

Capítulo 3

Los biocombustibles: ¿alternativas viables para El Salvador?

En todo el planeta existe una enorme ola de interés en el tema de los biocombustibles, especialmente frente a la llamada “crisis del petróleo”; sin embargo, en El Salvador hay pocos análisis sobre su potencial. Como refleja la experiencia de países como Brasil, la implementación exitosa de un programa de biocombustibles implica una estrategia cuidadosa y una perspectiva de largo plazo, tomando en cuenta los beneficios potenciales de ahorro de divisas, dinamización de la agroindustria, decrementos en las emisiones y reducción de riesgo externo. Para efectos de este análisis y a sugerencia de Hill, et al (2006), para ser una alternativa viable, un biocombustible debe cumplir con los siguientes criterios:

- Tener un balance de energía positiva (generar más energía que la utilizada para producirlo).
- Proporcionar beneficios ambientales.
- Ser competitivo en términos económicos.
- Ser producible en volúmenes grandes sin reducir la disponibilidad de alimentos.

Este capítulo inicia con una explicación sobre los biocombustibles; luego, examina las tendencias en este tema en otros países, el uso actual y potencial en el país, y los beneficios potenciales y factores limitantes para su implementación en El Salvador, evaluando la viabilidad de los biocombustibles con estos criterios.

1. ¿Qué son biocombustibles?

Los biocombustibles son sustancias obtenidas de fuentes orgánicas y renovables. Los biocombustibles pueden reemplazar los combustibles fósiles (con base en el petróleo) en forma total o parcial.

Los biocombustibles de mayor interés son el etanol y el biodiesel

1.1 Etanol

Hay combustible en cada trozo de materia vegetal que se puede fermentar. Hay suficiente alcohol en el rendimiento anual de una acre de papa para manejar la maquinaria necesaria para cultivar la parcela por cien años.

-Henry Ford, 1925

El uso de etanol, también conocido como bioetanol o alcohol carburante, en los automóviles con motor de ciclo Otto tiene una larga historia. En 1826, Samuel Morey patentó el primer motor de combustión interna, que utilizaba etanol y trementina (Jacobson, 2007). A finales del siglo XIX, Henry Ford utilizó el etanol puro en sus primeros modelos. El etanol puede ser obtenido de diferentes clases de fuentes: directamente de un vegetal, como la caña de azúcar, que produce un jugo de azúcares diluidos; por la dilución de una solución concentrada de azúcar, como la melaza resultante de la producción de azúcar; y por la sacarificación de sustancias celulósicas, como el bagazo o zacates, o amiláceas, como el almidón de sorgo, yuca o maíz. También se está investigando el uso de la pulpa de café para generar etanol. En el caso de la caña, el bagazo resultante del proceso de extracción del jugo de azúcar puede ser quemado en las calderas a vapor del ingenio, generando energía eléctrica en los procesos de cogeneración.

La adición de etanol aumenta el índice de octano de la gasolina, evitando la necesidad de agregar sales de plomo. También se utiliza como sustituto del MTBE (metil ter-butyl éter) de origen fósil, que en la actualidad se está empleando como aditivo de la gasolina sin plomo y que se ha definido como altamente contaminante.

Se puede utilizar una mezcla de etanol en la gasolina de hasta 10%, conocido como E10, en automóviles producidos después de 1980 sin efectos nocivos, aunque las mezclas requieren la adición de anticorrosivos (Orbital Engine Company, 2002). En muchos países, está disponible el E10, mientras que en algunos países también está disponible una mezcla de 85% etanol, o E85, que mantiene un porcentaje de gasolina para prevenir una pérdida de poder en motores tipo flex-fuel.

El etanol tiene una combustión más eficiente que la gasolina, con un octanaje de alrededor de 113, entonces puede tener efectos positivos en mantener limpios los motores. Sin embargo, contiene aproximadamente 25 a 34% menos energía por galón, resultando en una reducción igual de kilometraje. Para el E10, el efecto es mínimo (hasta 3-3.5%) comparado con la gasolina convencional y, según algunos expertos, es nulo cuando se considera la mayor eficiencia del motor (Prakash, 1998), pero para una mezcla mayor, por ejemplo, E85, el efecto es mayor y tiene que ser contemplado cuando se hacen comparaciones de costo y proyecciones de uso.

