

# Perspectivas de la situación energética mundial. Las oportunidades para Colombia

## Arturo Infante Villarreal

Ingeniero Industrial, M.Sc., PhD. Ex rector de la Universidad de los Andes. Bogotá D.C., Colombia.  
arinvi@skype.net.co

**RESUMEN.** Casi la cuarta parte de la energía que consume Estados Unidos proviene de petróleo importado y sólo el 6% se origina en fuentes renovables, aunque el país produce 20% de la polución ambiental mundial y tiene sólo 4% de la población total. Los biocombustibles son una fuente potencial de energía renovable para Estados Unidos, y el resto del mundo, porque tienen un balance energético y ambiental bastante favorable. Si las condiciones de precios son adecuadas para los productores de las materias primas, los biocombustibles también tienen un impacto social importante. Colombia tiene

posibilidades de participar en los mercados nacionales e internacionales de los biocombustibles sustitutos, tanto de la gasolina como del diesel con etanol y biodiesel, respectivamente. La palma de aceite, la caña de azúcar y la yuca constituyen las materias primas con mayor potencial.

### PALABRAS CLAVE

Energía consumida, fuentes de energía, petróleo, energía renovable; balance energético, ambiental, financiero y social; análisis de ciclo vital, biocombustibles, etanol, etanol celulósico, biodiesel de palma.

---

## Outlook of World Energy Status. Opportunities for Colombia

**ABSTRACT.** Almost one fourth of the energy consumed in the U.S. comes from imported oil and only 6% is produced from renewable sources despite the fact that the U.S. is responsible for 20% of the global pollution with barely 4% of the world population. Biofuels are a promising source of renewable energy for the United States and the rest of the world, with favorable energy and environmental balances. If price conditions are adequate for the basic input producers, biofuels will have an important social impact, as well. Colombia has the

possibility to participate in the national and international biofuel substitution markets for gasoline and diesel with ethanol and biodiesel, respectively. Oil Palm, Sugar Cane and Yuca, are the raw materials with the best potential.

### KEYWORDS

Energy Demand, Energy sources, Oil consumption, Renewable energy, Energetic-Environmental-Social balances, Vital Cycle, Bio-fuels, Ethanol, Palm-oil bio-diesel.

LA MATRIZ DE DEPENDENCIA DEL PETRÓLEO

La matriz que mide la dependencia del petróleo importado permite apreciar, de un vistazo, la precariedad de la posición americana y, en menor grado, la de la Unión Europea. En un eje se mide el porcentaje de la producción mundial que aporta cada país y en el otro, su porcentaje del consumo mundial. Cuando los dos porcentajes resultan iguales para un país dado, esto significa que el país es autosuficiente en sus necesidades de petróleo y que no necesita ni importarlo ni exportarlo. En el caso de Estados Unidos, el porcentaje del consumo mundial es mucho mayor que el porcentaje que produce, razón por la cual es un importador neto de este producto. Para acercarse a la línea de equilibrio e independencia de las importaciones de petróleo, los países que son importadores netos tienen varias opciones: reducir el consumo del petróleo; sustituirlo por el consumo de fuentes renovables; buscar y encontrar más petróleo, o una combinación de todas las anteriores. El Presidente Bush optó por apoyarse en las dos primeras opciones y la Unión Europea por usar fuentes renovables.

En Colombia debe ser prioritaria la identificación de la política y estrategia sobre esta materia porque el país cuenta con opciones buenas de energía renovable para atender las necesidades propias y para exportar los excedentes, al mismo tiempo que no parecen muy altas las posibilidades de encontrar yacimientos de petróleo de gran envergadura.

PERSPECTIVA GLOBAL

El futuro de la energía a nivel mundial depende en gran parte de lo que pase con la producción y el consumo de los países líderes, dentro de los cuales se destacan Estados Unidos, la Unión Europea y China. Lo que suceda en estos países determinará el panorama futuro de la energía, incluyendo la apertura de oportunidades para naciones de menor tamaño como Colombia. Pero el gran protagonista es Estados Unidos, que empieza a darse cuenta de la dependencia que ha desarrollado a lo largo de las últimas décadas en torno al petróleo propio e importado, al gas natural y al carbón, todos ellos recursos no renovables.

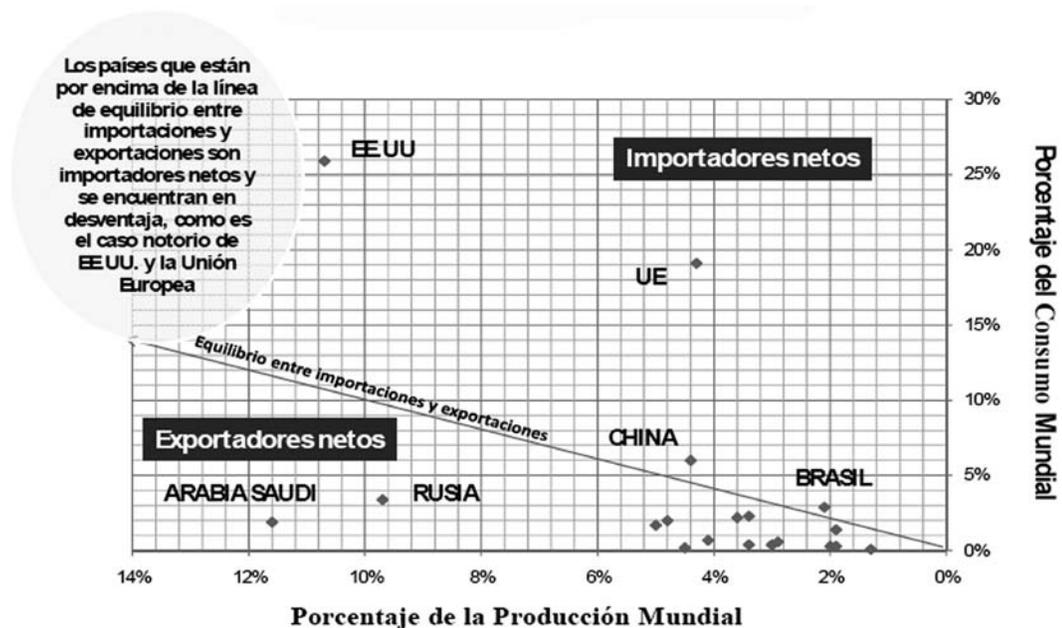
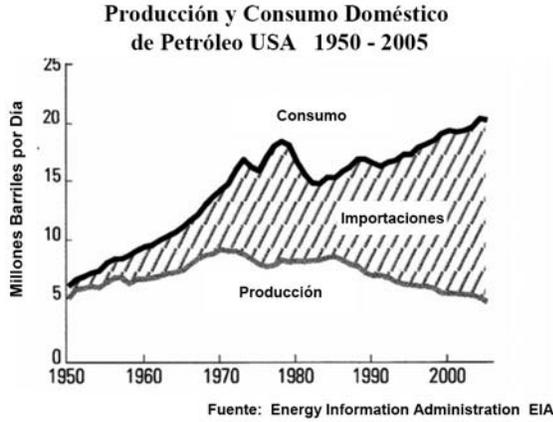


Figura 1. Dependencia del Petróleo. Exportadores Netos vs Importadores Netos 2005 (Fuente: CIA World Factbook).



**Importaciones Anuales de Petróleo de los Estados Unidos**

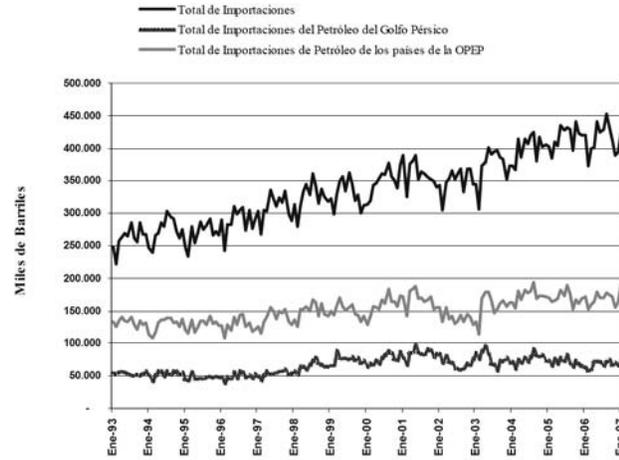


Figura 2. La situación energética de los Estados Unidos es preocupante por el alarmante incremento de las importaciones de petróleo que se acercan al 60 % del total consumido y que se espera, lleguen al 70% en 2025.

La producción de petróleo de Estados Unidos alcanzó su nivel más alto en 1970 cuando se consolidó como el mayor exportador mundial. A partir de ese momento, su participación como exportador empezó a declinar hasta llegar a convertirse en un importador neto de petróleo con un nivel de 13 millones de barriles diarios, lo cual representa cerca del 60% del petróleo que consume cada día [1]. De seguir la tendencia actual, Estados Unidos estaría importando en 2025 el 70% del petróleo que consume.

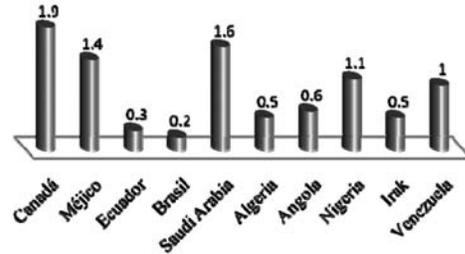


Figura 3. Principales suministradores de petróleo de EE.UU. (Millones de barriles diarios) (Fuente: U.S. Energy Information Administration. EIA).

Las importaciones provienen de naciones como Venezuela, Angola, Azerbaijan, Chad y en buena parte, del Oriente Medio que cuenta con 60% de la reservas probadas, mientras Estados Unidos sólo tiene el 2.2% de las mismas.

A lo anterior se suma la desproporcionada contaminación ambiental que produce Estados Unidos, la cual se ha convertido en una preocupación de Estado por las graves implicaciones que esto tiene sobre la seguridad nacional y mundial.

