

# Biocombustibles: desarrollo histórico-tecnológico, mercados actuales y comercio internacional

Carlos Álvarez Maciel\*

## Introducción

Los biocombustibles son recursos energéticos procesados por el ser humano a partir de materias producidas recientemente por seres vivos, a las cuales se les denomina “biomasa”. Pueden ser líquidos, sólidos o gaseosos, y su finalidad última es liberar la energía contenida en sus componentes químicos mediante una reacción de combustión. Existen varios tipos de biocombustibles, a los cuales se les clasifica de acuerdo al insumo o materia prima y a la tecnología empleada para producirlos. Debido a los avances en la tecnología, esta clasificación se realiza por generaciones.

### *Primera generación*

Algunos de los insumos son de procedencia agrícola y están conformados por las partes alimenticias de las plantas, las cuales tienen un alto contenido de almidón, azúcares y aceites. Ejemplos de estas materias son el jugo de la caña de azúcar, granos de maíz, jugo de la remolacha o betabel, aceite de semilla de girasol, aceite de soya, aceite de palma, aceite de ricino, aceite de semilla de algodón, aceite de coco, aceite de maní o cacahuate, entre otros. También se emplean como insumos a las grasas animales, grasas y aceites de desecho provenientes de la cocción y elaboración de alimentos, y desperdicios sólidos orgánicos.

Los biocombustibles son producidos empleando tecnología convencional como la fermentación (para azúcares y carbohidratos), transesterificación (para los aceites y grasas), y la digestión anaerobia (para los desperdicios orgánicos). De estos procesos se obtiene etanol, metanol y n-butanol (a partir de azúcares), biodiesel (a partir de los aceites), y biogás (mezcla de metano y anhídrido carbónico, también conocidos como gas natural y dióxido de carbono respectivamente, obtenida a partir de los desperdicios orgánicos).

Las ventajas de estos biocombustibles son su facilidad de procesamiento, sus bajas emisiones de gases de efecto invernadero (excepto en el caso del

\* Ingeniero químico, Maestría en Ingeniería Energética, Posgrado de Ingeniería, UNAM.

maíz, donde el balance de estas emisiones es casi nulo) y un balance positivo en dichas emisiones, pero tiene como desventaja el desvío de recursos alimenticios hacia la producción de energéticos.

### *Segunda generación*

Los insumos son residuos agrícolas y forestales compuestos principalmente por celulosa. Ejemplos de ellos son el bagazo de la caña de azúcar, el rastrojo de maíz (tallo, hojas y olote), paja de trigo, aserrín, hojas y ramas secas de árboles, etcétera.

Los procesos de producción tienen un nivel de complejidad más alto que los de primera generación, y como ejemplos destacan la sacarificación-fermentación y el proceso Fischer-Tropsch. Este último proceso también recibe los nombres de proceso GTL y proceso BTL, cuyas siglas en inglés provienen de "Gas-To-Liquids" y "Biomass-To-Liquids" respectivamente, los cuales consisten en la gasificación del carbón y de la materia lignocelulósica de la biomasa, para después sintetizar algún combustible líquido como el etanol.

Mediante los procesos de segunda generación se fabrica etanol, metanol, gas de síntesis (mezcla de anhídrido carbonoso, mejor conocido como monóxido de carbono, e hidrógeno), biodiesel, 2.5-dimetilfurano (DMF), entre otros.

La ventaja principal en la producción de estos biocombustibles es la inexistencia de desviaciones de alimentos provenientes de la agricultura hacia el sector energético, pero su desventaja es la poca ganancia en disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero durante el procesamiento de los insumos, respecto a los biocombustibles de primera generación.

### *Tercera generación*

Los insumos son vegetales no alimenticios de crecimiento rápido y con una alta densidad energética almacenada en sus componentes químicos, por lo que se les denomina "cultivos energéticos". Entre estos vegetales están los pastos perennes, árboles y plantas de crecimiento rápido, y las algas verdes y verdeazules.

Los procesos de obtención de biocombustibles se encuentran en fase de desarrollo, sin embargo, se ha logrado producir biodiesel y etanol a nivel planta piloto.

Las ventajas de estos biocombustibles son el secuestro de anhídrido carbónico (CO<sub>2</sub>) para la producción de los insumos y un balance positivo en

la emisión de gases de efecto invernadero, pero su desventaja es la utilización de tierras de cultivo de alimentos para sembrar los insumos, con excepción de las algas verdes.

#### *Cuarta generación*

Los biocombustibles son producidos a partir de bacterias genéticamente modificadas, las cuales emplean anhídrido carbónico (CO<sub>2</sub>) o alguna otra fuente de carbono para la obtención de los biocombustibles.

A diferencia de las generaciones anteriores, en las que también se pueden emplear bacterias y organismos genéticamente modificados como insumo o para realizar alguna parte de los procesos, en la cuarta generación, la bacteria es la que efectúa la totalidad del proceso de producción de los biocombustibles.

Actualmente esta generación de biocombustibles se encuentra en fase teórica, sólo se conoce la posible ruta de síntesis del etanol a partir de anhídrido carbónico, sin embargo, depende totalmente de la información genética de una bacteria artificial y puede tener limitaciones termodinámicas importantes.

Como es sabido, la humanidad ha hecho uso de la biomasa por varios miles de años. El uso directo de la misma sin procesamiento alguno podría constituir una Generación Cero de los biocombustibles, entre los cuales se pueden mencionar a la leña, la paja de trigo, el rastrojo de otras plantas de cultivo, el estiércol del ganado, y el carbón vegetal. No es sino hasta fines del siglo XIX que se comenzó a procesar la biomasa para producir combustibles derivados de la misma. A finales del siglo XX aparecieron los primeros mercados de estos recursos energéticos y se vislumbra un mayor crecimiento, desarrollo y expansión de los mismos tendiente a su globalización. Es por ello que el presente trabajo busca analizar de forma breve el estado actual de estos mercados, sus antecedentes y panorama futuro, así como determinar los nexos entre mercados vía comercio internacional.

#### **Desarrollo de los primeros mercados actuales de biocombustibles: Brasil y Estados Unidos**

El surgimiento de los primeros mercados actuales de biocombustibles en el mundo sucedió a raíz de la primera crisis petrolera ocurrida en 1973, cuando el petróleo se encareció enormemente. Esta crisis afectó a todos los

países del mundo, principalmente a aquellos países sin reservas petrolíferas o producción suficiente del recurso. Entre estos últimos estaban Brasil y Estados Unidos.

### *Brasil*

El desarrollo de la tecnología de producción, aprovechamiento y uso final de biocombustibles en Brasil tiene origen en el período 1905-1925 con las primeras pruebas de etanol como combustible en vehículos automotores. En 1931, el gobierno estableció un decreto que obligaba a mezclar 5% de etanol en la nafta importada. En 1938, el decreto 737 extendió la mezcla de etanol a la nafta producida en Brasil. Después de la Segunda Guerra Mundial, el empleo de etanol casi no creció debido a los bajos precios del petróleo, aunque la totalidad de éste era importado. En 1975, tras la primer crisis petrolera mundial, el gobierno brasileño organizó el Programa Nacional del Alcohol, conocido en portugués como Proálcool, cuyos objetivos principales eran:

- 1) Introducir en el mercado brasileño una mezcla combustible de gasolina con alcohol.
- 2) Incentivar el desarrollo de los motores con capacidad de funcionar quemando alcohol hidratado y mezclas de gasolina con alcohol anhidro.

En 1977, en la Universidad Federal de Ceará, Expedito Parente produjo biodiesel a partir de aceite de semilla de algodón, combustible cuyo proceso de obtención patentó en 1980.

En 1979, fueron lanzados al mercado interno dos tipos de etanol:

*Anhidro* (100% etanol), para mezclarse con la gasolina en proporciones que iban de 20 a 25% en volumen de etanol.

*Hidratado* (96% etanol, 4% agua), para uso directo en motores de ciclo Otto en automóviles modificados.

Ambos tipos de etanol fueron y son producidos mediante la fermentación del jugo de caña de azúcar, una tecnología de primera generación. A las mezclas de etanol con gasolina también se les conoce con el nombre de "gasohol". En ese mismo año, fue comercializado el primer automóvil movido sólo por etanol (de tipo hidratado).

