encuentra el ahorro de cultivos con métodos tradicionales (Veracruz), y finalmente, ahorros con las técnicas promedio de cultivo (Colima).

Cuadro 1 : Resumen de los resultados del balance energético y ambiental de los biocombustibles

	MAIZ			SORGO			CAÑA DE AZUCAR		
	Caso A: Promedio nacional (Tlaxcala)	Caso B: Método tradicional (Oaxaca)	Caso C: Moderno (Sinaloa)	Caso A: Promedio nacional (Tamaulipas)	Caso B: Método tradicional (Tamaulipas 2)	Caso C: Moderno (Guanajuato)	Caso A: Promedio nacional (Colima)	Caso B: Método tradicional (Veracruz)	Caso C: Moderno (Sinaloa)
Emisiones totales de CO <sub>2</sub> asociadas al etanol (g CO <sub>2</sub> /l)	2 884	2 028	2 364	2 396	1 471	2 634	1 034	895	858
Emisiones asociadas a coproductos (g CO <sub>2</sub> /l)	549	549	549	549	549	549			
Emisiones netas (g CO <sub>2</sub> /l)	2 335	1 479	1 815	1 847	922	2 085	1 034	895	858
Emisiones de CO <sub>2</sub> (g CO <sub>2</sub> /MJ)	111	70.4	86.4	88	44	99,3	49,2	42,6	40,8
Balance neto de emisiones de CO <sub>2</sub> respecto a gasolina (g CO <sub>2</sub> /MJ)	17	- 23	- 7.6	-6	-50	5,3	-44,7	-51,4	-53,1
Valor neto energético	-2	-5,66	1,2	-2,05	5,68	1,64	14,03	13,33	12,95
Relación energética	0,93	0,82	1,05	0,93	1,28	1,07	3,01	2,74	2,61

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

Los biocombustibles son ampliamente promocionados como una fuente alternativa y ambientalmente amigable que puede contribuir a la mitigación de gases de efecto invernadero. Sin embargo, a través de una estimación de las emisiones de CO<sub>2</sub> generadas durante los procesos de producción se muestra que existen fuertes divergencias en los resultados.

En este sentido, los biocombustibles pueden ser clasificados en 4 tipologías según su desempeño energético y ambiental:

- Eficientes energética y ambientalmente: biocombustibles a partir de sorgo tradicional con y sin coproductos, biocombustibles a base de caña de azúcar.
- Eficientes energéticamente, ineficientes ambientalmente: sorgo moderno con coproductos.
- Ineficientes energéticamente y eficientes ambientalmente: maíz tradicional con coproductos, maíz moderno con coproductos, sorgo promedio con coproductos.

- Ineficientes energética y ambientalmente: maíz promedio con y sin coproductos, maíz tradicional sin coproductos, sorgo promedio sin coproductos, maíz moderno sin coproductos.

Ello pone en evidencia que la obtención de biocombustibles no es un proceso homogéneo y por el contrario, existen fuertes diferencias ambientales de acuerdo a la materia prima y el proceso de producción que se emplee. Como se demostró en el cálculo de las emisiones de CO<sub>2</sub>, cada insumo agrícola, así como la alternativa tecnológica elegida para su cultivo y su procesamiento, representa un ahorro neto distinto en emisiones.

Por ello, es recomendable una política de promoción que permita diferenciar los rendimientos y contribuciones ambientales de los bioenergéticos. El amplio rango de emisiones con los diferentes cultivos y métodos utilizados, implica que si se considera de igual manera a todos los productores de biocombustibles, se cometerá un error. Mientras que unos ahorran emisiones de CO<sub>2</sub> otros las incrementan. Por tanto, las ventajas de la producción de biocombustibles se estarían perdiendo, mientras que los retos, incluyendo la reasignación de recursos que antes estaban dirigidos a la alimentación, se mantienen vigentes.