**EL CONSUMO DE ENERGÍA EN ESTADOS UNIDOS**

En 2004, el 85.73% del consumo de energía de los Estados Unidos fue de origen fósil y el 62.79% de petróleo y gas natural. De fuentes renovables, tan sólo se consumió el 6%, proviniendo la mayoría de hidroeléctricas y quema de biomasa. La energía nuclear contribuyó con el 8%, y el petróleo en sí solo,

representó cerca del 40% del total. La dependencia americana de las importaciones de petróleo sumada a la participación tan alta que tienen las fuentes de energía no renovable en su canasta energética —cerca del 86% del total— colocan a los Estados Unidos en una posición vulnerable en un entorno difícil, como consecuencia de la política internacional del Gobierno Bush, que ha afectado negativamente a varios de los productores importantes de petróleo.

En cuanto al suministro de energía eléctrica, el 70% de la electricidad se generó en 2005 con combustibles fósiles. La oferta de energía eléctrica provino de plantas centralizadas de gran tamaño que consumen carbón, gas natural, fuentes nucleares o que son hidroeléctricas. Entre ellas suministran más del 95% de la electricidad americana, por lo cual el sistema es

centralizado con todos los pros y contras inherentes<sup>1</sup>. Lo que más preocupa del esquema centralizado en un ambiente afectado por el terrorismo, es la vulnerabilidad del suministro del fluido eléctrico a los ataques, sabotajes o simples fallas, como se hizo evidente con el apagón de Agosto de 2003 que costó entre 4 mil y 10 mil millones de dólares.<sup>2</sup>

Un problema serio que se suma a los anteriormente expuestos es el referente al enorme incremento en los precios del petróleo y sus derivados. Las centrales eléctricas que se construyen en la actualidad en los Estados Unidos en su mayoría consumen gas natural, el cual ha perdido las ventajas de costo que tenía en el pasado. Por este motivo, en ciertas situaciones, las instalaciones eólicas ahora son competitivas con las de gas y carbón y se prevé un incremento en las ventas de las turbinas de viento, que pueden superar en el futuro a las tradicionales de gas.

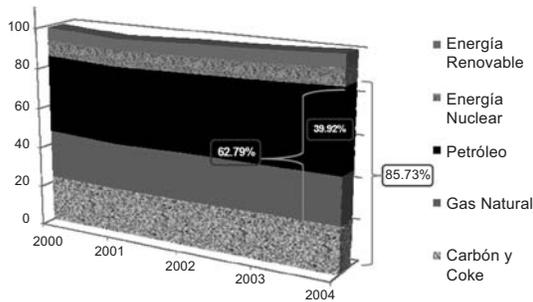


Figura 4. Consumo de Energía en EE.UU, por Fuentes (Quadrillion BTU) (Fuente: U.S. Energy Information Administration).

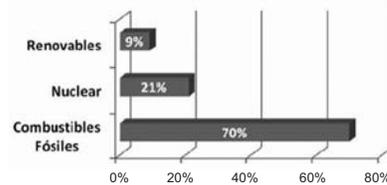


Figura 5. Fuentes para la generación neta de electricidad en Estados Unidos 2005 (Fuente: Energy Information Administration).

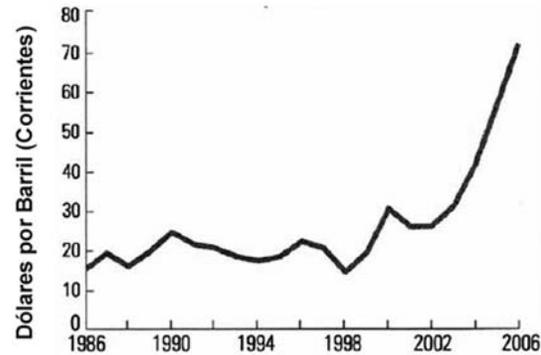


Figura 6. Precios del crudo del Petróleo (1986-2006). (Fuente: Energy Information Administration).

Como se anotó, un aspecto que ha adquirido importancia en la opinión internacional es el referente a la contaminación ambiental resultante del uso de los derivados del petróleo, particularmente de la contaminación proveniente del proceso de combustión de los automotores. Con una población de sólo el 4% del total mundial, los Estados Unidos producen el 20% de la contaminación en lo referente al calentamiento global del planeta y, a pesar de esto, en el país se continúa promoviendo el uso del motor de gasolina en lugar

1 Entre los pros se encuentra la posibilidad de transmitir la electricidad a super-altas potencias con los ahorros en pérdidas propios de esta modalidad.

2 Los expertos en seguridad consideran que un ataque bien organizado contra el sistema eléctrico podría paralizar la economía americana durante un período prolongado. Y si uno de los aviones del atentado de Septiembre 11, en lugar de haber destruido las torres gemelas se hubiera estrellado contra la planta nuclear de Indian Point, el costo en vidas y en recursos económicos hubiera sido gigantesco [2].

del motor diesel, que se prefiere en Europa y Asia para los autos livianos particulares <sup>3</sup>.

En términos generales, el motor de ciclo diesel es más eficiente que el motor de ciclo Otto (el de gasolina) porque el primero tiene una relación de compresión bastante más alta que el segundo [3]. En el pasado el problema se encontraba en diseñar un motor diesel que pudiera resistir las altas presiones de operación que lo caracterizan y se terminaba con un artefacto muy robusto, que solamente se podía acomodar en un vehículo de gran tamaño. Con el desarrollo de los nuevos materiales se resolvió este problema y fue posible construir motores diesel pequeños y de gran eficiencia, como los que ahora mueven a los coches europeos y japoneses [4].

Los voceros de Daimler Chrysler dicen que los actuales motores diesel han logrado una disminución del 80% del material particulado que ellos producen; una reducción del 70% de sus emisiones de NOx y un menor consumo de combustible del orden del 15%. Además, han incrementado su potencia en un 50% y su torque en un 30%.

La industria automotriz americana optó por el camino de los vehículos pesados, equipados con un motor de gran cilindraje y con un sistema de tracción 4x4 para ser usados en las ciudades, por la amas de casa.

Es difícil pensar en un sistema más ineficiente como el que lograron imponer los fabricantes de los SUVs —“Sport utility vehicles” (Vans, Pick ups y camionetas 4x4)— en las mentes y los gustos de los compradores americanos.

Ante el rezago tecnológico americano, los fabricantes no tuvieron opción diferente a la de buscar acceso a los desarrollos hechos por fuera del país con motores diesel y conjuntos automotrices híbridos que habían logrado incrementar dramáticamente la eficiencia energética y, así, disminuir la contaminación ambiental<sup>4</sup>. Entre mayor es la eficiencia del motor, mayor es la distancia que puede recorrer el vehículo con un galón de combustible y, consecuentemente, menor la polución producida por kilómetro transitado<sup>5</sup>.

Un estudio realizado para los fondos de pensiones europeos evaluó la eficiencia de los sistemas de propulsión vehicular existentes y los comparó con las plataformas previstas para el futuro [5]. Se reportó que un sistema híbrido con motor de gasolina y motor eléctrico produce 47% de las emisiones de CO<sub>2</sub> que emite un sistema convencional y que un híbrido con motor diesel solamente produce el 40% de tales emisiones, bajo la perspectiva de un análisis de ciclo vital. Cuando se usa biodiesel en un vehículo híbrido con motor diesel, las emisiones de CO<sub>2</sub> descienden al 32% si se trata de biodiesel puro (B100) o al 37.5%

---

<sup>3</sup> De acuerdo al USDA, un galón de diesel petrolero produce 12.7 kg de emisiones de CO<sub>2</sub> en un análisis de ciclo vital, en tanto que un galón de biodiesel solamente produce 2.7 Kg de tales emisiones. Cuando se miden las emisiones que escapan del motor, el biodiesel reduce el CO<sub>2</sub> en un 7% cuando se lo compara con el diesel corriente y en un 1% frente al diesel extra. En lo concerniente a los óxidos de nitrógeno, la reducción en las emisiones de NOx durante el proceso de combustión, son del 20% respecto al diesel corriente y del 12% respecto al diesel extra.

<sup>4</sup> En 2004, Toyota Motor Company y Ford Motor Company hicieron los acuerdos necesarios para que Ford pudiera utilizar las tecnologías patentadas por Toyota en los vehículos híbridos y en la purificación de las emisiones.

<sup>5</sup> Existen dos enfoques para medir las emisiones contaminantes: el americano relacionado con la eficiencia del combustible (millas por galón) y el europeo que mide directamente la contaminación (Por ejemplo, gramos de CO<sub>2</sub> por kilómetro recorrido). Para un combustible dado, usando el mismo motor, existe una correspondencia directamente i-nversa entre las dos mediciones. Así, para la gasolina, 27.5 millas por galón equivalen a 201 gramos de CO<sub>2</sub> por kilómetro y 46 mpg equivalen a 120 gramos de CO<sub>2</sub> por km.



Figura 7. Emisiones de CO2 durante el ciclo vital de un Toyota Camry 1996. (Fuente: SAM Sustainable Asset Management Zurich & WRI World Resources Institute Washington).

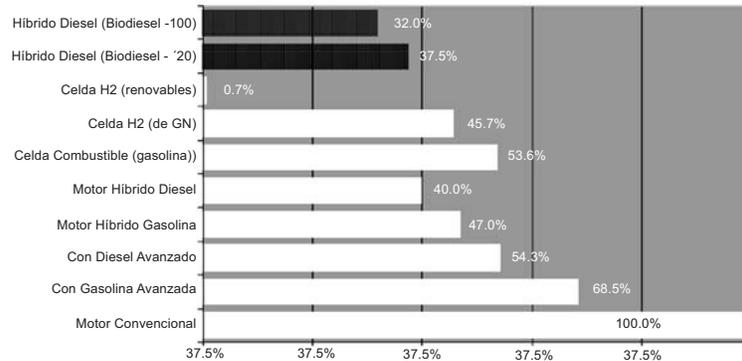


Figura 8. Emisiones de CO2 de diferentes tecnologías de propulsión vehicular respecto a las producidas por un motor convencional. (Fuente: SAM Suiza y WRI Washington. Cálculos del autor).

cuando se utiliza una mezcla con veinte por ciento de biodiesel (B20)<sup>6</sup>. Así, el híbrido diesel alimentado con biodiesel es una de las mejores soluciones para los próximos quince o veinte años, mientras se perfecciona y abarata la tecnología del hidrógeno.