1.2 Biodiesel

El uso de aceites vegetales para motores puede ser insignificante ahora. Pero tal vez dichos aceites serán en el transcurso del tiempo, tan importante como los productos de petróleo o carbón del presente.

-Rudolf Diesel, 1912

Los primeros motores del tipo diesel ocupaban aceite de maní como combustible. El biodiesel se puede obtener de los aceites oleaginosos, como los comunes soya, girasol o palma; no comunes como tempate o higuierillo; o aun de aceites vegetales desgastados, por ejemplo, usados en frituras; o aceites animales, como cebo de res. Es un metilester obtenido por reacción del aceite con metanol o etanol, mediante una reacción de transesterificación, que produce glicerina como producto secundario.

El biodiesel puede mezclarse en cualquier proporción y utilizarse en los vehículos diesel convencionales sin necesidad de introducir modificaciones en el diseño básico del motor. Sin embargo, en vehículos producidos antes de 1990, cuando se emplean mezclas de biodiesel en proporciones superiores al 5% es preciso reemplazar los conductos de goma del circuito del combustible por otros materiales. A diferencia del etanol, el biodiesel no modifica muy significativamente las propiedades físicas y fisicoquímicas del diesel, tales como su poder calorífico, entonces, se usan en volúmenes iguales que el diesel de petróleo.

2. Tendencias en otros países

Hay un supuesto universal que el alcohol en alguna forma será un componente del combustible de motores en el futuro.

-Scientific American, 1920

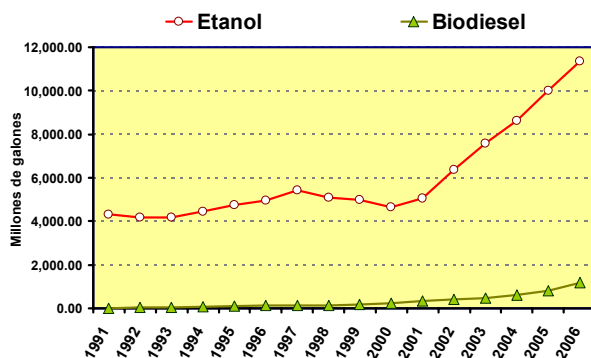
En las primeras cuatro décadas del siglo XX, el uso de etanol y biodiesel fue relativamente común en un gran número de países del mundo³⁶, como respuesta

a la inestabilidad por conflictos y guerras, con programas de investigación, promoción y mezclas obligatorias, especialmente entre 1930 y 1945. Después de la segunda guerra mundial, y al regresar al suministro regular y barato de petróleo, la mayoría de países abandonaron sus programas de biocombustibles (Kovarik, 2006).

Los actuales líderes mundiales en producción son Estados Unidos y Brasil en etanol y Alemania en biodiesel

Aproximadamente el 90% de la producción global de biocombustibles es el etanol. La producción mundial de etanol casi se triplicó entre 2000 y 2006, mientras que la producción de biodiesel se expandió en casi cuatro veces, aunque empezó desde una base muy inferior (gráfica 22). Como punto de contraste, la producción de petróleo aumentó solamente 7% en el mismo período. Con avances tecnológicos, se ha estimado que los biocombustibles podrían sustituir al 37% de la gasolina en Estados Unidos dentro de 25 años; esta cifra podría aumentar a 75% si la eficiencia de los vehículos también se duplicara en el mismo período. El potencial de biocombustibles en la Unión Europea está en un rango de 20 a 25% si se limitan el uso de tierras para estos cultivos por razones de sostenibilidad ambiental (WWI, 2006).

Gráfica 22
Producción mundial de etanol y biodiesel



Fuente: WWI, 2006.

Los líderes en la producción de etanol son Estados Unidos y Brasil, aunque Canadá y países en Sur y Centroamérica están preparándose para una mayor

producción. La mayor parte del etanol se consume en el mismo país donde se produce. El productor mundial de biodiesel más fuerte es Alemania, con aumentos importantes en Argentina y la India. En esta sección, se mencionan las experiencias recientes de algunos países.