La certificación surge como un instrumento económico de demanda que abre la posibilidad de evaluar biocombustibles provenientes de distintas fuentes y procesados con distintas técnicas. Los biocombustibles más baratos pueden corresponder a mayores emisiones de gases. En este sentido, si solamente se observan niveles de producción, se puede incurrir en mayores niveles de emisiones y convertirse en una forma ineficiente de reducir las emisiones de CO<sub>2</sub>. Además, la certificación puede incorporar criterios tanto ambientales como energéticos y dar las señales correctas a través de mayor información sobre los costos ambientales de la producción de biocombustibles. El reto sin embargo está en encontrar la mejor alternativa de certificación posible (voluntaria u obligatoria). De un lado, podrían los productores podrían no encontrar los suficientes beneficios en la certificación en relación a los costos administrativos y operativos de estas, podrían estar tentado a capturar rentas derivadas de una mayores demanda de la certificación con productos que no generan beneficios ambientales, y finalmente podría generarse una sobreoferta de productos con certificados ambientales.

## **CONCLUSIONES**

Diversos países vienen apoyando el desarrollo de los biocombustibles por diferentes motivaciones de índole energética, ambiental y social. En México se busca que los biocombustibles contribuyan al desarrollo rural a través de un incremento de la producción agrícola y la reducción de gases de efecto invernadero. Ésta sin embargo, puede traer como consecuencia efectos ambientales (erosión de suelos, agua, biodiversidad y gases de efecto invernadero).

Una política de promoción de los biocombustibles debe tomar en cuenta los impactos negativos al medio ambiente, en particular en lo relacionado a la generación de emisiones de CO<sub>2</sub> que se buscan reducir debido a la alta divergencia que existen en cuanto a beneficios o costos ambientales según los métodos de producción, materias

primas o procesos empleados. El presente documento sugiere la creación de un proceso de certificación para asegurar la viabilidad ambiental de la producción de biocombustibles en México. Para ello, se han analizado tres escenarios base para cada uno de los cultivos o plantaciones, dependiendo de los insumos y procesos utilizados a lo largo de la cadena productiva.

Los resultados observados, como se ha comentado, muestran variaciones entre cultivos y entre técnicas, por lo cual es necesario definir un esquema para la valoración de emisiones, dependiendo de las características de cada una de las empresas productoras de biocombustibles.

Las experiencias internacionales sugieren que el uso de biocombustibles puede ayudar a reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> pero a un costo bastante alto. Es por ello, que aún cuando se proponen instrumentos, es necesario cuestionarse sobre la factibilidad de los biocombustibles como una nueva fuente energética de alto costo, o es necesario analizar las diversas opciones para la mitigación de gases de efecto invernadero de bajo costo sin mayores sesgos en cuestiones sociales sino mas bien ambientales y en este sentido, como país incrementar los esfuerzos en una política de eficiencia energética en los diferentes sectores económicos.

## BIBLIOGRAFIA

Akerlof, George A, 1970. "The Market for 'Lemons': Quality Uncertainty and the Market Mechanism," The Quarterly Journal of Economics, MIT Press, vol. 84(3), pages 488-500, August

Diario Oficial de la Federación. Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos. 1 de febrero del 2008. p75:82.

Dornbosch, R. y R. Steenblik (2007), Biofuels: is the cure worse than the disease?, Round Table on Sustainable Development, organizada por la OCDE, París, septiembre 11-12, 2007.

Intermón OXFAM (2008), Otra verdad incómoda. Un informe de OXFAM International, [http://www.intermonoxfam.org/UnidadesInformacion/anexos/9930/Otra%20verdad%20incomoda%20vf%20castellano%20IO%20260608\\_se.pdf](http://www.intermonoxfam.org/UnidadesInformacion/anexos/9930/Otra%20verdad%20incomoda%20vf%20castellano%20IO%20260608_se.pdf)

International Institute for Sustainable Development. 2007. Biofuels—At What Cost? Government Support for Ethanol and Biodiesel in Selected OECD Countries. Paper, 82 pages, <http://www.iisd.org/PUBLICATIONS/pub.aspx?pno=895>

Moeltner, Klaus y G. Cornelis van Kooten, Voluntary Environmental Action and Export Destinations: The Case of Forest Certification, Journal of Agricultural and Resource Economics, Agosto 2003, 28, 2, pp. 302-315.