Esto es cierto, porque tanto el almacenamiento del hidrógeno como su producción continúan siendo desafíos tecnológicos que deben superar las limitaciones de los procesos de electrólisis existentes, porque ellos consumen grandes cantidades de electricidad. Como

el 80% de la energía eléctrica mundial se produce con fuentes no renovables, el balance neto de ciclo vital de las emisiones es negativo a pesar de que el motor de hidrógeno, en sí mismo, no emite CO<sub>2</sub>. En la medida en que la electricidad producida con fuentes no renovables sea mayor y con costos competitivos, el hidrógeno hará parte del repertorio de combustibles. En el entretanto, los biocombustibles vegetales aparecen como la solución inmediata a los problemas de la contaminación ambiental<sup>7</sup>.

6 Éstos son estimativos hechos por el autor.

7 En Brasil desde hace algún tiempo y en los Estados Unidos recientemente, se vienen ofreciendo los vehículos de combustible flexible (Flexible Fuel Vehicles FFV) que pueden operar con mezclas hasta de 85% de etanol anhidro. Los grandes fabricantes como Daimler Chrysler, GM, Ford, Mazda, etc., ya ofrecen este tipo de automotores y se estima que en los

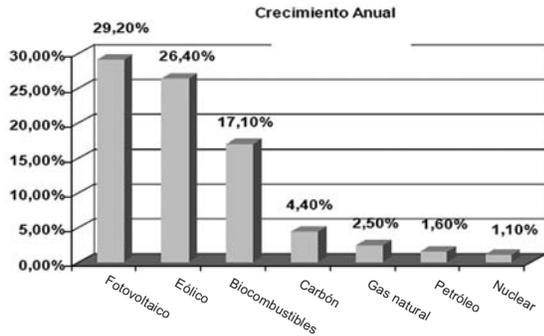


Figura 9. Crecimiento anual promedio de varias fuentes de energía nivel mundial 2000 - 2005 (Fuente: BP, Worldwatch Institute).

#### EL CRECIMIENTO DE LAS DIVERSAS FUENTES DE ENERGÍA

Entre el 2000 y el 2005 el mayor crecimiento de la oferta de energía a nivel mundial se registró en la energía fotovoltaica y eólica, seguida por los biocombustibles. Las fuentes tradicionales no renovables crecieron poco. El carbón lo hizo en un 4.4% y el petróleo, apenas en 1.6%.

En el pasado los Estados Unidos fueron líderes en los desarrollos de la energía eólica y fotovoltaica. La idea de usar los paneles solares para captar la energía del sol y guardarla en un sistema fotovoltaico y la de construir turbinas movidas por el viento para aprovechar la energía eólica, fueron esfuerzos que contaron con el soporte del gobierno americano. Desafortunadamente este respaldo languideció y el país cedió su liderazgo a otras naciones como Alemania, España, Francia y Japón.

Cuando las cifras del consumo de energía de EE.UU. se muestran en porcentajes, el panorama es preocupante y explica las presiones que han surgido allí por remediar la situación que aparece: 86% de las fuentes de energía son no renovables y el 40% de ellas provienen del petróleo. Si a esto se suma que el 60% del petróleo es importado se concluye que *la energía que consume Estados Unidos proviene casi en una cuarta parte de petróleo importado.*

#### LA POSICIÓN DEL GOBIERNO AMERICANO

Aunque se registraron algunos repuntes notables en los Estados Unidos, particularmente sobre el uso del etanol, en su Mensaje del Estado de la Nación del 25 de Enero de 2007 el Presidente Bush recogió esta preocupación e hizo un llamado al Congreso solicitando su ayuda para reducir la dependencia de la Nación respecto al petróleo extranjero. Pidió concretamente:

1. Reducción del **20%** del consumo de gasolina en los próximos diez años.
2. Incremento del suministro de biocombustibles en **35 mil millones de galones**, en 2017.
3. Ahorro de hasta **8.500 millones de galones** de gasolina en 2017, mediante el endurecimiento de los estándares normativos para hacer disminuir el consumo de combustibles de los automotores

Sin embargo, la propuesta del Presidente Bush de incrementar la producción de etanol no fue bien recibida en todas partes. La empresa petrolera más grande del mundo (Exxon Mobil Corp.) no la acogió, como tampoco lo hizo la bolsa de valores donde cayó el valor de las acciones de las empresas productoras de biocombustibles de maíz. De acuerdo a un reporte de la agencia Bloomberg, esto sucedió porque el precio del etanol empezó a caer luego de haberse duplicado en los últimos cinco años, en tanto que el precio de su materia prima en Estados Unidos, el maíz, alcanzó su nivel más alto de la última década. El problema estriba en que algunas refinerías dejan de ser rentables cuando el precio del maíz supera USD 4.50 por bulto y cuando llega a USD 5 por bulto, muchas dejan de producir el etanol. En enero 2007, el precio del maíz llegó a USD 4.055 por bulto y por este motivo, se dispararon las alarmas.

Además, muchos analistas consideran que el etanol nunca podrá convertirse en componente significativo de la canasta energética estadounidense, simplemente porque los Estados Unidos no tiene la capacidad de producir las enormes cantidades de maíz que se necesitarían para cumplir con lo solicitado por el

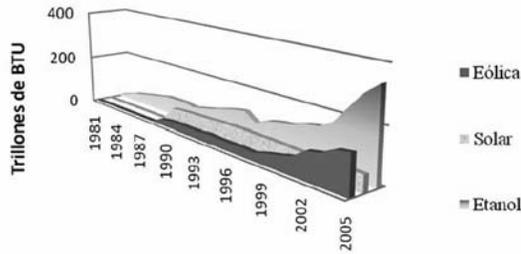


Figura 10. Crecimiento de la Energía Renovable en los EE.UU (Fuente: Energy Information Administration).

Presidente. Para alcanzar la meta de Bush en 2017 se requieren 12.500 millones de bultos de maíz, lo cual constituye una cifra mayor a la de toda la producción del año 2006. ¿Qué comerían entonces los cerdos, el ganado y los pollos?

Además, analistas como Patzek [8] consideran que el etanol de maíz es altamente ineficiente en su balance energético y que por esta razón, no es conveniente ni estimular ni subsidiar su producción. Estima que por año y por unidad de área, los paneles solares producen alrededor de 100 veces más electricidad que el etanol de maíz.

**LOS BIOCOMBUSTIBLES<sup>8</sup> RENOVABLES**

Sin lugar a dudas, el espacio más promisorio en el entorno de la energía renovable lo ocupan los biocombustibles: el etanol como sustituto de la gasolina y el biodiesel como reemplazo del diesel petrolero. La producción mundial de los biocombustibles ha venido creciendo aceleradamente, aunque más rápido lo ha hecho el **etanol**, con un volumen diez veces superior al del **biodiesel**, como se puede apreciar en los gráficos respectivos. Las expectativas de Europa, Asia y Latinoamérica en torno al biodiesel permiten prever que esta diferencia se acortará porque los motores

diesel son más eficientes que los de gasolina, debido a su mayor relación de compresión [3].

**EL ETANOL**

El uso del etanol como alternativa renovable de la gasolina ha venido creciendo de manera muy acelerada en los últimos años. El país pionero ha sido Brasil, donde se inició la experiencia con el etanol hidratado —que no se mezcla fácilmente con la gasolina— a diferencia del etanol deshidratado que permite todo tipo de mezclas (en Estados Unidos se aceptan mezclas con un máximo de 85% de etanol deshidratado o anhidro—E85).

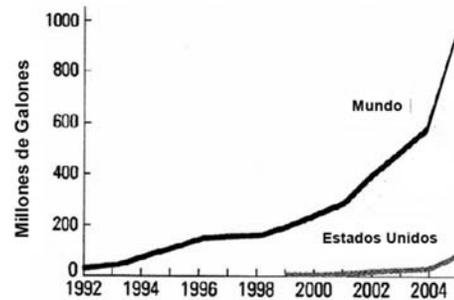


Figura 11. Biodiesel. Producción Mundial y de EE.UU. 1992-2005 (Fuente: National Biodiesel Board (NBB), F.O., Licht, Worldwatch Institute).

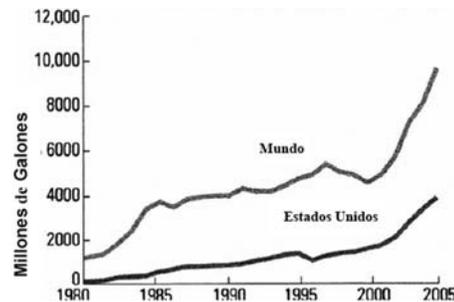


Figura 12. Etanol. Producción Mundial y de EE.UU (Fuente: Renewable Fuels Ass. (RFA), F.O., Licht, Worldwatch Institute).

8 Aunque la expresión “biocombustible” es ampliamente difundida para diferenciar los combustibles que se fabrican a partir de materias primas extraídas de seres vivos (plantas y animales) de aquellos derivados del petróleo y el carbón, no se debe olvidar que los últimos también provienen de seres que vivieron en algún momento. Una diferenciación más rigurosa sería la de llamar a los primeros “combustibles oxigenados” porque en su estructura molecular contienen átomos de oxígeno que no aparecen en los segundos y a estos últimos “combustibles fósil”.

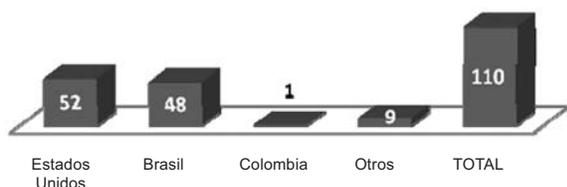


Figura 13. Producción Mundial de Etanol. Millones de litro/día (2006).  
(Fuente: ethanol.org).