Estados Unidos – El plan de la administración Bush ha plasmado la meta para el año 2017 de sustituir el 20% de los combustibles en Estados Unidos por etanol y biodiesel. El plan incluye financiamiento para la investigación y préstamos para inversionistas en plantas de etanol de un total de US\$2 mil millones. También incluye otros incentivos directos. Los productores de etanol de menor escala pueden recibir un crédito del impuesto sobre la renta de US\$0.10 por galón producido hasta 15 millones de galones cada año por productor. Para el biodiesel, se recibe un crédito de US\$1.00 por galón de biodiesel derivado de aceites vírgenes, y US\$0.50 por galón de biodiesel derivado directamente de productos agropecuarios. Adicionalmente, 21 estados tienen incentivos, 4 tienen estándares de uso mínimo de combustibles renovables, y varias ciudades y condados tienen incentivos y/o requisitos.

Actualmente, más de 30% de toda la gasolina vendida en Estados Unidos contiene etanol en algún grado. Más de 90% de etanol en Estados Unidos proviene del maíz, y se está desarrollando una variedad de maíz genéticamente modificado con una enzima que normalmente tiene que ser agregado en la fábrica de etanol (Pollack, 2006). En un período de cinco a diez años, se proyecta que las nuevas inversiones para la producción del etanol serán a base de celulosa, como árboles de rápido crecimiento como el “poplar” (genus *Populus*), o zacates como “switchgrass” (*Panicum virgatum*), un pasto que puede ser producido en suelos pobres y marginales, los cuales no afectarían el balance de la seguridad alimentaria, un punto de fuerte debate, debido al aumento reciente del precio del maíz. Por el lado de la demanda, aunque solamente el 2% de los vehículos actualmente en uso en Estados Unidos son de tipo flexible, los fabricantes proyectan que el 50% de su producción será de tipo flexible al llegar al año 2012 (GAO, 2007).

Brasil – En el mundo, Brasil tiene la mayor trayectoria y constancia para el fomento de la producción de biocombustibles, principalmente etanol. En los años setenta, creó su Programa Nacional de Alcohol como respuesta a la crisis de petróleo en esa época. En el programa, incentivos de impuestos y financiamiento fueron otorgados para construir la infraestructura necesaria. El gobierno también proporcionaba amplios subsidios a la industria nacional de automóviles para crear vehículos que usarían alcohol hidratado. También

establecía un precio controlado para el etanol por medio de la empresa petrolera estatal, Petrobras, y el precio al consumidor fue inferior que el precio de la gasolina.

Al final de los años noventa, Brasil había creado una industria con alta producción pero alto endeudamiento. El gobierno asumió las deudas, mantuvo la industria y gradualmente eliminó la mayoría de intervenciones del gobierno, incluyendo el control de precios del etanol. Sin embargo, todavía se aplican varias políticas sobre el etanol:

- Una mezcla de por lo menos 20% de etanol en toda gasolina utilizada en el país.
- La prohibición de vehículos personales de diesel para aumentar la demanda para vehículos que utilizan etanol.
- El mandato que toda entidad gubernamental compre vehículos que utilizan etanol.
- Un arancel de 20% para las importaciones de etanol.
- Una mezcla de 2% de biodiesel en el diesel a partir de 2008 y de 5% a partir de 2013.
- La posibilidad de subsidios especiales para pequeños productores en ciertas regiones, especialmente para biodiesel.

También en Brasil, se han introducido los vehículos “flex-fuel”, que pueden usar cualquier mezcla de etanol y gasolina, y ahora más del 85% de los vehículos vendidos en el país son de este tipo. Brasil también ha concentrado muchos recursos en la investigación tecnológica, logrando, en las últimas dos décadas, incrementos del 33% en la producción de caña por hectárea, una elevación de 8% en el contenido de azúcares de la caña y un incremento del 14% en la conversión de sucosa para etanol (Macedo, 2000). También ha sido importante el control biológico de plagas, reduciendo la necesidad de agroquímicos, y la implementación de la zafra verde, bajo la cual las máquinas cortan la caña sin quemar (Morgan, 2005). Actualmente cuenta con 7.04 millones de hectáreas de caña de azúcar y producción de 15.8 millones de m³ de alcohol, 92.4% de su capacidad instalada, aunque hay varias plantas en construcción y en proyecto para expandir la capacidad nacional.

Europa – La política de la Unión Europea en biocombustibles busca reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y reducir la dependencia en petróleo importado. La meta oficial es contar con una mezcla global de 5.75% de etanol en las gasolinas en 2010, subiendo a 10% para 2020. Para 2010, se proyecta que la capacidad de producción de biodiesel en la Unión Europea alcanzará los 30.4 millones de tm, un aumento de 108% comparado

con 2007, y que la producción de etanol llegará a 7.3 millones de tm, un incremento de 188% (USDA, 2007).