OECD 2008. ECONOMIC ASSESSMENT OF BIOFUEL SUPPORT POLICIES. [Http://www.oecd.org/document/25/0,3343,en\\_2649\\_33785\\_39633881\\_1\\_1\\_1\\_1,00.html](Http://www.oecd.org/document/25/0,3343,en_2649_33785_39633881_1_1_1_1,00.html)

Quintero R., Elizondo A. (2008). Propuesta de certificación como instrumento para regular la producción y uso de biocombustibles en México. Reporte Final del Trabajo de consultoría realizado para la Dirección de Economía Ambiental del INE. 266 p.

Rivera, Jorge (2002). Assessing a voluntary environmental initiative in the developing world: The Costa Rican Certification for Sustainable Tourism. Policy Sciences. 35(4):333-360, Diciembre 2002, Abstract.

Podhorsky Andrea. 2008. A Survey of Environmental Labeling. <http://dept.econ.yorku.ca/~andrea/papers%20for%20web/Survey.pdf>

## **ANEXO 1**

**Valores sugeridos para los requerimientos energéticos y de emisiones de CO2 para cualquier tipo de cultivo:**

**Tabla 1. Requerimiento energético para insumos agrícolas (en MJ/kg)**

<b>Insumos agrícolas</b>	<b>Requerimiento energético unitario (MJ/kg)</b>
Nitrógeno	56.9
Amoniaco anhidro	46.66
Nitrato de amonio	19.92
Sulfato de amonio	11.95
Fosfato monoamónico (MAP)	6.26
Fosfato diamónico (DAP)	10.24
Solución nitrogenada	22.76
Nitrato de potasio	7.97
Nitrato de sodio	9.10
Urea	26.17
Fósforo (P2O5)	10.1
Superfosfato simple	2.02
Superfosfato triple (SFT)	4.65
MAP	4.85
DAP	4.65
Potasio (K2O)	7.9
Cloruro de potasio	4.74
Nitrato de potasio	5.81
Sulfato de potasio	3.95
Sulfato de K y Mg	1.74
Cal	1.0
Herbicidas	324.7
Glifosato	475
Insecticidas	330.3
Semillas	56.0

**Tabla 2. Requerimiento energético para insumos energéticos (en MJ/unidad)**

<b>Insumos energéticos</b>	<b>Valor recomendado (MJ/unidad)</b>
Transporte de insumos	0.64/kg
Gasolina	40/l
Diesel	42/l
Gas natural	40/m3
LPG	28.5/l
Electricidad	10/kW-hr
Mano de obra	170/hr

**Tabla 3. Emisiones de CO2 para insumos agrícolas**

<b>Insumos agrícolas</b>	<b>Emisiones de CO2/kg</b>
Nitrógeno	10.93
Amoniaco anhidro	8.96
Nitrato de amonio	3.83
Sulfato de amonio	2.30

Fosfato monoamónico (MAP)	1.20
Fosfato diamónico (DAP)	1.97
Solución nitrogenada	4.37
Nitrato de potasio	1.53
Nitrato de sodio	1.75
Urea	5.03
Fósforo (P2O5)	1.61
Superfosfato simple	1.33
Superfosfato triple (SFT)	0.74
MAP	0.77
DAP	0.74
Potasio (K2O)	0.71
Cloruro de potasio	0.43
Nitrato de potasio	0.33
Sulfato de potasio	0.36
Sulfato de K y Mg	0.16
Cal	0.51
Herbicidas	25.96
Insecticidas	25.9

**Tabla 4. Emisiones de CO2 para insumos energéticos**  
**Insumos energéticos Valor recomendado (kg CO2/unidad)**

Gasolina	2.71/l
Diesel	3.8/l
Gas natural	2.02/m3
LPG	1.96/l
Electricidad	0.66/kW-hr

**Tabla 5. Rendimiento agrícola, rango de aplicación en México**

<b>Cultivo</b>	<b>ton/Ha</b>
Maíz	1 - 10
Sorgo	2 - 7
Caña de azúcar	70 -100
Soya*	2.3 – 2.8

**Tabla 6. Rendimientos típicos en proceso**

<b>Cultivo</b>	<b>litro/ton</b>
Maíz	390 l etanol
Caña de azúcar	80 l etanol
Soya	545 l biodiesel