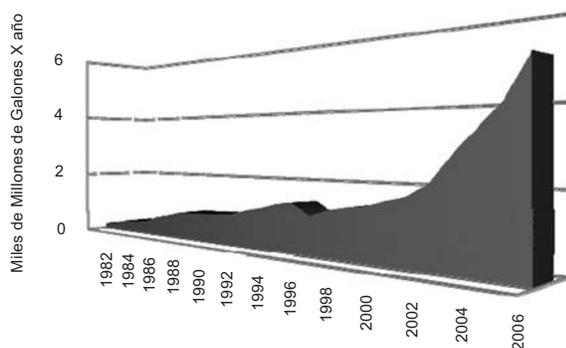


Figura 14. Producción de Etanol den Estados Unidos. (Fuente: ethanol.org).

El problema con las mezclas altas de etanol hidratado reside en la filtración y solubilidad del agua que propicia la separación de las fases (gasolina-etanol-agua) en el tanque del vehículo. Cualquier alteración que se tenga que hacer en todo el parque automotor para corregir el problema anterior, resulta muy costosa por el número de vehículos involucrados. Por esta razón y para empezar, en Colombia se piensa en E10 y hasta en E20 con etanol deshidratado.

En Estados Unidos el etanol se produce a partir del maíz y en Brasil y Colombia, utilizando caña de azúcar. También se puede fabricar con trigo, cebada, remolacha, papa y sorgo, entre otros, y en Colombia, ahora se promueve la siembra masiva de yuca con este fin. En 2006, Estados Unidos desplazó a Brasil como primer productor mundial de etanol luego de una expansión vertiginosa de su capacidad instalada.

En los Estados Unidos existen 114 refineras de etanol, con una capacidad instalada de 52 millones de

litros diarios y 70 plantas adicionales se encuentran en construcción. En Colombia operan 5 refineras contiguas a las instalaciones de los ingenios que producen azúcar de caña, con una capacidad de un millón de litros diarios y se encuentran en construcción dos plantas adicionales con una capacidad de 75 mil litros diarios.

En 2010, Venezuela espera producir 4 millones de litros diarios de etanol con una inversión de USD 900 millones. Paraguay aprobó mezclas para la gasolina del 24% para la regular y del 18% para la extra. Chile anunció que impondrá el E10 y se esperan desarrollos en Argentina para producir etanol de maíz en los próximos 15 años. Los ingenios de Bolivia ya han exportado 50 millones de litros de etanol a Italia. En Colombia se espera pasar del millón de litros diarios de capacidad instalada actual para llegar a contar con 27 plantas, en 2020, con una capacidad agregada de 5 millones de litros diarios.

Para promover el uso del etanol y de los biocombustibles en general, los gobiernos ofrecen incentivos tributarios. En los Estados Unidos, el etanol producido internamente recibe un subsidio de USD 0,51 por galón y en Colombia se lo exime de varios impuestos que gravan a los combustibles petroleros. De lo contrario, su producción no sería viable desde el punto de vista financiero.

Además, en lo concerniente a la comercialización, existen protecciones como los USD 0,54 por litro que debe pagar Brasil para poder vender su etanol en los Estados Unidos. Como lo anota el Senador por Iowa, Chuck Grassley, no se trata de pasar de depender del petróleo importado para depender del etanol importado.

#### EL IMPACTO AMBIENTAL DEL ETANOL COMO COMBUSTIBLE

Usar etanol o biodiesel como combustible trae impactos positivos sobre las emisiones que salen por el exosto de los autos, particularmente respecto a los gases de efecto invernadero (CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>). Pero su

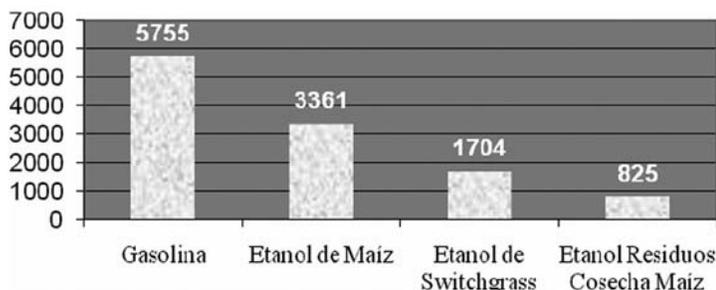


Figura 15. BTUS de Energía fósil que se consumen en recorrer una milla (Fuente: NREL/PO-510-31792).

impacto positivo va más allá de lo que ocurre dentro del motor, porque la valoración integral de cualquier tipo de contaminación requiere del análisis de **ciclo vital** [9].

El impacto positivo del etanol sobre el medio ambiente se puede calcular midiendo la cantidad de combustible petrolero que sustituye cuando se usa como biocombustible. Se valora como la cantidad de BTUS de energía fósil que se dejan de consumir cuando se utiliza el etanol

En la Figura 15 se muestra esta medición en relación con el etanol de maíz, de switchgrass y con el etanol celulósico producido a partir de los desechos de la cosecha del maíz, todo dentro de un análisis de ciclo vital. Es evidente el impacto positivo ambiental de los diferentes tipos de bioetanol respecto al consumo de gasolina, porque al medirlo desde la perspectiva del ciclo vital, reducen el consumo del hidrocarburo entre un 41% - 86%, lo cual, en principio, es una gran contribución.

**EL ETANOL CELULÓSICO**

El etanol celulósico es una opción que se está investigando dentro de lo que se conoce como las fuentes para la fabricación de los biocombustibles de segunda generación. El “etanol lignocelulósico” es el apelativo que se da a un tipo de alcohol que proviene de la celulosa y la hemicelulosa, sustancias presentes en la biomasa y no en las azúcares que son fácilmente extraíbles del maíz, la caña o la yuca. Para producir el etanol celulósico se usa un tipo de enzimas que

rompen la lignina que contiene la hemicelulosa para liberar las azúcares allí contenidas,—glucosa de la celulosa y pentosa de la hemicelulosa— las cuales se procesan de allí en adelante, en la forma tradicional. El atractivo de esta opción se encuentra en la gigantesca disponibilidad de biomasa como materia prima y su limitación yace en el alto costo de las enzimas que anulan su viabilidad financiera. Se estima que este obstáculo podrá ser resuelto dentro de la próxima década con avances tecnológicos en la producción y utilización de las enzimas.

Para evaluar la conveniencia de producir el etanol celulósico o cualquiera otra opción de combustible, es preciso establecer su balance energético, tan importante como el balance ambiental o el financiero. Se trata de conocer cuánta energía se consume en su fabricación para compararla con la energía que finalmente contiene el combustible. Si el balance es negativo, esto quiere decir que se gasta más energía de la que se encuentra almacenada en el combustible, lo cual obviamente es indeseable. Por ejemplo, se asevera que el bioetanol de caña tiene un balance energético excelente porque cada kilocaloría de energía que se utiliza para fabricarlo produce 8.19 kilocalorías, las cuales se encuentran almacenadas en el alcohol [10]. Por otra parte, se dice que el balance energético del etanol celulósico ha producido resultados sorprendentes y muy estimulantes para la palma de aceite porque entre las alternativas estudiadas la más eficiente resultó ser la celulosa de la palma, con un balance energético entre 12 y 14 [11]. Estos balances energéticos no son comparables porque el primero no proviene de

un análisis de ciclo vital, en tanto que el segundo sí lo hace. De hecho, existe una polémica porque varios investigadores consideran que el balance energético de ciclo vital del etanol es negativo<sup>9</sup>. Este punto debe analizarse con todo el cuidado, tanto para la etanol como para el biodiesel en las condiciones específicas de Colombia porque de validarse las argumentaciones de Pimentel y Patzek en su último artículo [13], no tendría mucho sentido producir etanol de maíz en Estados Unidos y mucho menos favorecerlo con los subsidios que hoy recibe. La discusión sigue abierta y aún no se ha dicho la última palabra.

#### EL COSTO DE LA ENERGÍA REQUERIDA PARA PRODUCIR ETANOL

Un aspecto de gran importancia en la evaluación financiera de la producción del etanol, tanto del convencional como del celulósico, es el costo de la energía utilizada en el proceso de destilación<sup>10</sup>.

Se especula mucho sobre la rentabilidad de la fabricación del etanol y, desafortunadamente, algunas de las posiciones no se compadecen con la realidad. Los ingenios colombianos que construyeron destilerías para producir etanol lo hicieron con un costo muy reducido, porque tenían la infraestructura de la producción azucarera. Por esta razón, pudieron integrar la fabricación del etanol contiguamente al ingenio con inversiones de USD 25 a USD 35 millones cuando esto fácilmente hubiera podido costar en Colombia USD 100 millones por planta y, en los Estados Unidos, USD 180 millones.

En Colombia se ha despertado un gran entusiasmo por la yuca como materia prima para producir etanol, como se puede apreciar en las proyecciones del Upme al respecto.

Pero se debe ser cuidadoso con estas cosas. La viabilidad financiera de poder hacerlo depende de la dispo-

---

<sup>9</sup> En 1991, David Pimentel Profesor de la Universidad de Cornell publicó un estudio en la Encyclopedia of Physical Sciences and Technology en el cual plantea que ni el aumento en los subsidios al maíz para producir etanol, ni las alzas en los precios del petróleo podrán superar la deficiencia básica del etanol de maíz porque su fabricación consume más energía que la que produce su combustión. Sus estimativos del balance neto de energía fueron de -33.517 BTUs por galón. Esto lo ratificó en 2001 con un estimativo de -33.562 BTUs por galón [12].

El análisis de Pimentel ha sido criticado por diversos autores y agencias entre los cuales se encuentra el USDA, el Argonne National Laboratory, la Asociación Nacional de Cultivadores de Maíz, etc. Michael Wang y Dan Santini del Argonne National Laboratory han sido dos de los principales detractores de Pimentel. En resumen, plantean que las conclusiones de Pimentel están equivocadas porque sus estimativos de los rendimientos del maíz son los registrados antes de 1992; porque el monto de energía requerida para producir etanol y la eficiencia en la producción de etanol son los observados en los 70s; porque las cifras de la energía requerida para producir fertilizantes son las globales de 1990 y no las recientes de Estados Unidos; porque supone que todo el maíz se produce con irrigación cuando la realidad es que solo el 16% se cultiva de esta manera, y porque no le asigna el debido crédito energético a los coproductos. (National Bioenergy Center). Como resultado de esta controversia existen estimativos del balance energético del etanol de maíz que van desde -33.562 hasta 35.463 BTUs por galón.