El período de 1995 al 2002 se caracterizó por una serie de reformas legales y constitucionales en materia de desregulación paraestatal y de liberalización

de precios de energéticos. Esto motivó la creación y fortalecimiento de un mercado interno para los biocombustibles, el cual compite con el de productos petrolíferos.

En 2003, tras una alianza estratégica efectuada entre el gobierno brasileño y compañías extranjeras ensambladoras de automóviles con instalaciones en Brasil, se comenzaron a fabricar vehículos con la capacidad de funcionar a base de cualquier mezcla de gasolina con etanol anhidro (desde 0% hasta un 100% de etanol), a los cuales se les denominó "flex-fuel". En mayo de ese año, Volkswagen comercializó en el mercado el primer automóvil flex-fuel: Gol 1.6 Total Flex, con tecnología diseñada por Bosch. Dos meses después, Chevrolet sacó a la venta el Corsa 1.8 Flexpower, con un motor especial diseñado por Fiat.

En 2004, Petróleo Brasileiro S.A., la empresa petrolera estatal desregulada mejor conocida como Petrobras, inició el desarrollo de la tecnología para convertir aceites vegetales en diesel (no biodiesel), patentándose en 2006 en Brasil y en Estados Unidos bajo el nombre de "proceso HBIO". A partir de entonces, comienza a implementarse esta tecnología en algunas refinerías de diesel fósil de Petrobras, donde al diesel obtenido a partir del petróleo se le añade aceite vegetal refinado, para luego hidrogenar esta mezcla con la incorporación de otras fracciones petrolíferas y, finalmente, obtener diesel de mejor calidad química y energética.

También en 2004, el gobierno organizó el Programa Nacional de Biodiesel (Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel, en portugués), para fomentar la producción del biocombustible y su introducción en el mercado energético interno. Este programa gubernamental consta de varios instrumentos, entre ellos hay dos de carácter social: el Modelo de Impuestos al Biodiesel y el Sello de Combustible Social.

En 2005, el Congreso de Brasil emitió la Ley 11.097/2005 en la cual se establecen los porcentajes mínimos de mezcla de biodiesel con diesel fósil, con la finalidad de escalonar la introducción del biodiesel al mercado energético. De acuerdo a esta ley, en el período 2005-2007 se autoriza 2% de biodiesel mezclado con el diesel convencional; en el período 2008-2012 es obligatoria la mezcla a 2%; y a partir del 2013, el diesel tradicional debe contener mínimo 5% de biodiesel. También fue emitida la Ley 11.116/2005 que establece exenciones de impuestos a las compañías productoras de biodiesel cuya materia prima provenga de granjas familiares en situación de pobreza.

En 2007, se dejaron de fabricar automóviles movidos sólo por etanol, pues por ser éste hidratado, no puede mezclarse con gasolina como en el

caso de los autos flex-fuel, los cuales dominarán el mercado automotriz en la próxima década.

En 2008, Empresa Brasileira de Aeronáutica S.A. (Embraer) fabricó y probó la primer aeronave movida sólo por etanol. Es una avioneta monoplaza utilizada en áreas agrícolas y puede usar como combustible gasolina o etanol, mas no sus mezclas, por el momento.

### *Estados Unidos*

Los biocombustibles comenzaron a ser utilizados en Estados Unidos a finales del siglo XIX, aunque a nivel experimental. El primer automóvil que construyó Henry Ford en 1896, llamado "Quadricycle", utilizaba etanol como combustible. Después él mismo lo reemplazó por gasolina, pues tenía un mayor contenido energético por unidad de volumen que el etanol. El etanol no fue empleado como combustible en Estados Unidos casi todo el siglo XX, excepto en períodos de escasez de petróleo como en las crisis petroleras de 1973 y 1979, durante los cuales se le mezclaba con gasolina para estirar existencias. En 1978, surge la primer ley aplicada a los biocombustibles: Ley del Impuesto a la Energía (Energy Tax Act, en inglés). Tras esta ley, se aprobaron muchas otras más relacionadas con los biocombustibles en lo restante del siglo XX y el inicio del siglo XXI.

Para la producción de etanol, fueron desarrolladas diversas líneas tecnológicas de primera generación para la obtención del biocombustible, las dos más usadas tienen al grano de maíz como materia prima. La primera de éstas, conocida como de molienda seca, consiste en moler los granos de maíz para producir harina, a la cual se le añaden agua y enzimas para cocerla. Luego se agrega levadura para fermentar la harina de maíz y obtener etanol por destilación. Esta es la ruta tecnológica más empleada actualmente en Estados Unidos, pues las plantas productoras de etanol por molienda seca constituyen (en 2008) 80% de la capacidad de producción. La segunda tecnología, conocida como de molienda húmeda, consiste en cocer el grano de maíz en agua caliente para separar la proteína del almidón. La fracción que contiene al almidón es molida y se le separa el almidón para secarlo. Éste es empleado para obtener azúcares los que son fermentados para obtener etanol. Aunque fue la primer ruta tecnológica en ser desarrollada, está declinando debido a su menor productividad respecto a la de molienda seca.

En cuanto al biodiesel, se le obtiene a partir de una gran variedad de aceites vegetales, destacando de entre todos ellos el de soya, y en menor

medida, el de maíz. La tecnología empleada es de primera generación y consiste en transesterificar con metanol al aceite vegetal refinado, para obtener biodiesel como producto principal y glicerina como subproducto. La glicerina es separada del biodiesel, y finalmente éste puede ser mezclado con diesel proveniente del petróleo, o bien, ser utilizado sin mezclar, es decir 100% puro.

En el año 2000, fue publicada la Ley de Investigación y Desarrollo de la Biomasa (Biomass Research and Development Act, en inglés) en la que los departamentos gubernamentales de energía (Department of Energy, DOE) y de agricultura (Department of Agriculture) tienen como mandato la coordinación a nivel federal de las actividades de investigación y desarrollo relacionados con los biocombustibles y subproductos asociados a la transformación de la biomasa.

A partir de entonces, se han estado desarrollando otras rutas tecnológicas de obtención de etanol, principalmente de segunda y tercera generación, las cuales en general consisten en producir el biocombustible mediante la hidrólisis enzimática de la celulosa de pastos y otras plantas fibrosas que crecen ampliamente en el territorio estadounidense. No se contempla la utilización de caña de azúcar debido a que es un cultivo no apto al clima de Estados Unidos, salvo en ciertas regiones del sur.

En 2001, la entonces recién fundada empresa GreenFuel Technologies patentó un proceso de secuestro de CO<sub>2</sub> y producción de biodiesel basado en algas verdes.

En 2004, el Congreso de Estados Unidos aprobó la Ley de Creación de Empleos Estadounidenses (American Jobs Creation Act, en inglés, o ley H.R. 4520), en cuyo título III subtítulo A fue establecido el Crédito sobre Impuestos al Contenido Volumétrico de Etanol (Volumetric Ethanol Excise Tax Credit, VEETC, en inglés).

En 2005, entró en vigor la Ley de Política Energética (Energy Policy Act, EPAct, en inglés) cuya sección 1501 establece una norma sobre combustibles renovables (Renewable Fuel Standard, RFS, en inglés) en la que se hace obligatoria la incorporación de 7.5 mil millones de galones (28.4 mil millones de litros) de biocombustibles a la gasolina para 2012. Además, esta ley provee una serie de incentivos fiscales a la producción y uso de biocombustibles, entre los cuales están el Incentivo al Pequeño Productor de Etanol (Small Ethanol Producer Tax Credit), el Incentivo al Pequeño Productor de Agrobiodiesel (Small Agri-Biodiesel Producer Tax Credit) y un crédito a la compra de equipo surtidor de combustibles alternativos.

En 2006, entró en vigor el Crédito al Vehículo Automotor Alternativo Calificado (Qualified Alternative Fuel Motor Vehicle Tax Credit, en inglés), consistente en un incentivo económico para los compradores de vehículos que utilicen biocombustibles o cualquier otra fuente de energía renovable.