Los incentivos contemplados incluyen exenciones y reducciones de impuestos, pero los costos de producción de etanol en Europa son muy superiores que los de Brasil o aún Estados Unidos (Delgado, et al, 2006). Las compañías europeas de biodiesel suelen ser muy rentables en buena parte por las exenciones de impuestos (USDA, 2007).

Alemania ha sido un líder en la producción en gran escala de biodiesel de colza y girasol. El biodiesel solamente representa el 2% del consumo de combustible en Alemania, pero sus ventas se duplicaron entre 2000 y 2003, y otra vez entre 2003 y 2005. Alemania posee el 54% de la capacidad de producción de biodiesel en Europa.

Colombia – En 2006, el etanol representaba aproximadamente el 6% del consumo de mezclas de gasolina en Colombia. El E10 está proscrito especialmente para uso en centros urbanos por sus efectos de reducción de contaminación del aire (Horta, 2006b). En Codazzi, se ha iniciado producción de etanol en un ingenio con base en la yuca. Se está realizando una investigación sobre las diferentes variedades del tubérculo, buscando a las que más se adapten a la producción del alcohol carburante. También se está investigando el uso de la pulpa de café para producir etanol. Asimismo, empresarios en Colombia están sembrando áreas extensas de palma africana para producir aceite para biodiesel.

India – El aceite de las semillas de tempate está siendo promovido en cientos de proyectos en la India, y se espera cultivar 11 millones de hectáreas antes de 2014 en tierras abandonadas y/o deforestadas. Más de 180 mil ha ya han sido sembradas, y los productores reciben un pequeño subsidio si cuidan sus parcelas (Bros, 2006). El uso de biodiesel también está incrementando en la India; por ejemplo, la vía del ferrocarril entre Mumbai y Delhi está sembrada con tempate, y el motor del tren funciona con una mezcla de 15-20% biodiesel. La India también produce etanol, y en 2004, implementó una mezcla obligatoria de E5 en las gasolinas en toda la nación. Sin embargo, la producción nacional es insuficiente, y este país es el mayor importador de etanol en el mundo (Delgado, et al, 2006).

China – China es el tercer productor más grande de etanol en el mundo. Algunas de sus provincias ocupan una mezcla de E10 (Delgado, et al, 2006). Para revertir la tendencia en producción de etanol con base en el maíz, el gobierno chino ha anunciado

que no aprobará proyectos para producir etanol de cultivos comestibles, buscando cambiar su industria a materiales no alimenticios como sorgo y celulosa. Las cuatro empresas actuales tienen una capacidad total de producir 1.02 millones de tm de etanol a base de maíz cada año (*China Daily*, 2007). En el año 2020, China espera que el 15% de sus combustibles de transporte serán biocombustibles (Reynolds, 2007).

Todos los países de Centroamérica están entrando a la producción de biocombustibles

Costa Rica – En 1981, Costa Rica lanzó su Programa Nacional de Alcohol Carburante, promoviendo una mezcla de E20; sin embargo, por problemas de distribución y calidad, el programa no prosperó. En 2003, el gobierno de Costa Rica lo retomó, iniciando un programa piloto con E10 en varios vehículos y luego la venta de una mezcla con 7.5% etanol en varias regiones. La próxima fase buscará implementar el gasohol en el resto del país. Costa Rica también importa volúmenes grandes de alcohol para luego reexportarlos después de su deshidratación (Horta, 2006b).

En Costa Rica existen planes para sembrar 50 mil hectáreas de palma africana para la extracción de aceite, parte del cual sería destinado al biodiesel. Actualmente opera en el país una planta productora de biodiesel, dos plantas en construcción y otra en proyecto (Ribeiro, 2007).

Guatemala – El país con mayor producción de caña de azúcar en la región centroamericana es Guatemala, que actualmente produce 325 mil litros diarios de etanol en tres ingenios, todo destinado a la exportación (Sic, 2006). También tiene en proyecto expandir su capacidad en 350 mil litros diarios. Existen, actualmente, cuatro empresas que producen biodiesel de tempate en Guatemala, aunque en pequeña escala, y una empresa que produce aceite de palma tratado para uso en motores industriales.