<sup>10</sup> De acuerdo al estudio hecho en Panamá [10], en la etapa de fabricación de cada litro de etanol de caña de azúcar se consumen 119 Kilo calorías en electricidad y combustibles, es decir, 0,000119 Giga calorías. Si se compra energía eléctrica para la fabricación del etanol, el costo por litro por este único concepto asciende a USD 0.0182 y si se utiliza carbón (sin costo de transporte) este costo desciende a USD 0.0011. La primera cifra equivale a COL\$ 40 por litro y la segunda a COL\$ 2.42 por litro. Para una planta de 300.000 litros diarios esto representa una diferencia de COL\$ 11.27 millones diarios. Lo anterior resalta la importancia que se debe prestar al análisis de la disponibilidad y del costo de las fuentes de energía para destilar el etanol.

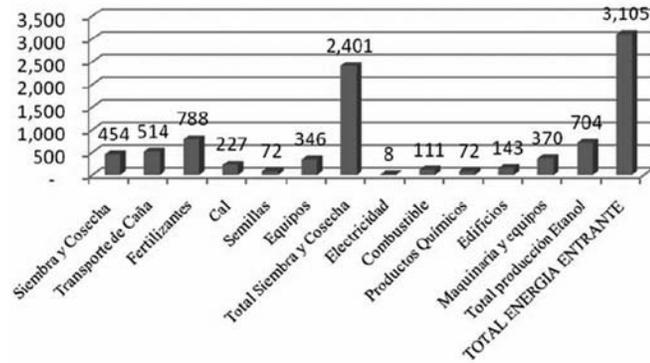


Figura 16. Energía requerida para producir un litro de etanol. (Keal/Litro). (Fuente: Macedo (2003) y INTRACORP, Panamá).

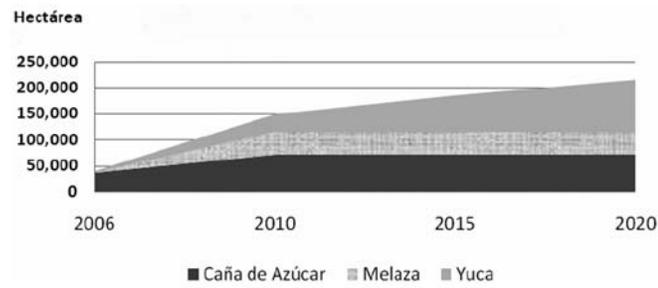


Figura 17. Proyecciones del UPME sobre las materias primas del bioetanol (Fuente: Upme).

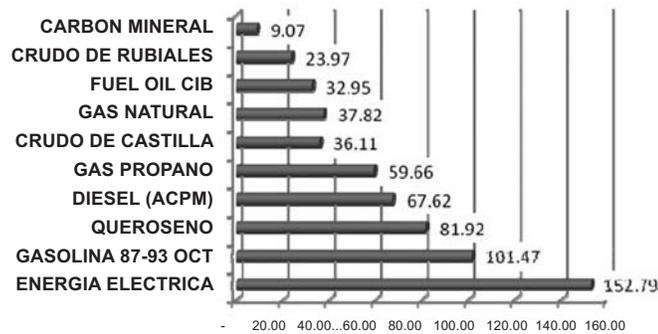


Figura 18. Costo de la energía en Colombia US\$/Giga-caloría. (Fuente: Índice Saucedo Marzo 26-07).

nibilidad de energía barata, que por ahora está disponible en algunas partes de los Llanos Orientales. Uno de los proyectos más grandes utiliza el crudo pesado de petróleo que extrae de sus propios pozos, valorándolo con su costo de producción y no con su valor de oportunidad. Algo parecido ocurre con el aprovechamiento del carbón de bajo costo en el sur de Bolívar, donde también se produce etanol de yuca.

Se especula mucho sobre la rentabilidad de la fabricación del etanol y, desafortunadamente, algunas de las posiciones no se compadecen con la realidad. Los ingenios colombianos que construyeron destilerías para producir etanol lo hicieron con un costo muy reducido, porque tenían la infraestructura de la producción azucarera. Por esta razón, pudieron integrar la fabricación del etanol contiguamente al ingenio con inversiones de USD 25 a USD 35 millones cuando esto fácilmente hubiera podido costar en Colombia USD 100 millones por planta y, en los Estados Unidos, USD 180 millones<sup>11</sup>.

Las condiciones existentes en el Valle del Cauca y en el norte del Cauca no son replicables, por lo cual la producción de la caña panelera en otras partes del país no tiene la misma rentabilidad, no sólo por la inexistencia de la infraestructura azucarera sino por el ciclo productivo de la caña de azúcar que solamente es permanente en estos sitios privilegiados. En el resto de Colombia y del mundo, con excepción de Hawaii, la caña es estacional, por zafra semestrales.<sup>12</sup>

#### EL BIODIESEL

El biodiesel se produce en el mundo como un combustible renovable que puede sustituir plenamente

al diesel petrolero, carburante conocido en nuestro medio como ACPM. Estos combustibles se usan en el motor de ciclo diesel, inventado por Rudolph Diesel para incentivar la producción de aceites vegetales. Cuando el motor fue presentado en la Feria de París de 1900 funcionó con aceite de maní y posiblemente si no hubiera sido por la muerte prematura de su inventor en 1913, el mundo petrolero no se hubiera apropiado de este desarrollo tecnológico agrícola.

El mayor productor de biodiesel continúa siendo Alemania con 1.9 millones de toneladas anuales de producción en 2005 y 2.6 millones en 2006 y con una capacidad instalada al cierre del año, de 3.4 millones de toneladas<sup>13</sup>. En estos desarrollos ha influido la exigencia que hizo la UE a sus países miembros en 2003 de usar en el transporte terrestre un mínimo del 5.75% de energía renovable en 2010, lo cual se traduce en usar mandatoriamente 4.4% de biodiesel en esa fecha futura.

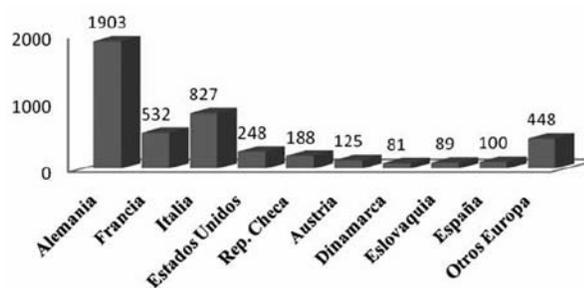


Figura 19. Principales países productores de biodiesel (2005).  
Miles de Toneladas por año.

(Fuente: European Biodiesel Board y National Biodiesel Board . 2005).

11 Con una capacidad de producción entre 280 mil y 350 mil litros diarios de etanol.

12 Este punto debe ser estudiado con cuidado porque el cinturón respecto a la línea ecuatorial que incluye al Cauca y Valle del Cauca, también incluye a una porción de los Llanos Orientales, razón por la cual se argumenta que allí también se puede cosechar caña, a lo largo de todo el año.

13 En la reciente conferencia sobre los precios que se avisan para el aceite de palma[14], Sabri Ahmad de Golden Hope Plantations, en su presentación señala que en 2007 se espera que la capacidad instalada de plantas de biodiesel en la UE llegará a 9 millones de toneladas, de las cuales 5.6 millones estarán en Alemania.

En los Estados Unidos también se está ampliando la capacidad instalada para producir biodiesel de soja con más de 1 millón de toneladas en 2006 y con el doble en 2007. En Europa se produce biodiesel de colza (rapeseed), cuya variedad transgénica canadiense se llama canola, la cual no se admite en el viejo continente ni siquiera para fabricar biodiesel.

Alemania y los demás países europeos enfrentan el problema de la limitación de las extensiones territoriales para cultivar la materia prima, no sólo por la poca tierra disponible, sino también por los tratados vigentes con Estados Unidos que restringen a 4.93 millones el número de hectáreas que pueden ser sembradas con este tipo de cultivos<sup>14</sup>. Pero Alemania, tiene problemas adicionales, que pueden presentarse en otros lugares<sup>15</sup>.

Al examinar la producción mundial de biodiesel por zonas geográficas, se aprecia la supremacía de Euro-

pa Occidental y la presencia muy tenue de América Latina. Sin embargo, esta situación está cambiando con los proyectos que ya se encuentran en construcción en el subcontinente y en Centroamérica. Estados Unidos empieza a figurar en el mapa y Colombia lo hará con las 500 - 700 mil toneladas anuales de capacidad instalada que se están construyendo. Es curioso, sin embargo, que no se destaquen los desarrollos que están ocurriendo en Malasia e Indonesia, ni que se hable de la fusión de las cuatro más grandes empresas de Malasia para convertirse en el mayor productor de biodiesel del mundo<sup>16</sup>.

#### LA GRAN LIMITACIÓN DE LOS BIOCOMBUSTIBLES

El biodiesel se puede fabricar a partir de cualquier tipo de aceite vegetal o grasa animal, incluyendo los aceites usados y desechados por los restaurantes. En su fabricación y en presencia de un catalizador, al aceite refinado (10 partes) se le añade metanol (1.5

14. El acuerdo Blair House de 1992 puso un tope en la Unión Europea a la producción de aceites vegetales extraídos de semillas. Este memorando de entendimiento MOU entre los Estados Unidos y la Unión Europea puso fin a la disputa sobre las irregularidades en los subsidios domésticos que concede la UE. El acuerdo restringe el área que se puede sembrar en la UE con semillas oleaginosas para el mercado de comestibles, a 4'933.800 hectáreas. También limita a 1 millón de toneladas la cantidad de subproductos (tortas) que se pueden producir con fines industriales en las zonas de reserva. Esto impone un sobrecosto a los cultivadores europeos de colza y girasol porque no pueden recuperar parte de los costos de producción con la venta de las tortas, las cuales tienen que usar como fertilizante o simplemente, quemar.