En marzo de 2007, los presidentes de Estados Unidos y de Brasil firmaron un memorándum de entendimiento para establecer una asociación energética con la finalidad de impulsar el uso del etanol y el biodiesel en Norteamérica y Sudamérica. Asimismo, en ese año inició un esfuerzo entre sociedades químicas, universidades, empresas e instituciones gubernamentales de ambos países para fomentar la investigación y desarrollo de los biocombustibles. De esta forma, ambos gobiernos buscan convertir al etanol en un commodity mundial.

En diciembre de 2007, entró en vigor la Ley de Seguridad e Independencia Energéticas (Energy Independence and Security Act, en inglés), cuya sección 202 estipula los porcentajes mínimos de mezcla de combustibles fósiles con biocombustibles, con lo que se reformula la norma RFS de 2005.

En 2009, para disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero, el gobierno federal comenzará a invertir, con un horizonte de diez años, US\$ 150 mil millones en investigación y desarrollo de tecnologías energéticas más eficientes y menos contaminantes, entre las cuales están los biocombustibles.

## **Mercados actuales de Biocombustibles**

### *Brasil*

Por ser el pionero en la producción y uso masivos de etanol como combustible, lo que implicó contar con una infraestructura de producción de los insumos, de transformación de los mismos y de aprovechamiento en el sector transporte, Brasil se ha convertido en referencia obligada al tratar el tema de los biocombustibles. Esto además le ha permitido al país desarrollarse industrial y económicamente, pues en el período 2004-2007 la tasa de crecimiento de su producto interno bruto ha sido de 4.5% promedio anual (a dinero constante). Aunado a esto, Petrobras ha desarrollado tecnología para exploración y explotación de petróleo en yacimientos ubicados en aguas oceánicas profundas, donde ha descubierto campos petrolíferos grandes, con lo que sus reservas están entre las más grandes de América. Debido a estos logros, Brasil se ha convertido en exportador neto de energéticos desde 2002. El volumen de las exportaciones de petróleo crudo brasileño

aumentó 18.7 veces en el período 2000-2006; las exportaciones de derivados de petróleo duplicaron su cantidad de 1997 a 2006; y las exportaciones de etanol se incrementaron 1015% en el período 2001-2006. En la actualidad, la balanza comercial de combustibles con el exterior es favorable para Brasil.

Por el lado de la producción, actualmente existen cuatro refinерías con el proceso HBIO que producen diesel mejorado, 46 plantas productoras de biodiesel, y 355 ingenios azucareros (conocidos como “usinas”) destilan etanol para su uso como biocombustible. Para transportar al etanol hacia el Océano Atlántico desde los centros de producción, Brasil cuenta con 800 km de ductos, que técnicamente son poliductos denominados alcoholductos (álcooldutos en portugués), y está en proyecto la expansión de estos ductos hacia la zona central del país. Además, existen planes gubernamentales para expandir la producción de biocombustibles con tecnología brasileña hacia el resto del mundo.

En el año 2007, Brasil produjo 21 300 millones de litros (ML) de etanol y 730 ML de biodiesel, consumió 17 767 ML de etanol, y exportó 3 532.7 ML de etanol principalmente a Europa (Suecia y Países Bajos, mayoritariamente), Estados Unidos, Trinidad y Tobago, El Salvador y Costa Rica. En 2008, produjo 24 500 ML de etanol, por lo que se mantiene como el segundo mayor productor del mismo.

Por el lado del aprovechamiento de los biocombustibles, entre las compañías fabricantes de automóviles flex-fuel están Volkswagen, Chevrolet, Ford, Fiat, Renault, Peugeot, Mitsubishi, Honda, Toyota y Citroën, y han sido vendidos de 2003 hasta abril de 2009 unos 7.75 millones de vehículos, lo que equivale aproximadamente a 45% del parque vehicular automotor de Brasil no mayor a diez años de antigüedad. En 2008 cesó la venta de automóviles que funcionaban sólo con etanol (de tipo hidratado).

Petrobras es el principal comprador y distribuidor de etanol y biodiesel en Brasil, pues sólo produce combustibles fósiles y los mezcla para su venta en el mercado interno. Esta empresa comercializa el E25 (gasolina con 25% de etanol anhidro) y diversas mezclas de diesel fósil con biodiesel, y además, el etanol comúnmente es expendido en el mercado brasileño en forma anhídrica, para que el cliente pueda mezclarlo libremente con la gasolina. Los precios de la gasolina y el etanol por unidad de energía son muy cercanos entre sí, por ende el precio del biocombustible es atractivo para el consumidor final.

### *Estados Unidos*

La producción de etanol actualmente (a enero de 2009) se efectúa en 176 plantas, y están en construcción 45 destiladoras. En 2007, Estados Unidos produjo 24 600 ML de etanol, consumió 26 203 ML e importó 1 703 ML. En 2008, produjo 34 962 ML de etanol, consolidándose como el mayor productor mundial del biocombustible, pero importó 1 963 ML con lo que sigue siendo el principal importador de etanol en el mundo. Respecto al biodiesel, en 2007, Estados Unidos produjo 1 855 ML y exportó 498 ML. En 2008, produjo 2 585 ML y exportó 1 371 ML, con lo cual se consolida como el segundo mayor productor y exportador de biodiesel.

Otro biocombustible producido en Estados Unidos es el biogás. A 2009, existen 485 plantas (con una capacidad instalada de 1 500 MW) de aprovechamiento del energético, y están en proyecto unas 520 plantas más (1 180 MW). En California se han efectuado pruebas en vehículos para suplir al gas natural por biogás. Además, instituciones gubernamentales, universidades y empresas estadounidenses están desarrollando otros biocombustibles como el biobutanol (n-butanol obtenido de una fermentación especial de azúcares), DMF (2.5-dimetilfurano obtenido de ciertos azúcares mediante un proceso BTL) y serie P (mezcla de pentanos de los líquidos del gas natural, etanol y metiltetrahidrofurano para usarse en vehículos flex-fuel), entre otros más.

En el mercado energético estadounidense se comercializan los biocombustibles E85 (mezcla de 85% etanol y 15% gasolina), B20 (mezcla de 20% biodiesel y 80% diesel fósil), B2 - B5 (mezcla de diesel fósil con 2 ó 5% de biodiesel) y B99 - B100 (biodiesel puro), además de otros a nivel local. En 2008, existían más de 1 600 estaciones de servicio que expendían E85 y otras mezclas con biocombustibles. Los precios por unidad de energía de la gasolina y el etanol han tenido una diferencia promedio de US\$ 0.50, desde el año 2000. En cuanto a los precios por unidad de energía del diesel fósil y de sus diferentes mezclas con biodiesel, se han mantenido similares desde 2002 excepto el de biodiesel puro (B99-B100) que en promedio es US\$ 1.20 mayor al precio de los demás. De esta forma, las mezclas de biodiesel B2 a B20 son competitivas frente al diesel fósil, por lo que se espera un aumento en su consumo a corto y mediano plazos conllevando una disminución en la dependencia estadounidense de petróleo. De 1994 a 2007 el sector transporte de Estados Unidos ha remplazado con biocombustibles 2 001 millones de galones de gasolina en total.

Los principales consumidores de etanol en Estados Unidos son los vehículos flex-fuel (conocidos como “flexible fuel vehicles”, FFV por sus siglas en inglés, o simplemente “flexifuel”), los cuales totalizaban 4.4 millones en 2007, mientras que había 1 133 gasolineras expendiendo al menos E85, aparentemente casi 4 000 vehículos flex-fuel por cada gasolinera con E85, pero éstas se encuentran distribuidas inequitativamente en todo el territorio estadounidense. El gobierno federal sigue apoyando con incentivos fiscales a las empresas y gobiernos estatales para transformar la infraestructura de uso final de la energía y así poder expandir el mercado de biocombustibles, para cumplir con los objetivos fijados por el presidente Barack Obama en su Ley de Recuperación y Reinversión Estadounidenses (American Recovery and Reinvestment Act, en inglés) del 2009.