Nicaragua – Un proyecto de la Cooperación Austríaca inició en los años noventa con la siembra de 1,000 ha de tempate y la instalación de una planta industrial con capacidad para procesar la producción de más de 1,800 ha. Desafortunadamente, el proyecto se cerró en 1999 debido a la falta de continuidad por parte del gobierno y por la falta de seguimiento agrícola por parte de las cooperativas que habían sembrado el árbol. Los analistas del proyecto señalan la importancia de no mezclar

soluciones de problemas socio-políticos con proyectos de desarrollo energético, ya que la producción de energía se debe administrar como un negocio (Mayorga y Foidl, 2005).

En el etanol, un ingenio nicaragüense está anticipando producir 50 millones de litros de etanol en 2008, creciendo a 150 millones en 2011, luego de una inversión de US\$30 millones. Actualmente exporta 18 millones de litros a Europa y Estados Unidos (*La Prensa Gráfica*, 2007a).

En el mediano plazo, es probable que el maíz sea reemplazado por fuentes celulósicas para la producción de etanol

Fomentado por la demanda creciente de los biocombustibles, existen esfuerzos de gran envergadura de investigación orientados hacia otras fuentes de energía, ya que algunos de los líderes actuales (maíz para etanol y soya para biodiesel) son las materias primas menos productivas por área (cuadros 9 y 10). Los costos de producción, obviamente, son otro criterio importante, y varios cultivos todavía no logran factibilidad económica, lo cual se discute en la siguiente sección de este capítulo. Sin embargo, en situaciones de áreas limitadas disponibles para cultivos para biocombustibles, el rendimiento físico también tiene un peso determinante, especialmente en países donde la sustitución de combustibles fósiles es un tema estratégico nacional.

En el mediano plazo, en los países con clima templado, es probable que el etanol de maíz sea

Cuadro 9
Rendimientos de etanol con prácticas óptimas

Cultivo	Rendimiento (litros etanol/ha)
Switchgrass	3,100 - 7,600
Árboles <i>poplar</i>	3,700 - 6,000
Caña de azúcar	5,300 - 6,500
Sorgo dulce	2,500 - 7,000
Maíz	3,100 - 3,900

Fuente: Nature, 2006.

Cuadro 10
Rendimientos de aceite por hectárea con prácticas óptimas

Cultivo	litros aceite/ha
Maíz	172
Soya	446
Café	459
Ajonjolí	696
Girasol	952
Maní	1,059
Colza	1,190
Ricino (higuerillo)	1,413
Jatropha (tempate)	1,892
Coco	2,689
Palma africana	5,950
Algas	95,000

Fuente: www.globalpetroleumclub.com

reemplazado por etanol de celulosa en la manera que se reduce el costo de procesamiento de este último. Estos materiales pueden incluir madera, zacates, rastrojos³⁷ y residuos vegetales. El etanol de caña de azúcar debe seguir siendo competitivo en el mediano plazo.

En el biodiesel, el uso de soya, colza y girasol probablemente continuará apoyado por subsidios, y la palma llegará a ser una opción más económica con mejoras en la productividad; pero en el futuro,

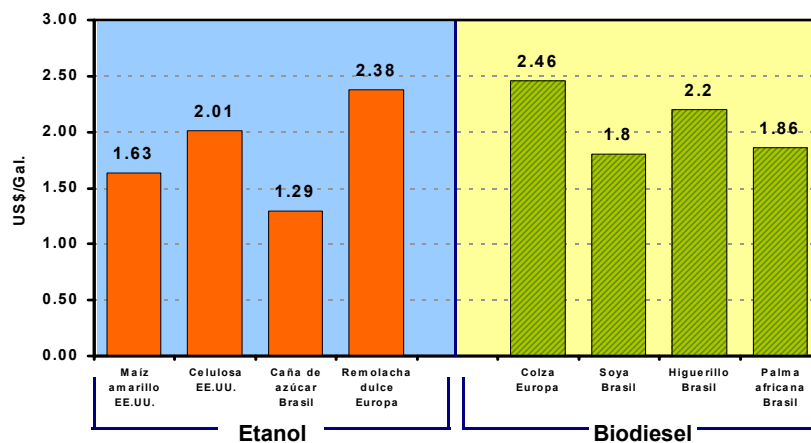
se podría incorporar otras oleaginosas como tempate e higuerillo cuando estos cultivos mejoren sus rendimientos agrícolas e industriales. En el largo plazo, el cultivo de algas en las áreas marinas de poca profundidad podría proporcionar los mayores rendimientos que todas las otras opciones de biodiesel.