15 La demanda por el biodiesel se indujo en Alemania aprovechando el interés de los alemanes por utilizar un combustible ambientalmente limpio, ofreciéndolo además, con un precio de € 0.83 por galón por debajo del precio del diesel petrolero. Por esto en 2006, el 48% de las compras fueron de biodiesel puro, conocido como B100. El resto del consumo y las mezclas, lo hicieron las flotas cautivas que también aprovechaban el incentivo tributario que concedía el Gobierno al biodiesel. En Marzo de 2006 el Gobierno Alemán decidió eliminar las exenciones tributarias, gravar el uso del biodiesel y anticipar el uso obligatorio de las mezclas, con lo cual ensombreció el futuro de los productores de biodiesel. En Agosto de 2006 se empezó a hacer efectivo el gravamen al B100 con €0.34 por galón, el cual irá creciendo hasta €1.70 por galón en 2012. Además, el 1 de Enero de 2007, el Gobierno anticipó el uso obligatorio de B4.4 (95.6% de diesel petrolero y 4.4% de biodiesel), gravándolo igual que al combustible petrolero. Así, las 2.5 millones de toneladas de biodiesel que se consumieron en 2006, correspondientes al 8.1% del total del diesel vendido en Alemania, han quedado en entredicho porque la mezcla obligatoria sólo demandará 1.36 millones de tons y sin el incentivo, es muy dudoso que los alemanes continúen comprando B100 de colza.

16 Bursa Malaysia, la Bolsa única integrada de Malasia, reportó como su actividad corporativa más importante la reciente fusión de las mayores empresas de plantaciones del país, incluyendo a Guthrie, Sime Darby y Golden Hope, para constituirse en una entidad con la capacidad de competir internacionalmente en el mercado de los biocombustibles. La fusión para crear a Synergy Drive, tuvo un valor de 31.400 millones de Ringitts (USD\$8.970 millones)

partes) y con menos frecuencia etanol, debido a que la tecnología existente ha sido desarrollada para el uso del primer tipo de alcohol. De la reacción sale metil éster (biodiesel) y glicerina en una relación de 10.5:1.

El aceite más utilizado ha sido el de colza en Europa, seguido por el aceite de soya en Estados Unidos y el aceite de palma en Asia y Suramérica. Recientemente han aparecido otras opciones como la *Jatropha Curcas*, planta originaria de América, que se ha sembrado en la India, Indonesia, África y Centroamérica, únicamente para producir biocombustible porque el aceite que produce no es comestible. También se ensaya la higuera.

Respecto a la eficiencia en la producción de aceite, la palma lleva la delantera con 5 toneladas de aceite rojo más una tonelada de aceite laúrico por hectárea. En contraste, la colza produce 1.25 toneladas de aceite por hectárea, la soya 0.6, el girasol 1.2 y la jatropha 1.2. La alta eficiencia en producción de aceite de la palma es uno de los argumentos para responder a las críticas que se hacen a este cultivo por su impacto negativo en la deforestación. En la gráfica siguiente se aprecia la fuerza de esta argumentación cuando se compara la palma, en términos del uso de la tierra, con las otras fuentes de aceite<sup>17</sup>.

En un estudio reciente se reporta que la intensidad de mano de obra que requiere la *Jatropha*, determina que su uso para producir biodiesel solamente es viable si el costo de la mano de obra no calificada es inferior a USD 7.20 por día, cuando existe un crédito subsidiado para el 70% del valor de la inversión, como es usual encontrar en muchos países. Sin el apalancamiento del crédito subsidiado, el tope no podría superar USD 4.10. Estos niveles de remuneración solo

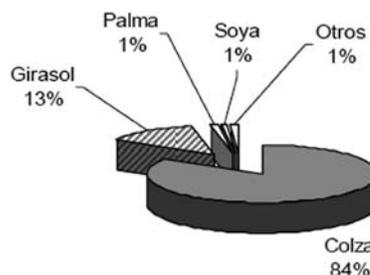


Figura 20. Producción mundial de Biodiesel por materias primas (anual) 2005 (Fuente: Basiron, Y; Choo, Y.M., MPOB (2004). Actualización Cenipalma).

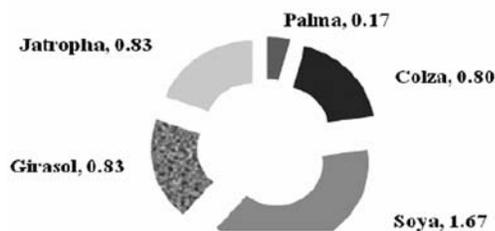


Figura 21. Hectáreas por tonelada de aceite. (Fuente: Dumelin E. Unilever R & D. UK).

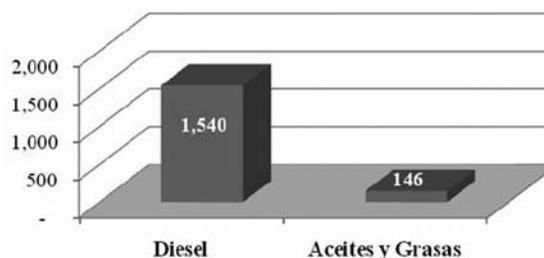


Figura 22. Producción mundial en 2005. Millones de toneladas. (Fuente: Oil World y Fedepalma).

17 Carl Bek-Nielsen, Chairman de United Plantations, [15] anota que del total de 220 millones de hectáreas sembradas con semillas oleaginosas en el planeta, la palma cubre solo el 4.8% del área pero produce el 34.7% de la producción mundial de los 7 principales aceites vegetales.

Carl Bek-Nielsen, Chairman de United Plantations, [15] anota que del total de 220 millones de hectáreas sembradas con semillas oleaginosas en el planeta, la palma cubre solo el 4.8% del área pero produce el 34.7% de la producción mundial de los 7 principales aceites vegetales.

se encuentran en países como la India, Indonesia y Egipto, donde precisamente se ha expandido la siembra de esta planta aceitera [10]. El salario mínimo en Colombia, incluyendo las prestaciones sociales que debe pagar el empleador por Ley, asciende a USD 8.74, por lo cual, las plantaciones de *Jatropha* que se promueven en regiones apartadas como el Vichada, deben analizarse con gran cuidado.

Los biocombustibles enfrentan una gran limitación: la insuficiencia de materias primas para su fabricación, lo cual es particularmente cierto en el caso del biodiesel. Si se hubieran utilizado todas las grasas y aceites que se produjeron en el mundo en el año 2005 para convertirlas en biodiesel, apenas se hubiera podido sustituir un 9.5% del combustible diesel petrolero consumido en ese año. Y si lo hubiéramos hecho, nos habría quedado un mundo desnutrido y maloliente, sin aceite para alimentarnos, ni jabón para nuestro aseo.

Para hacer una sustitución B20 a nivel global en el futuro, es preciso más que duplicar la producción de grasas y aceites. Pero, como es preciso atender las necesidades tradicionales, para lograrlo se tendría que triplicar la producción de grasas y aceites a nivel planetario. Este tipo de limitación también existe para el etanol, como se hizo evidente con las reservas planteadas ante las solicitudes del Presidente Bush, que de atenderlas, consumirían todas las existencias de maíz

en detrimento de la industria americana ganadera, porcina y avícola.

**LAS OPORTUNIDADES PARA COLOMBIA EN LOS MERCADOS DE LOS BIOCOMBUSTIBLES**

La aparición de los biocombustibles constituye una oportunidad para Colombia en el ámbito interno e internacional, tanto en lo concerniente a las gasolinas como a los combustibles diesel. Internamente, los biocombustibles producidos en Colombia ayudan a mitigar los graves problemas de polución y a disminuir la probabilidad de importar petróleo en el futuro. Si usan materias primas locales, el establecimiento de las nuevas plantaciones requeridas genera empleo rural masivo y crea espacios sostenibles para la reinsertión y reconstrucción del país. Esto es particularmente cierto en el caso de la palma de aceite como fuente primaria del biodiesel.

**LA PALMA DE ACEITE COMO MATERIA PRIMA DEL BIODIESEL EN COLOMBIA**

Para empezar, se debe advertir que la oferta mundial de aceites comestibles debe crecer por lo menos en un 60% en los próximos 23 años para atender adecuadamente las necesidades de una población mundial que aumenta diariamente en 215.000 personas, y que el aceite de palma es responsable por la tercera parte de tales suministros. A esto se debe sumar la creciente demanda requerida por el mercado mundial del biodiesel<sup>18</sup>. En la coyuntura actual, a medida que au-

	2005		2006	
	Toneladas	USD x Ton	Toneladas	USD x Ton
Local	424,000	495	464,000	518
CAN	14,590	406	25,000	453
Resto América	24,035	395	24,000	447
Resto Mundo	208,000	369	189,000	422
Ingreso Medio	445		486	

Figura 23. Precios recibidos por los palmicultores en Colombia. (Fuente: Fedepalma).

18 A los productos derivados de la palma se los ataca porque presuntamente están contaminados con la destrucción de las selvas y la extinción de los orangutanes y los elefantes de Sumatra. Tal y como lo anota Carl Bek-Nielsen [15] de los 4.200 millones de hectáreas disponibles en la tierra para la agricultura solamente se usa un 35% y de esa área, las plantaciones de palma de aceite ocupan únicamente el 0.92%.

menta la producción del aceite de palma en Colombia —estimulada por las expectativas de los biocombustibles— una proporción mayor de la oferta debe venderse en los mercados internacionales a precios CIF netos, inferiores a los internos, en razón del flete.

La demanda interna de aceites para biodiesel es un uso nuevo que debe absorber los excedentes exportables sin incurrir en el costo del flete internacional, lo cual mejora la sostenibilidad financiera del sector palmero colombiano<sup>19</sup>. Y el margen es amplio, porque si se utilizaran todos los excedentes de aceite de palma para fabricar biodiesel, apenas podrían sustituir el 35.83% del petrodiesel que se consumirá en 2020<sup>20</sup>.