### *Europa*

El uso de biocombustibles en Europa se remonta a finales del siglo XIX, cuando estaban en desarrollo los primeros motores de combustión interna. En 1897 Rudolph Diesel probó con éxito su primer motor en Alemania, el cual utilizó aceite de maní o cacahuete. Otros inventores alemanes y europeos realizaron pruebas con etanol en motores de su propia fabricación. También en este país fue desarrollado el proceso Fischer-Tropsch (procesos GTL y BTL) en 1926, con el cual se transformaba al carbón (muy abundante en Alemania) en petrolíferos sintéticos para compensar la escasez alemana de petróleo. En la década de 1920, los gobiernos de Alemania y Francia emitieron leyes que obligaban a mezclar etanol con gasolina para el transporte.

Durante la Segunda Guerra Mundial, varios países europeos mezclaron sus gasolinas con etanol para estirar sus reservas, las cuales eran mayoritariamente importadas. En la Alemania Nazi, se llegaron a producir 124 000 barriles de petrolíferos sintéticos al día, los cuales también llegaron a ser mezclados con etanol. Con el fin de la Segunda Guerra Mundial en 1945 y con los precios del petróleo muy bajos, el etanol dejó de utilizarse para fines energéticos. Tras las crisis petroleras de la década de 1970 y la adopción del Protocolo de Kyoto en 1997, diversos gobiernos europeos iniciaron planes y esfuerzos tendientes a la incorporación de combustibles renovables en su mercado energético.

Actualmente, la Unión Europea es uno de los más grandes mercados de biocombustibles en el mundo, y en cuanto al biodiesel es el mayor mercado, pues en 2008 consumió 7 694 097 toneladas de petróleo equivalente (TPE) de

biocombustibles, cifra conformada por 1 166 243 TPE (2 325 ML) de etanol, 5 774 207 TPE (7 326 ML) de biodiesel y 753 617 TPE de otros biocombustibles. Los países productores y consumidores de etanol en Europa están enlistados en la tabla 1, y los correspondientes a biodiesel se encuentran en la tabla 2, así como sus respectivas materias primas.

Tabla 1  
Producción y consumo de etanol biocombustible en Europa  
(cifras de 2007 en ML/año)

País	Producción	Consumo	Materias Primas
Alemania	394	584	Trigo, centeno, cebada, remolacha y carbón (sintético)
Austria	0	44	Trigo, maíz y remolacha
Bulgaria	*	132	*
Dinamarca	*	12	*
Eslovaquia	30	26	*
Eslovenia	*	1.6	*
España	348	225	Vino, centeno, trigo y remolacha
Francia	539	544	Remolacha, trigo, vino, residuos de uva vinífera y melazas
Hungría	30	18	Granos
Irlanda	0	4.7	*
Italia	60	0	Vino, remolacha, maíz y frutas (manzana)
Letonia	18	3.5	*
Lituania	20	23	*
Luxemburgo	*	1.7	*
Países Bajos	14	17	*
Polonia	155	170	Papa, trigo, maíz, cebada, centeno y melazas
Reino Unido	20	156	Trigo, remolacha, colza
República Checa	33	0.36	*
Suecia	70	362	Vino
Suiza	2.5	6.9**	Pulpa de papel
Ucrania	100**	*	Colza, trigo y melazas

\* Dato no disponible.

\*\*Estimado.

Fuente: Biofuels Platform, Production of bioethanol in Switzerland

Eurobserv'er; Le Baromètre des Biocarburants; June 2008

European Bioethanol Fuel Association (eBIO)

ROTHKOPF, Garten; A Blueprint for Green Energy in the Americas; IADB, USA: 2007.

Tabla 2  
*Producción y consumo de biodiesel en Europa (cifras de 2007 en ML/año)*

País	Producción	Consumo	Materias Primas
Alemania	3 255	3 792	Colza
Austria	301	471	Colza
Bélgica	187	117	*
Bulgaria	10	59	*
Chipre	1	*	*
Dinamarca	96	0	*
Eslovaquia	52	*	*
Eslovenia	12	17	*
España	189	334	Aceites vegetales puros y usados
Finlandia	44	*	Grasa animal y colza
Francia	982	1,489	Colza y girasol
Grecia	113	104	*
Hungría	8	0	Colza
Irlanda	3	6	*
Italia	409	179	Colza
Letonia	10	0.0026	*
Lituania	29	53	*
Malta	1	0	*
Países Bajos	96	*	*
Polonia	90	0.20	*
Portugal	197	204	*
Reino Unido	169	347	Colza y aceite vegetal reciclado
República Checa	69	42	Colza
Rumania	41	*	*
Suecia	71	128	Colza
Suiza	10	3.6**	Colza y aceite usado

\* Dato no disponible.

\*\*Estimado.

Fuente: Biofuels Platform, Production of biodiesel in Switzerland.

Eurobserv'er; Le Baromètre des Biocarburants; June 2008.

Rothkopf, Garten; A Blueprint for Green Energy in the Americas; IADB, USA: 2007.

Como puede observarse en las tablas 1 y 2, el mercado de biodiesel en Europa es 3.15 veces mayor que el de etanol, ambos consumidos en su totalidad por el sector transporte. Asimismo, el consumo de biocombustibles es mayor que su producción, por lo que Europa, en general, es un consumidor neto. Para satisfacer la demanda europea de biocombustibles, estos países importan etanol de Brasil, Paquistán, Sudáfrica y Ucrania, y biodiesel de Brasil y Estados Unidos.

Países como República Checa, Francia y Alemania transforman el etanol en etil-terbutiléter (ETBE) para utilizarlo como oxigenante de sus gasolinas. Suecia es el país europeo con el mayor consumo de mezclas gasolina-etanol, y por ende, es el único donde se comercializan autos flex-fuel. De 2001 a mayo de 2009, en Suecia se han vendido 301 054 automóviles flex-fuel de fabricación nacional (Volvo, SAAB, y marcas extranjeras como Ford y Volkswagen).

En Europa se produce y consume biogás, además de etanol y biodiesel. En 2006, fueron producidos en la Unión Europea un total de 4.8989 millones de TPE (MTPE) provenientes de rellenos sanitarios y granjas. Los principales productores de biogás son Alemania (1.6653 MTPE en 2006), Reino Unido (1.4985 MTPE), Italia (0.3832 MTPE), España (0.3197 MTPE), Francia (0.2981 MTPE), Países Bajos (0.1411 MTPE) y Austria (0.1181 MTPE). Existen plantas generadoras de electricidad a base de biogás en Europa, las cuales generaron en total 16 973.2 GWh en 2006. Suecia y Suiza son los únicos países europeos que comercializan biogás puro como combustible en el sector transporte.

### *América*

Además de Brasil y Estados Unidos, que son los dos mayores productores de biocombustibles en el continente americano y en el mundo, producen etanol como biocombustible Canadá (800 ML en 2007), Colombia (284 ML), El Salvador (277 ML), Costa Rica (149 ML), Perú (30 ML), Argentina (20 ML) y Paraguay (18 ML). Otros países como Guatemala (79 ML en 2006), Cuba (45 ML), Ecuador (45 ML), México (49 ML) y Nicaragua (30 ML), también producen etanol pero no tiene un uso final como biocombustible.

En el primer conjunto de países destaca Argentina por haber comenzado a promover el uso de biocombustibles desde hace mucho tiempo (1922) a la par que Brasil. En 1928, fue realizada una prueba con éxito moviendo un Ford T con una mezcla de gasolina-etanol a 80% (E80). En 1979, varios fabricantes de automóviles ayudaron a crear el primer programa de uso

de etanol denominado Programa Alconafta. En 1985, la totalidad de la región noroeste de Argentina fue parte de este programa, y se iniciaría una segunda fase con la promoción de exportaciones de azúcar. Tras una serie de cosechas perdidas, un alto precio internacional del azúcar y condiciones desfavorables de mercado, el Programa Alconafta se extinguió a principios de la década de 1990. En 2001, el gobierno argentino estableció el Programa Nacional de Biocombustibles (Resolución 1076/2001), junto con el Plan de Competitividad del Biodiesel (Decreto 1396/2001), con lo cual se buscaba restablecer al extinto Programa Alconafta pero con una mayor amplitud de espectro. En 2006, el gobierno decidió englobar todos estos programas y planes en una sola Ley de Biocombustibles 26-093/2006, para promover un modelo de industria de estos energéticos semejante al modelo brasileño. En 2007, Argentina además produjo 180 ML de biodiesel para su mercado interno.