Actualmente, el etanol de caña de azúcar y el biodiesel de palma africana tienen los costos más bajos entre los biocombustibles

Para la producción de etanol usando diferentes materias primas y en diferentes países, en forma consistente, los análisis señalan al etanol en Brasil proveniente de la caña de azúcar como el de menor costo (gráfica 23). Con un costo de menos de US\$1.30 por galón, ha sido competitivo con la gasolina desde el año 2000. El maíz amarillo en Estados Unidos genera etanol, pero es menor que la gasolina solamente en algunos períodos. Aunque tiene un costo mayor actualmente, el Departamento de Energía de Estados Unidos ha predicho que en el año 2010, el etanol de celulosa podría producirse a US\$1.63 por galón, y llegar hasta US\$1.02 por galón pocos años después (IEA, 2004).

Con excepción de un estudio que menciona la soya en Brasil, el biodiesel que se produce por menor costo en la mayoría de países proviene del aceite de la palma africana, un cultivo que no se puede producir a mayor escala en El Salvador. El biodiesel de higuerillo en Brasil todavía tiene un costo

Gráfica 23
Costos de producción de biocombustibles, según materia prima



Fuente: IEA, 2004; Ribero, 2007.

relativamente alto, aunque con el énfasis en la investigación en estos cultivos en ese país, es probable que esta cifra se reduzca en los próximos años.

Se espera que después de 2010, el etanol y biodiesel podrán competir con los combustibles fósiles en el ámbito mundial sin subsidios (WWI, 2006). Sin embargo, se debe tomar en cuenta que la solución de más largo plazo, es el uso de nuevas tecnologías en los vehículos para que dependan de otras fuentes de energía, como celdas de combustible (*fuel cells*), hidrógeno y electricidad. Por ejemplo, el Presidente Bush ha señalado que para 2020, quieren que haya autos comerciales que empleen hidrógeno como combustible (Allen y Roth, 2006).

3. Producción y uso actual y potencial en El Salvador

En El Salvador, al igual que en Guatemala y Costa Rica, se introdujo el gasohol para uso comercial en los años ochenta, aunque no lograron mantenerse los programas por problemas de calidad, cuestiones de gestión y precios. Sin embargo, en los últimos años, se han emprendido varias iniciativas para la producción de etanol y de biodiesel en el país.

Las discusiones actuales sobre etanol mencionan una meta de corto plazo para implementar una mezcla de E10 en el ámbito nacional. Esto sería equivalente

a aproximadamente 14.9 millones de galones anuales (10% del consumo promedio de los años recientes) (cuadro 11). Tomando en cuenta la limitante de los vehículos actuales, esta mezcla probablemente sería obligatoria. Obviamente, estas estimaciones se incrementarán en la forma que el consumo total de combustible crezca.

Caso diferente es el biodiesel, donde se puede sustituir este combustible en forma total o parcial al diesel de petróleo; entonces, al lograr mayor producción de biodiesel nacional, se podría usar en flotas de vehículos y/o tener puntos de venta específicos, lo cual no requeriría un uso o mezcla obligatoria, especialmente en las etapas iniciales de su desarrollo. Aproximadamente el 38% del diesel nacional se vende directamente a consumidores industriales (Ribeiro, 2007). Aún más, en el caso de biodiesel, su producción nacional todavía no tiene el nivel de certidumbre del etanol. Sin embargo, si se llegara a sustituir el 5% del diesel consumido en el país, serían aproximadamente 10.1 millones de galones anuales.

3.1 Etanol

El país cuenta con una planta de etanol con materia prima nacional, y otra para deshidratar etanol importado

En El Salvador, el ingenio azucarero La Cabaña en El Paisnal, tiene una destilería para producir etanol anhidro utilizando melaza como materia prima. Su

Cuadro 11
Consumo de gasolina y diesel en El Salvador (galones)

Año	Diesel		Gasolina	
	Consumo	Crecimiento anual (*)	Consumo	Crecimiento anual (*)
2004	194,459,961	-	148,499,971	-
2005	194,011,457	-0.2%	144,509,980	-2.7%
2006	207,358,603	6.9%	147,952,672	2.4%
Ene-jun 2007	104,589,539	0.9%	78,039,112	5.5%
Promedio (*)	201,252,275	2.5%	149,260,212	1.7%