La viabilidad financiera de los biocombustibles depende de los rendimientos que reciben los integrantes

de su cadena productiva: productor de fruto, productor de aceite y productor de biodiesel. Si para cualquier miembro de la cadena, los réditos son inferiores a su tasa de interés de oportunidad, la producción de biodiesel no es sostenible<sup>21</sup>. El Gobierno estableció una fórmula para conciliar los intereses financieros de los productores de aceite de palma, los fabricantes del biodiesel, los distribuidores de la mezcla y el consumidor final<sup>22</sup>. Si se hubiera producido biodiesel en lo que va corrido del siglo y se hubiera aplicado la fórmula a las condiciones de cada momento, el ingreso para el fabricante de biodiesel hubiera sido el que aparece en la figura 25.

La diferencia entre el ingreso del productor de biodiesel y el ingreso del productor de aceite es de USD

19 La realidad es más compleja pero la idea fundamental es la expuesta.

20 Como la norma colombiana no permite usar B100, es preciso ajustar las proyecciones. Si la norma futura permite mezclas de un 50%, todo el aceite excedente sería requerido por el mercado interno, pero si sólo permite el 20%, en 2020 sería preciso exportar 1.36 millones de toneladas de biodiesel de palma.

21 El ingreso de los productores de aceite de palma en los mercados tradicionales, tanto internos como externos, está determinado por el precio internacional del aceite crudo en Róterdam, el cual fluctúa fuertemente siguiendo los vaivenes de la oferta de los grandes productores (Malasia e Indonesia) y de la demanda de los grandes compradores (India, China). Pero el ingreso también está afectado por el precio de su principal sustituto, el aceite de soya, cuyos mayores productores son Brasil, EE.UU. y Argentina. Debido al bajo volumen de producción de Colombia (1.8% del total mundial), su papel en los mercados tradicionales es el de “tomador” de precio, tanto en la oferta como en la demanda. De manera similar, el precio del diesel en el mercado de los combustibles fósil, está determinado por el precio del crudo de petróleo, que oscila considerablemente por diversas razones de gran complejidad. Colombia es un productor pequeño de petróleo y por este motivo, en el mundo internacional petrolero también es un “tomador” de precio. No así en los mercados internos donde existe una capacidad de maniobra, porque los precios locales de los combustibles están regulados por el Gobierno.

22 La fórmula del Gobierno colombiano establece una banda de precios demarcada por un ingreso “techo” y un ingreso “piso” para los fabricantes del biocombustible. El “techo” se calcula sobre el costo de paridad de importación del carburante diesel importado (FOB Diesel 2 U.S. Gulf Coast) agregándole un factor de “producción eficiente”. El “piso” utiliza como referencia al precio CIF Rotterdam del aceite crudo de palma, más el factor de “producción eficiente”. Este factor se fijó en US\$ 164 por tonelada de biodiesel como costo de la fabricación del biodiesel, incluyendo la recuperación del capital invertido y todos los insumos, exceptuando al aceite vegetal o animal. Además, los costos de producción de la tonelada de aceite de palma son más altos en Colombia que en Malasia e Indonesia: USD 300 a USD 350 en Colombia, versus USD 240 a USD 280 en Malasia y USD 180 en Indonesia. Una de las razones es el mayor costo de la mano de obra en Colombia. Por esta razón, cuando el CIF Róterdam es de USD 350 por tonelada, muchos palmicultores colombianos tienen que vender a pérdida, y solamente cuando el ingreso es superior a USD 400 a USD 450 ellos se encuentran en una situación de sostenibilidad financiera. Para que esto ocurra, en términos generales, el precio internacional debe estar por encima de USD 420 (ingreso sostenible) y el porcentaje de las exportaciones debe ser bajo (menos de 15 - 20%).

	2010	2015	2020
Excedentes Aceite palma Tons (000)	793	1,500	2,720
Biodiesel Potencial Tons (000)	833	1,575	2,856
Consumo ACPM Barriles (000)	35,870	45,780	58,428
Consumo ACPM Toneladas (000)	4,894	6,246	7,971
% máximo de sustitución	17.02%	25.22%	35.83%

Figura 24. Posibilidades de sustitución por biodiesel de palma en Colombia. (Fuente: Fedepalma (aceite de palma), UPME (ACPM)).

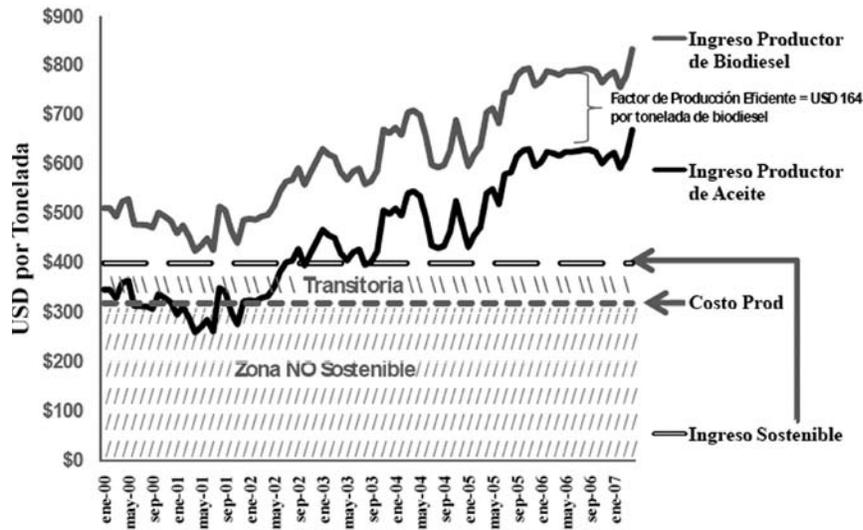


Figura 25. Ingreso recibido por el productor de aceite y de biodiesel de palma. (Fuente: Fedepalma y cálculos del autor).

164, que representa el llamado factor de producción eficiente. Se debe resaltar que cuando los ingresos están por debajo de la línea del costo de producción del aceite de palma, la situación no es sostenible financieramente para el productor de aceite, y esto hubiera acontecido en 2001. Un ingreso ubicado entre el costo de producción y el ingreso sostenible (que permite recuperar la inversión y obtener un rendimiento razonable) es soportable transitoriamente, lo cual hubiera ocurrido en 2002. Cuando el productor de aceite recibe un ingreso superior al sostenible, se encuentra frente a una actividad rentable, como hubiera sucedido a partir de 2004. Todo lo anterior es cierto si los intermediarios no retienen todos los márgenes para sí mismos, en los tiempos de bonanzas.

La realidad es que el mercado de los biocombustibles recoge la complejidad del mercado de dos bienes transables: el crudo de petróleo y el aceite crudo vegetal, en los cuales Colombia no tiene la capacidad de influir internacionalmente. Sin embargo, en los mercados internos de los biocombustibles, el Gobierno ha decidido extrapolar la regulación vigente para

los combustibles petroleros, con lo cual determina su precio local y mantiene una amplia capacidad de maniobra. De todas maneras, en el mediano y largo plazo, el mercado interno también depende del precio internacional de petróleo a pesar de estar regulado, porque en el mundo petrolero, Colombia también es “tomador” de precio.

En resumen, en el mercado de los biocombustibles el precio del biodiesel de palma está determinado por la interacción de los precios internacionales del aceite de palma y del diesel 2 (derivado del petróleo que se usa como referencia), y en ninguno de ellos Colombia tiene mayor influencia global. Cabe señalar que estos mercados eran independientes, pero es muy probable que empiecen a inter-depender el uno del otro, en torno a los biocombustibles. Tradicionalmente el precio por tonelada del aceite de palma había sido mucho más alto que el de la tonelada del diesel 2 y por esta razón, la utilización del biocombustible no había sido viable financieramente. Sólo hasta la mitad de 2004 cuando los precios del petróleo y sus derivados subieron a niveles inesperados, la sustitución se hizo



Figura 26. Precio por tonelada del aceite crudo de palma y del Diesel 2 (Mayo 1995-Marzo 2007). (Fuente: Dpto de Energía de EE.UU y Oil World).

posible y el interés por el biodiesel se disparó a nivel mundial. Esto se aprecia claramente en la figura 26, donde también se resalta la volatilidad de los precios.

Además de lo anterior, la tasa de cambio incide en la competitividad internacional del aceite de palma colombiano. Para el año 2003, Fedepalma estimó el costo de producción de la palma de aceite en Colombia en \$1.2 millones por tonelada y en 2005 el estimativo descendió a \$1.14 millones. Esta reducción en el costo no mejoró la competitividad internacional porque con las tasas de cambio vigentes en cada año, el costo de producción fue de USD 379 y USD 492 en el 2003 y 2004, respectivamente. Así, la pérdida de valor del dólar respecto al peso puso al aceite Colombiano en una situación muy precaria, que se ha podido sortear debido a los altos precios internacionales del aceite de palma que han superado los USD 700 por tonelada en las últimas semanas. Pero, ¿qué sucede si los precios vuelven a sus niveles promedios históricos entre USD 400 y USD 500?

Se puede aseverar que la factibilidad financiera de los biocombustibles depende de la forma como el Gobierno colombiano aproveche su capacidad de ma-

niobra en la fijación del precio interno del biodiesel, el cual debe incidir en el precio interno del aceite que se use como materia prima<sup>23</sup>. De no ser así, los productores de la materia prima no se benefician con la aparición de los biocombustibles y se corre el riesgo de que para ellos no resulte financieramente atractivo producir para este nuevo mercado.

Pero las preocupaciones no paran aquí, porque la intención del Gobierno central es la de promover la expansión de las plantaciones de palma de aceite y de otros cultivos aptos para producir biocombustibles, con el fin de crear empleo rural y de abrir opciones para que la gente pobre, incluyendo a los desplazados y reinsertados, puedan participar de la propiedad de estos nuevos desarrollos. Para que esto ocurra de manera sostenible, es indispensable que los proyectos resulten rentables y que se puedan aprovechar oportunidades como las que traen los biocombustibles que permiten mejorar la rentabilidad del proyecto agrícola y sobretodo, atenuar las oscilaciones en el flujo de caja provenientes de las fluctuaciones en el precio internacional. En este último contexto, el mecanismo de la compraventa de futuros puede ser de gran utilidad.