Costa Rica inició el desarrollo de una industria de los biocombustibles en 1974 con su Programa de Energías Renovables, cuyo objetivo principal era disminuir la dependencia energética del exterior. En 1978, fue instalada la primer destilería de etanol a base de jugo de caña. Desde entonces, el gobierno costarricense ha fomentado la producción y uso de etanol. En cuanto al biodiesel, será producido en el corto plazo a partir de aceite de palma, el cual se usa para cocinar. Además, en Costa Rica se ha desarrollado tecnología de producción de biodiesel a partir de algas verdes.

El Salvador fue seleccionado en 2007 por Brasil y Estados Unidos para que este último contara con un suministro de etanol producido con tecnología brasileña pero con un menor costo de transporte, por estar más cerca El Salvador a Estados Unidos que Brasil. Además, este proyecto pretende desarrollar el mercado salvadoreño del etanol con la sustitución completa de los petrolíferos a mediano y largo plazos. La industria salvadoreña del biodiesel es incipiente, y tiene como insumos la soya, jatropha (piñón), higuierilla y semilla de algodón.

En América Latina, el etanol es obtenido principalmente del jugo de la caña de azúcar, aunque en Paraguay también se le produce a partir de trigo, maíz y cassava (yuca o mandioca). En Canadá, 73% del etanol es producido a partir de maíz, 17% de trigo y 3% de cebada, y el biodiesel es obtenido de canola y grasas animales. El caso de México será tratado más adelante, al igual que el de otros países de América Latina y el Caribe.

## *Asia*

Los mayores productores de etanol en Asia son China (1 840 ML en 2007), Tailandia (300 ML), India (250 ML), Turquía (60 ML) y Paquistán (35 ML). Otros productores de etanol son Japón, Indonesia y Filipinas. Los principales países productores de biodiesel son Indonesia (760 ML en 2007), China (338 ML) y Malasia (150 ML). Otros países productores de biodiesel son Filipinas, Japón, Tailandia e India.

China es el tercer mayor productor de etanol en el mundo y es el segundo mayor productor de biodiesel en Asia. 80% del etanol producido en China proviene del maíz, el restante es obtenido de trigo, sorgo, cassava y patata dulce (camote). Por su parte, el biodiesel es producido a partir de aceites de cocina usados y grasas animales, pues debido a los hábitos de cocina chinos se producen anualmente cerca de 3 millones de toneladas de estos aceites y grasas. Debido a la baja calidad del biodiesel, no se le usa para mezclarlo con diesel fósil para el transporte, actualmente es utilizado como solvente industrial y como un aditivo para el carbón en plantas termoeléctricas. Actualmente existen proyectos para producir etanol de rastrojos agrícolas y biodiesel de *jatropha*.

Indonesia ha sido un país productor de petróleo miembro de la Organización de Países Exportadores de Petróleo (OPEP, siglas en español, u OPEC en inglés), pero debido al agotamiento de sus reservas y a la caída de su producción, se convirtió en un país importador neto de petróleo, lo que produjo su separación de la OPEP en 2008. Previendo esto, en 2006 el gobierno indonesio emitió una serie de decretos tendientes a crear un mercado de biocombustibles, con el objetivo de incorporarlos a la oferta energética interna en 5% para el año 2025. El etanol es producido a partir de melazas de caña de azúcar y se planea obtenerlo también de cassava. El biodiesel se fabrica a partir de aceite de palma, insumo del que es el mayor productor en el mundo desde 2007. La empresa petrolera estatal Pertamina (Perusahaan Tambang Minyak Negara, en bahasa indonesio) comercializa en el mercado interno las mezclas B5 (conocida como Biosolar) y E5 (ofertada como Biopertamax).

Japón está comenzando a desarrollar una industria de los biocombustibles, debido a sus compromisos con el Protocolo de Kyoto y al incremento en los precios del petróleo, del cual es el tercer mayor consumidor del mundo y uno de los principales importadores. En 2002, fue publicada la Estrategia Nacional de la Biomasa (Biomass Nippon Strategy, en inglés), entre cuyos

objetivos está el impulso a la industria de la energía alternativa. En 2005, el Banco Japonés para la Cooperación Internacional (Japan Bank for International Cooperation, en inglés) firmó un acuerdo con el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Abastecimiento (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, en portugués) de Brasil para establecer lineamientos de un programa bilateral de biocombustibles con el que Japón los importaría de aquel país. A partir de entonces, varias empresas japonesas invierten en el sector productivo de Brasil para desarrollar cultivos y tecnologías que permitan disminuir el precio del etanol y el biodiesel brasileños. También en 2005, Petrobras y la compañía japonesa Nippon Alcohol Hanbai (NAH) se asociaron para crear una empresa llamada Nippon Ethanol, con el objetivo de importar etanol brasileño. En 2006, la Ley sobre el Control de la Calidad de la Gasolina y Otros Combustibles (Law on the Quality Control of Gasoline and Other Fuels, en inglés) establece el uso de una mezcla de gasolina con 3% de etanol (E3) en el sector transporte. Actualmente, el etanol es producido a partir de melazas de caña de azúcar, trigo, maíz, sorgo y residuos de madera, y el biodiesel es obtenido de colza. Existen proyectos para obtener etanol de residuos agrícolas y biodiesel de aceite de palma y aceites de cocina usados.

Paquistán produce etanol a partir de caña de azúcar, el cual exporta a la Unión Europea y a Suiza, compitiendo con el etanol de Brasil. El desarrollo del mercado de etanol en Paquistán comenzó en 2005 cuando la Unión Europea impuso un arancel al etanol paquistaní, con lo cual disminuyeron las exportaciones hacia Europa y produjo excedentes del alcohol en el país. De esta forma, la Asociación de Ingenios Azucareros de Paquistán (Pakistan Sugar Mills Association, PMSA, en inglés) cabildeó con el gobierno para implementar medidas tendientes a crear un mercado interno del etanol. En 2007, la compañía petrolera estatal Pakistan State Oil (PSO) y el Instituto de Hidrocarburos de Paquistán (Hydrocarbon Institute of Pakistan, en inglés), por instrucción del gobierno paquistaní, iniciaron un proyecto piloto para introducir y fomentar el uso de mezclas de gasolina con 10% de etanol (E10). PMSA sigue presionando a PSO para comercializar E10 en todo el país. Fueron exportados 34 ML de etanol en 2007 principalmente hacia Europa. No existen planes de producción de biodiesel en Paquistán.

India produce etanol a partir de azúcar y melazas de la caña, y biodiesel de jatropha. Malasia produce biodiesel a partir del aceite de palma, del cual era el mayor productor en el mundo hasta 2007 cuando fue superado por Indonesia. No tiene planes de producir ni de utilizar etanol como biocombustible. Tailandia es el tercer mayor productor de aceite de palma

en el mundo, insumo que mayoritariamente utiliza para producir biodiesel, junto con el aceite de cocina usado, y existen proyectos para fabricar biodiesel de *jatropha*. 90% del etanol tailandés es producido a partir de melazas de la caña de azúcar y 10% restante proviene de la cassava, insumo que incrementará este porcentaje en el corto y mediano plazos. Filipinas es un importador neto de etanol, el cual es obtenido de caña de azúcar, y un gran productor de biodiesel de aceite de coco, insumo del que es una potencia productiva. Turquía produce etanol de remolacha y biodiesel a partir de aceites vegetales, y aunque actualmente es un importador neto de estas materias primas, existen proyectos para incrementar la producción de los mismos.

### *África*

Los únicos países que producen etanol para uso energético son Etiopía, Malawi y Sudáfrica. Etiopía lo obtiene de la fermentación del jugo de la caña de azúcar y lo mezcla con queroseno en 50% (K50, sigla en inglés) para uso doméstico (cocción de alimentos, iluminación y calefacción). Malawi produce etanol a partir de las melazas del procesamiento de la caña de azúcar, y lo ha mezclado con gasolina en 12% (E12) desde 1982 para uso en el sector transporte.