23 La aplicación de la fórmula del Gobierno muestra que hasta finales de 2004 el ingreso recibido por el fabricante de biodiesel hubiera estado determinado por el ingreso piso y que, durante 2005 y 2006, hubiera correspondido al ingreso techo. El biodiesel palmero es más costoso que el Diesel 2 importado cuando el precio piso es mayor que el precio techo, y ésta es una situación insostenible a menos que se haga obligatorio consumir el biocombustible, aunque cueste más. En estas condiciones el sobrecosto se transfiere al consumidor. La alternativa es que el Gobierno ofrezca subsidios para que el biocombustible resulte igualmente costoso que el Diesel 2, situación en la cual el Gobierno es quien asume el sobrecosto. Un análisis de esta situación se encuentra en [16].

## CONCLUSIONES

- La situación energética de los Estados Unidos sufrirá cambios importantes en el futuro próximo, orientados a disminuir su dependencia del petróleo y sus derivados para sustituirlos por fuentes renovables. Y esto ocurrirá tanto en la generación de energía eléctrica como en el sector transporte. Lo mismo sucederá en la Unión Europea, Japón, Australia y Corea del Sur.
- Tanto en Estados Unidos como en Europa, especialmente Alemania, existe una gran preocupación por la magnitud del petróleo importado que hace vulnerable su seguridad nacional, especialmente en el suministro de energía eléctrica. En EE.UU. casi una cuarta parte de toda la energía consumida proviene de petróleo importado
- La sustitución por las fuentes renovables de energía se ha vuelto financieramente viable debido al enorme incremento en el precio del petróleo y sus derivados. La energía eólica ya es competitiva en ciertas condiciones, lo mismo que los biocombustibles de origen vegetal como el biodiesel y el bioetanol.
- Los Estados Unidos y la Unión Europea serán importadores de biocombustibles o de las materias primas para su fabricación. Esto representa una oportunidad para Colombia, tanto con el etanol como con el biodiesel.
- En Colombia crecerá la demanda por las materias primas para fabricar biodiesel y bioetanol, incluyendo productos nuevos como la yuca y la jatropha. Si se mantienen las perspectivas actuales, la limitación estará en la oferta y no en la demanda porque las materias primas también deben atender los mercados alimentarios tradicionales.
- Se debe prestar gran atención a la factibilidad financiera de los proyectos, lo mismo que a su balance energético y ambiental. Al Gobierno Central le corresponde la responsabilidad de dar las orientaciones adecuadas para cada clase de producto y región donde se piensa cultivar y procesar las diferentes materias primas.

- De la forma como se determine el precio de los biocombustibles en el mercado interno regulado de Colombia dependerá la sostenibilidad financiera de los proyectos específicos, tanto de los fabricantes del biodiesel como de los productores de los aceites que se usen como materia prima.
- La inclusión de esquemas como la compraventa de futuros de la materia prima se debe considerar para amortiguar las oscilaciones de los precios internacionales del crudo de petróleo y del aceite crudo de palma, sobre cuya conformación Colombia tiene muy poca influencia.
- Lo que no puede ocurrir es que se estimule a escala nacional la producción de biocombustibles y el ingreso futuro de los diferentes eslabones de la cadena productiva resulte insuficiente para cubrir los costos de producción y de proceso.

## REFERENCIAS

- [1] **C. Flavin, J. L. Sawin.**  
 “AMERICAN ENERGY. The Renewable Path to Energy Security”. Worldwatch Institute, Center for American Progress. Septiembre 2006.
- [2] **Worldwatch Institute.**  
[www.worldwatch.org](http://www.worldwatch.org)
- [3] **J. B. Heywood.**  
*Internal Combustion Engine Fundamentals* Mc Graw Hill, 1988.
- [4] **A. Infante & Ecología y Entropía.**  
*Estudio de prefactibilidad de los biocombustibles derivados del aceite de palma.* Fedepalma, 2004.

**[5] SAM & WRI.**

*Changing Drivers. The Impact of Climate Change on Competitiveness and Value Creation in the Automotive Industry.* Sustainable Asset Management SAM Zurich & World Resources Institute WRI Washington, 2003.

**[6] American Coalition for Ethanol.**

[www.ethanol.org](http://www.ethanol.org)

**[7] National Ethanol Vehicle Coalition.**

[www.e85fuel.com](http://www.e85fuel.com)

**[8] T.W. Patzek.**

*Thermodynamics of the Corn-Ethanol Biofuel Cycle.* Department of Civil and Environmental Engineering. University of California, Berkeley, 2006.

**[9] M. Wang.**

“Life Cycle Analysis of Advanced Vehicle Technologies and New Fuels”. Center for Transportation Research Argonne National Laboratory. Sustainable Systems Symposium. Ohio State U. Marzo 2006.

**[10] INTRACORP Estrategias Empresariales.**

*Estudio de Factibilidad de la Producción de Biocombustibles en Panamá.* Ministerio de Economía y Finanzas de Panamá. Enero 2007.

**[11] BioPact.**

“And the world’s most productive ethanol crop is...oil palm”. Junio 21 2006. [www.biopact.com](http://www.biopact.com)

**[12] [www.news.cornell.edu/Aug01/corn-basedethanol.hrs.html](http://www.news.cornell.edu/Aug01/corn-basedethanol.hrs.html)****[13] D . Pimentel y T. W. Patzek.**

“Etanol Production Using Corn, Switchgrass, and Wood; Biodiesel Production Using Soybean and Sunflower” *Natural Resources Research*, Vol 14, No 1, 2005.

**[14] A. Sarbri.**

“Sustainability key to palm oil growth and price Outlook” Golden Hope Plantations. Conferencia: Price Outlook: 2007 / 2008. Malasia, Marzo 2007.

**[15] C. Bek-Nielsen.**

*Sustainable Palm Oil Production.* United Plantations. POC 2007. Kuala Lumpur.

**[16] LMC International Ltd**

“Biofuels: An Analysis of Mandatory Blending versus Prices Incentives” In house paper, preparado para Fedepalma. Abril 2005.

**BIBLIOGRAFÍA****American Council on Renewable Energy.**

[www.acore.org](http://www.acore.org)

**American Solar Energy Society.**

[www.ases.org](http://www.ases.org)

**American Wind Energy Association.**

[www.awea.org](http://www.awea.org)

**Cellulosic Ethanol.**

[www.harvestcleanenergy.org](http://www.harvestcleanenergy.org)

**Centro Investigaciones de la Caña de Azúcar de Colombia CENICAÑA.**

[www.cenicana.org](http://www.cenicana.org)

**Centro Investigaciones en Palma de Aceite CENIPALMA Colombia.**

[www.cenipalma.org](http://www.cenipalma.org).

**CIA- The World Factbook.**

[www.cia.gov](http://www.cia.gov)

**Database of State Incentives for Renewable Energy.**

[www.dsireusa.org](http://www.dsireusa.org)

**DOT. US Department of Transportation.**

[www.dot.gov](http://www.dot.gov)

**Energy Efficiency and Renewable Energy, DOE.**

[www.eere.energy.gov](http://www.eere.energy.gov)

**Energy Future Coalition.**

[www.energyfuturecoalition.org](http://www.energyfuturecoalition.org)

**Energy Information Administration –EIA- (US Dept. of Energy).**

[www.eia.doe.gov](http://www.eia.doe.gov)

**Environmental Protection Agency.**

[www.epa.gov](http://www.epa.gov)

**Ethanol Producer Magazine.**

[www.ethanolproducer.com](http://www.ethanolproducer.com)

**European Renewable Energy Council.**

[www.erec-renewables.org](http://www.erec-renewables.org)

**FAO Statistics. FAOSTAT.**

[www.faostat.fao.org](http://www.faostat.fao.org)

**Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite (Colombia).**

[www.fedepalma.org](http://www.fedepalma.org)

**Federación Nacional de Biocombustibles. Colombia.**

[www.fedebiocombustibles.com](http://www.fedebiocombustibles.com)

**Florida Solar Energy Center.**

[www.fsec.ucf.edu](http://www.fsec.ucf.edu)

**Indonesian Oil Palm Research Institute (IOPRI).**

[www.iopri.org](http://www.iopri.org)

**Indice Saucedo.**

[juaju@yahoo.com](mailto:juaju@yahoo.com)

**International Energy Agency (IEA).**

[www.iea.org](http://www.iea.org)

**Journey to Forever.**

[www.journeytoforever.org](http://www.journeytoforever.org)

**IEA, Photovoltaic Power Systems Programme.**

[www.oja-services.nl/iea-pvps](http://www.oja-services.nl/iea-pvps)

**LMC International Limited.**

[www.lmc.co.uk](http://www.lmc.co.uk)

**Malaysian Palm Oil Board (MPOB).**

[www.mpob.gov.my](http://www.mpob.gov.my)

**National Biodiesel Board.**

[www.biodiesel.org](http://www.biodiesel.org)

**National Renewable Energy Laboratory (NREL).**

[www.nrel.gov](http://www.nrel.gov)

**Oil World (ISTA Mielke GmbH).**

[www.oilworld.com](http://www.oilworld.com)

**Plan 25 x 25.**

[www.25x25.org](http://www.25x25.org)

**Renewable Energy Policy Network for the 21<sup>st</sup> Century.**

[www.ren21.net](http://www.ren21.net)

**Renewable Energy Policy Project.**

[www.repp.org](http://www.repp.org)

**Renewable Fuels Association.**

[www.ethanolrfa.org](http://www.ethanolrfa.org)

**Roundtable on Sustainable Palm Oil (RSPO).**

[www.rspo.org](http://www.rspo.org)

**Unidad de Planeación Minero Energética. UPME Colombia.**

[www.upme.gov.co](http://www.upme.gov.co)

**Union of Concerned Scientists.**

[www.ucsusa.org](http://www.ucsusa.org)

**World Oil.**

[www.worldoil.com](http://www.worldoil.com)

**H. Shapouri, J.A. Duffield y M. Wang.**

“The Energy Balance of Corn Ethanol: An Update”  
*Agricultural Economic Report* No 814, 2002, USDA,  
Washington D.C.

**H. Shapouri, P. Gallagher y M.S. Graboski.**

“USDA’s 1988 Ethanol Cost-of-Production Survey”.  
*Agricultural Economic Report* No 808, 2002, USDA,  
Washington D.C.