A diferencia de estos países, Sudáfrica ha producido etanol de forma sintética desde la década de 1950, mediante los procesos GTL y BTL. La empresa sudafricana SASOL (Suid-Afrikaanse Steenkool en Olie Ltd., en afrikaans) desarrolló esta tecnología en 1955, y es pionera en la producción de combustibles sintéticos (conocidos en inglés como "synfuels"). La empresa estatal Petroleum, Oil and Gas Corporation of South Africa Ltd., mejor conocida como PetroSA, también produce combustibles sintéticos desde 1987, entre los que se encuentran el etanol anhidro y otros alcoholes como el metanol. Asimismo, la empresa Illovo produce etanol a partir de la fermentación de las melazas de la caña de azúcar. Sin embargo, el mercado actual para el uso del etanol como biocombustible es limitado. Actualmente (2008), Sudáfrica tiene 10 proyectos en construcción conformados por 3 plantas productoras de biodiesel (de canola, soya y girasol) y 7 de etanol (de caña de azúcar, remolacha y maíz).

El biodiesel no es producido actualmente en África, sin embargo existen planes y programas para poderlo fabricar en un futuro no lejano.

### *Australia*

El país-continente produjo 140 ML de etanol en 2007, a partir de caña de azúcar, trigo y sorgo. También en ese año, se comercializó el primer vehículo flex-fuel: el SAAB 9-5 BioPower. En cuanto al biodiesel, se le produce a partir de grasas animales, aceites usados, aceites vegetales puros, soya y semilla de la planta de opio (ésta es cultivada en Tasmania). Actualmente, en 2009, existen 3 plantas productoras de etanol con una capacidad instalada de 243 ML anuales, y 7 plantas de biodiesel capaces de producir 245 ML al año. El gobierno australiano pretende a mediano plazo exportar biocombustibles a Japón, Filipinas, Tailandia, Malasia y Estados Unidos. Además, existen plantas eléctricas a base de biogás con una capacidad de producción nacional de 218 MW en 2007, año en el cual se generaron 642 GWh de electricidad (equivalente a 55 238 TPE ó 0.28% del total de generación eléctrica).

### **Mercados Futuros de Biocombustibles**

#### *Europa*

Países como Rusia, Ucrania y Finlandia están planeando producir etanol para su uso como biocombustible, pues ya cuentan con una producción de esta sustancia pero se le destina a usos no energéticos. Estos países prevén exportar dicha producción a Europa y, en el caso de Rusia, también a China, compitiendo directamente con el etanol de Brasil y Paquistán. Asimismo, respecto al biodiesel, Rusia y Ucrania planean producirlo para exportarlo a Alemania y el resto de la Unión Europea, para tratar de competir con la producción local.

#### *América*

Existen otros países americanos con un potencial de desarrollo de los biocombustibles como Bolivia, Chile, Ecuador, México, Uruguay, Venezuela, Cuba, República Dominicana, Guatemala, Haití, Honduras, Jamaica, Nicaragua, Panamá y, Trinidad y Tobago. En pleno conocimiento de ese potencial, los gobiernos de estos países han comenzado a implementar programas para producir y usar biocombustibles mezclados con la gasolina y el diesel. Existen incluso proyectos en los que participan empresas estadounidenses y brasileñas, como es el caso de Chile y Bolivia,

principalmente. En Venezuela, las empresas petroleras estatales de este país (Petróleos de Venezuela, S.A., mejor conocida como PDVSA) y de Brasil (Petrobras) están planeando la construcción de un ducto por el cual fluya etanol brasileño hacia territorio venezolano, además de que Petrobras desea desarrollar un mercado de etanol en Venezuela en sociedad con PDVSA.

### *Asia*

Kazajstán, Corea del Sur, Brunei, Singapur, Taiwán y Vietnam están elaborando planes para producir biocombustibles en el corto o mediano plazos. Kazajstán planea producir etanol para exportarlo a la Unión Europea. Corea del Sur produce biodiesel de soya pero no cubre sus necesidades internas por lo que importa aceite de soya de Argentina y Estados Unidos. Desde 2006, se comercializan las mezclas B5 y B20, y está en prueba la introducción de las mezclas E3 y E5 con etanol importado, pues su producción es muy pequeña. Singapur está construyendo 5 plantas de biodiesel a base de aceite de palma, y las empresas Daimler Chrysler y Shell iniciaron pruebas de biodiesel en automóviles en 2007. Taiwán produjo 3.8 ML de biodiesel en 2007 a partir de aceites de cocina usados, y fabrica etanol de caña de azúcar para la industria de bebidas. Desde 2006, son comercializadas en el mercado taiwanés las mezclas E3 y de la B1 a la B20.

### *África*

Benin, Burkina Faso, Costa de Marfil, Guinea Bissau, Mali, Mozambique, Nigeria, Senegal, Suazilandia, Zambia y Zimbabwe están planeando producir etanol a partir de diversos insumos agrícolas como la caña de azúcar, la cassava y el fruto del marañón, para poderlo exportar a Europa. En 2007, Nigeria, Senegal y Costa de Marfil importaron etanol de Brasil para comenzar a mezclarlos con sus gasolinas, con la finalidad de suplir al tetraetilo de plomo por etanol como antidetonante, pues tal aditivo es empleado actualmente en sus gasolinas en lugar del metil-terbutiléter (MTBE) usado en el resto del mundo. Otros países africanos podrían sustituir al tetraetilo de plomo por etanol, como es el caso de Kenia, Egipto, Sudán y Mauricio, además de Zimbabwe, Zaire y Suazilandia.

De entre los países mencionados arriba destacan Mozambique y Zambia. Mozambique es considerado "el Brasil de África" por su ubicación respecto al Ecuador, lo que define su clima, y porque su potencial de producción

de caña de azúcar es similar al de Brasil, además de compartir el idioma portugués. Zambia es importante porque en el período 1980-1992 estableció un mercado de etanol, mezclándolo con sus gasolinas.

Respecto al biodiesel, Burkina Faso, Mali, Mozambique, Nigeria, Sudáfrica, Tanzania, Togo y Zambia están implementando programas tendientes a la producción de biodiesel. Existen proyectos de empresas europeas y brasileñas (entre ellas Petrobras), para crear una industria del biodiesel en el continente africano.

### *Oceanía*

Islas Marshall, Vanuatu, Samoa, Islas Fiji, Islas Salomón, Kiribati y Papúa Nueva Guinea han establecido un mercado interno de aceite de coco como sustituto de diesel, y además lo comercian entre ellos. La producción total de aceite de coco en esta región es de 126.7 ML al año, siendo los principales productores Papúa Nueva Guinea (53.91 ML), Vanuatu (30.51 ML), e Islas Fiji (17.47 ML). Todos estos países junto con algunos países asiáticos (India, Indonesia, Malasia, Filipinas, Sri Lanka, Tailandia y Vietnam) conforman la Comunidad del Coco de Asia y del Pacífico (Asian and Pacific Coconut Community, APCC, en inglés).

Entre estos países destaca Vanuatu, pues es el pionero en el uso de aceite de coco como combustible en el Pacífico. En el mercado interno es comercializada una mezcla de 80% aceite de coco y 20% de queroseno, mezcla denominada "Island Fuel 80", cuyo precio es 30 centavos de dólar estadounidense menor que el precio del diesel fósil, el cual importan. Además, Vanuatu es el país del Pacífico con la tarifa arancelaria para los biocombustibles más baja (US\$ 0.05/L en lugar de US\$ 0.28/L en los demás países isleños), lo cual incentiva el comercio interno y con el exterior.

Nueva Zelanda planea producir biodiesel y etanol en el corto plazo, pues en 2007 el gobierno neozelandés fijó como objetivos la introducción de biocombustibles para cubrir el 0.53% del mercado de energéticos en 2008 y el 3.4% en el 2012. A partir de 2007, es comercializada la mezcla E10 en la ciudad de Auckland.

### *México*

El uso de biocombustibles en México es casi inexistente aún, no obstante el país produce etanol para su uso en bebidas alcohólicas, productos farmacéuticos

y alimenticios, y como solvente y reactivo industriales. El etanol producido actualmente proviene del jugo de la caña de azúcar y se obtiene en algunos ingenios azucareros, a través de la fermentación del jugo y la destilación.

Sin embargo, existe una planta de generación de electricidad a partir del uso de biogás producido en un relleno sanitario ubicado en la ciudad de Monterrey, Nuevo León, la cual tiene una capacidad instalada de generación de 12.72 MW y puede producir 40 000 MWh anuales (3 442 TPE/año). Con la quema de biogás para producir electricidad, esta planta, primera en América Latina, ha generado cerca de 202 500 MWh de energía eléctrica (equivalente a 17 423 TPE) desde el inicio de su operación (2003) hasta 2007, cuya producción ha sido destinada para abastecer 40% del alumbrado público de la zona metropolitana de Monterrey.

El gobierno de México inició una serie de medidas tendientes a crear un mercado interno de los biocombustibles, para elevar los niveles de eficiencia en el uso final de la energía y para disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero. El 22 de agosto de 2005 fue publicada la Ley de Desarrollo Sustentable de la Caña de Azúcar, en la cual se fundan los lineamientos para el aprovechamiento futuro de la caña de azúcar como energético. Esta ley menciona la creación del Centro de Investigación Científica y Tecnológica de la Caña de Azúcar (CICTCAÑA), el cual elaborará estudios y proyectos de desarrollo y aprovechamiento del etanol como carburante y oxigenante de gasolina a partir de mieles, así como del aprovechamiento del bagazo de caña con fines de industrialización para la cogeneración de energía y la obtención de gas sintético.

A principios de 2007, el Congreso de la Unión elaboró la Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos, la cual entró en vigor el 2 de febrero de 2008. Las líneas actuales de desarrollo de biocombustibles en México, de acuerdo a esta ley y diversos estudios de la Secretaría de Energía, parten de dos materias primas con niveles altos de producción en el país, que a saber son la caña de azúcar y el maíz amarillo. Se plantea la utilización de trigo, sorgo, yuca y remolacha azucarera o betabel, además de algas verdes, para la obtención de biocombustibles, principalmente el etanol. En el artículo 11 de esta ley, fracción VIII, se estipula el otorgamiento de permisos para la producción de biocombustibles a partir de granos de maíz, pues los mismos sólo serán otorgados por la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (Sagarpa) cuando existan inventarios excedentes de producción interna de maíz para satisfacer el consumo interno.

Actualmente (2009) existen diez proyectos para producir etanol a partir de diversos insumos, junto con los ingenios azucareros productores o no de etanol. Existen también algunos proyectos entre empresas nacionales y extranjeras para la producción de biodiesel, principalmente utilizarían como insumo a la palma africana, el frijol de soya y la semilla de *Jatropha curcas*, conocida en México como piñón. Asimismo, existe en construcción una planta en Aguascalientes para producir electricidad a partir de biogás, y en varias granjas mexicanas se cuenta con biodigestores para producir biogás a partir del excremento de los animales, el cual es utilizado para la cocción de alimentos y para el servicio de agua caliente, en lugar del gas LP.

En 2010, Petróleos Mexicanos (Pemex) introducirá gasolinas mezcladas en 10% con etanol en el área metropolitana de Guadalajara, Jalisco, mediante un convenio de inversión en dos ingenios azucareros próximos a esa ciudad. Se estima una demanda de 200 ML anuales de etanol. También se contempla la producción de etil-terbutiléter (ETBE) y teramil-etiléter (TAAE), en lugar de sus respectivas sustancias homólogas metiladas, para los mismos fines.

En 2011, entrará en operaciones una planta productora de etanol a partir de algas verdes empleando tecnología de una empresa estadounidense, ubicada en Puerto Libertad, Sonora y cuya producción estará destinada principalmente al mercado de Estados Unidos, específicamente el estado de California.

### Comercio internacional de Biocombustibles

A partir de datos de producción y consumo de etanol, y de flujos y destinos de importaciones y exportaciones del energético, he catalogado a los países en productores netos y consumidores netos de etanol. En la figura 1 se muestran las vías en que se desarrolla el comercio internacional de este biocombustible. De igual manera, en la Figura 2 se muestran las vías de intercambio comercial de biodiesel entre los países productores netos y consumidores netos del energético.

Figura 1

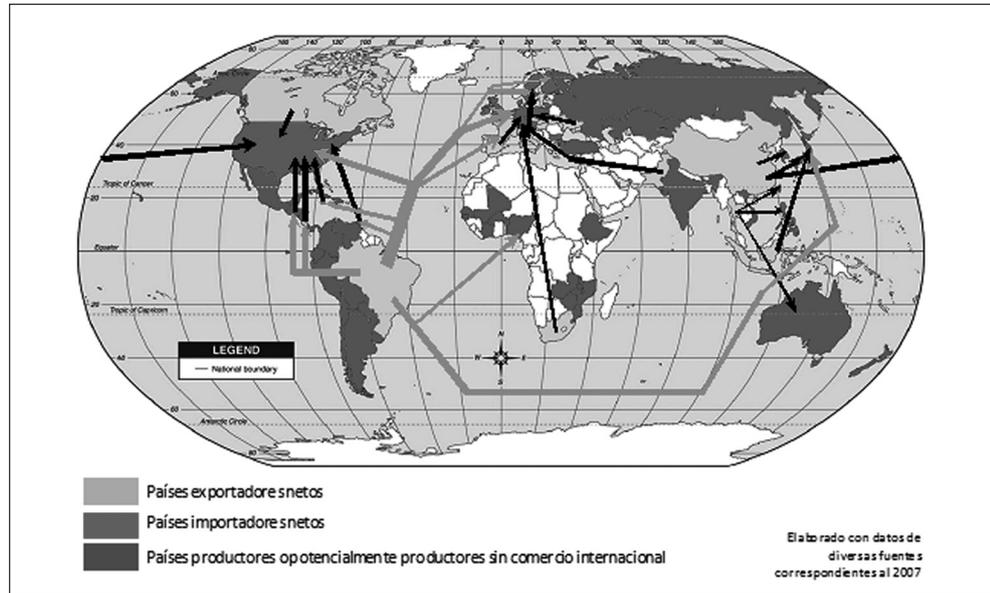
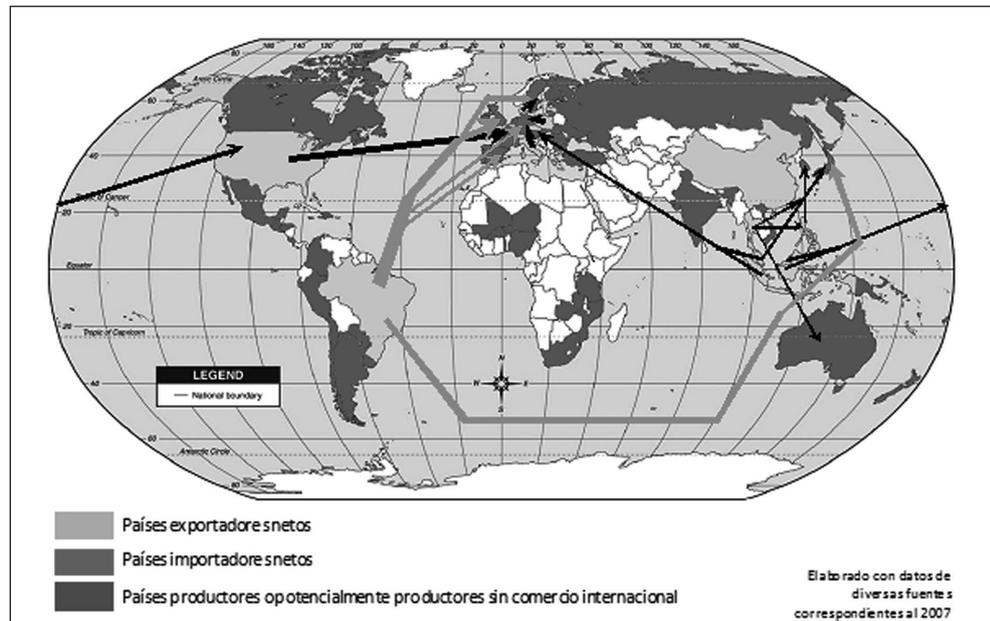


Figura 2



## Conclusiones

Los biocombustibles, aunque no son la solución a los problemas energéticos, económicos y ambientales, son un medio por el cual se puede llevar a cabo la transición energética de una economía sustentada en los combustibles fósiles a una economía mundial basada en fuentes renovables de energía, entre ellas el hidrógeno. Este es el siglo donde debe dejar de quemarse al petróleo, pues es un bien de alto valor industrial, ya que de él se producen plásticos, medicinas, aditivos alimenticios, colorantes, detergentes, lubricantes, y otras sustancias importantes. En este siglo debe impulsarse una economía de los biocombustibles no provenientes de recursos alimenticios ni de algunos otros recursos que impacten a la sustentación humana ni al medio ambiente.

## Bibliografía

- Asia-Pacific Economic Cooperation (APEC); *Biofuels*:  
<http://www.biofuels.apec.org/index.html>
- Bioalcohol Fuel Foundation (BAFF) (Suecia): <http://www.baff.info/english/>
- Bioenergía de Nuevo León, S.A. DE C.V. (BENLESA); Descripción general del proyecto de ampliación de la infraestructura para el uso y captura de biogás para la generación de energía eléctrica en el relleno sanitario de SIMEPRODE, en el Municipio de Salinas Victoria, Nuevo León (México):  
[http://www.nl.gob.mx/pics/pages/simeprode\\_bioenergia\\_base/Descripcion\\_ProyectoMonterreyII.pdf](http://www.nl.gob.mx/pics/pages/simeprode_bioenergia_base/Descripcion_ProyectoMonterreyII.pdf)
- Biofuels Association of Australia (BAA) (Australia):  
<http://www.biofuelsassociation.com.au/>
- Biofuels Platform, Production of biodiesel in Switzerland (Suiza):  
<http://www.biofuels-platform.ch/en/infos/ch-biodiesel.php>
- Biofuels Platform, Production of bioethanol in Switzerland:  
<http://www.biofuels-platform.ch/en/infos/ch-bioethanol.php>
- Biofuels Research Advisory Council; *Biofuels in the European Union. A vision for 2030 and beyond*; European Commission, Bélgica: 2006:  
[http://ec.europa.eu/research/energy/pdf/biofuels\\_vision\\_2030\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/research/energy/pdf/biofuels_vision_2030_en.pdf)
- Cámara Nacional de las Industrias Azucarera y Alcoholera (CNIAA) (México):  
<http://www.camaraazucarera.org.mx/>
- Cloin, Jan; *Liquid Biofuels in Pacific Island Countries*; SOPAC, Fiji: 2007.
- Comisión Nacional para el uso Eficiente de la Energía (CONUEE, antes Comisión Nacional para el Ahorro de Energía, CONAE) (México): <http://www.conae.gob.mx>, <http://www.conuee.gob.mx>

- Curtis, Brian; U.S. Ethanol Industry: the next inflection point; DOE, USA: 2008:  
<http://www1.eere.energy.gov/biomass/pdfs/2007ethanolreview.pdf>
- De Castro, Júlio F. M.; Biofuels-An overview. Final Report; Biofuel-Africa, May 2007: [http://www.biofuel-africa.org/IMG/pdf/Biofuels\\_Final\\_Report.pdf](http://www.biofuel-africa.org/IMG/pdf/Biofuels_Final_Report.pdf)
- De Nora Souto, João José; Política Nacional de Biocombustíveis; Ministério de Minas e Energia, Brasil: 2006: <http://www.mme.gov.br>
- Department Of Minerals And ENERGY (DME); Biofuels Industrial Strategy of the Republic of South Africa; DME, Sudáfrica: 2007:  
[http://www.dme.gov.za/pdfs/energy/renewable/biofuels\\_indus\\_strat.pdf\(2\).pdf](http://www.dme.gov.za/pdfs/energy/renewable/biofuels_indus_strat.pdf(2).pdf)
- DEPARTMENT OF RESOURCES, ENERGY AND TOURISM (Australia):  
<http://www.ret.gov.au/energy/Pages/index.aspx>
- Eurobserv'er; "Le Baromètre des Biocarburants", en *Le Journal des Énergies Renouvelables*, No. 179, mayo 2007: [http://www.energies-renouvelables.org/observ-er/stat\\_baro/observ/baro179\\_b.pdf](http://www.energies-renouvelables.org/observ-er/stat_baro/observ/baro179_b.pdf)
- Eurobserv'er; "Le Baromètre du Biogaz", en *Le Journal des Énergies Renouvelables*, No. 186, julio 2008: [http://www.eurobserv-er.org/pdf/baro186\\_a.pdf](http://www.eurobserv-er.org/pdf/baro186_a.pdf)
- European Bioethanol Fuel Association, Statistics:  
<http://www.ebio.org/statistics.php>
- Indústria Aeronáutica Neiva; Aeronave Ipanema (Brasil):  
[http://www.aeroneiva.com.br/site/content/produtos/produtos\\_ipanema\\_apresentacao.asp](http://www.aeroneiva.com.br/site/content/produtos/produtos_ipanema_apresentacao.asp)
- IEA Bioenergy; Market Evaluation: Fuel Ethanol; Unicamp, Brasil: 2007: <http://www.bioenergytrade.org/downloads/finalreportethanolmarkets.pdf>
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (Brasil): <http://www.ibge.gov.br>
- Instituto de Estudos do Comércio e Negociações Internacionais; Potential and challenges in the international market for ethanol and bio-diesel; Seminar on Biofuels Study in Mozambique, 11-12 de julio de 2007: <http://www.iconebrasil.com.br/arquivos/noticia/1455.pdf>
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) (México):  
<http://www.inegi.gob.mx>
- Ministério de Minas e Energia (Brasil): <http://www.mme.gov.br>
- Ministério de Minas e Energia; Empresa De Pesquisa Energética; Balanço Energético Nacional 2008; MME-EPE, Brasil: 2008
- Petróleos Mexicanos (Pemex) (México): <http://www.pemex.com/>
- Pemex; Uso de etanol como oxigenante en gasolinas; Mayo 2008:  
<http://www.pemex.com/files/content/etanol.pdf>

Petrobras (Brasil): <http://www2.petrobras.com.br>

Programa nacional de produção e uso do biodiesel (Brasil): <http://www.biodiesel.gov.br>

Renewable Fuels Association, Ethanol: Industry Statistics: <http://www.ethanolrfa.org/industry/statistics/>

Ritter, Stephen K.; "Biofuel Bonanza"; en *Chemical & Engineering News*, **85** (26) June 25, 2007

Rothkopf, Garten; A Blueprint for Green Energy in the Americas; Inter-American Development Bank, USA: 2007: <http://www.iadb.org/biofuels/>

Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (Sagarpa); Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) (México):  
<http://www.siap.sagarpa.gob.mx/>

Secretaría de Energía (México): <http://www.sener.gob.mx>

Sener; Potenciales y Viabilidad del Uso de Bioetanol y Biodiesel para el Transporte en México; SENER-GTZ-BID, México: 2006: [http://www.sener.gob.mx/webSener/res/169/Biocombustibles\\_en\\_Mexico\\_Estudio\\_Completo.pdf](http://www.sener.gob.mx/webSener/res/169/Biocombustibles_en_Mexico_Estudio_Completo.pdf)

Sistema de Información Energética (México): <http://sie.energia.gob.mx>

The White House; Energy & Environment (Estados Unidos):  
[http://www.whitehouse.gov/issues/energy\\_and\\_environment/](http://www.whitehouse.gov/issues/energy_and_environment/)

Thomas, Valerie; Kwong, Andrew; "Ethanol as a lead replacement: phasing out leaded gasoline in Africa"; en *Energy Policy* **29** (2001) 1133-1143

U.S. Department Of Energy (DOE) (Estados Unidos): <http://www.energy.gov>  
<http://www.doe.gov>

U.S. Department Of Energy (DOE); Alternative Fuels & Advanced Vehicles Data Center (Estados Unidos):  
<http://www.afdc.energy.gov/afdc/fuels/index.html>

U.S. Department Of Energy (DOE); Energy Efficiency and Renewable Energy (EERE); (Estados Unidos):  
<http://www.eere.energy.gov/>

U.S. Energy Information Administration (Estados Unidos): <http://www.eia.doe.gov>