(*) Usando proyección anual para 2007

Fuente: Elaboración propia con base en datos del Ministerio de Economía.

capacidad es de 454 mil galones diarios, pero su equipo opera desde 1987. Actualmente opera con mucha capacidad ociosa; en 2005/06, produjo 757 mil galones de etanol para el mercado de exportación y proyectó producir 15.1 millones galones en 2006/07. Con su capacidad instalada, puede suplir 11.6 millones de galones de etanol por año (IICA, 2007), pero para obtener mayor producción de etanol en este ingenio, el factor limitante es la oferta de caña que tiene disponible para obtener más melaza ya que no puede producir etanol a base del jugo de caña. Al superar ese limitante y operar a su plena capacidad, podría suministrar suficiente etanol para una mezcla de 7.8% en el mercado nacional, si se dejara de exportar.

En 2006, inició operaciones en Acajutla una planta deshidratadora de etanol, que importa el insumo de Brasil y actualmente exporta el etanol anhidro a Estados Unidos. La planta es una inversión de capital estadounidense, brasileña y salvadoreña, y tiene la capacidad de deshidratar 60 millones de galones de etanol por año. La inversión fue alrededor de US\$ 10 millones (Pérez, 2006). La operación aprovecha los beneficios del tratado de libre comercio con Estados Unidos (CAFTA), lo cual contempla una cuota amplia de etanol anhidro sin restricciones de origen de la materia prima. Sin embargo, otras plantas potenciales que utilizarían materia prima nacional tendrían acceso pleno sin aranceles al mercado estadounidense.

Aparte del etanol proveniente de la caña de azúcar, existen otras iniciativas para la producción de este combustible. Una empresa de capital salvadoreño y estadounidense pretende generar energía a través del gas metano en el relleno sanitario de Nejapa, aunque también podrá procesar la basura para convertirla en un material orgánico estéril que puede ser usado para obtener etanol (Belloso, 2007). Asimismo, la Fundación Procafé ha iniciado estudios para la producción de etanol usando la pulpa del café, retomando investigaciones realizadas hace varias décadas (Granados, 2007b). Aún después de fabricar el etanol, se podría usar la pulpa como abono orgánico.

El potencial de producción de etanol en el país ha generado muestras de interés por parte de entidades externas. Con el apoyo de Brasil y Estados Unidos, el Banco Interamericano de Desarrollo anunció en abril de 2007 su apoyo a varios países del continente, incluyendo El Salvador³⁸, con US\$300 millones en préstamos y asesoría técnica para impulsar la inversión en la región.

3.2 Biodiesel

Existen varias iniciativas de producción de biodiesel en el país, pero solamente una planta industrial

La producción nacional de biodiesel inició con una planta piloto, cuya inversión fue financiada a través de la cooperación finlandesa. Está ubicada en San Miguel en una empresa que ya producía aceite de higuierillo en pequeña escala (Ribeiro, 2007). Tiene la capacidad de procesar 1,514 galones de aceite diarios, con un rendimiento de 1,211 galones de biodiesel y el resto de glicerina (AEA, 2006a). También cuenta con un prensatornillo, pero no es adecuado para extraer aceites de semillas. Ha funcionado en una forma limitada, ya que los resultados de extracción de aceite de higuierillo y tempate no eran los esperados. La poca producción se vende a compradores locales interesados a precios competitivos con el diesel convencional (Ribeiro, 2007).

Una inversión de mayor escala, de US\$2.5 millones, está ubicada en Zapotitán y tiene la capacidad de producir 25 mil galones diarios de biodiesel. Al funcionar a capacidad completa (24 días al mes), podría producir un volumen equivalente a 3.6% del consumo nacional de diesel. La empresa está constituida por 35% capital público, 5% capital privado salvadoreño y 60% capital privado guatemalteco (Granados, 2007a). Actualmente no tiene equipos para extracción de aceite y procesa aceite de palma importado de Guatemala y Honduras, aunque se espera usar el tempate o higuierillo nacional (Ribeiro, 2007). La planta también podría expandir su capacidad hasta 100 mil galones por día en poco tiempo (12.3% del consumo nacional). Sin embargo, enfrenta dificultades para vender su producción, debido al alto costo de la materia prima, a pesar de su alta calidad.

Finalmente, una compañía en Santa Ana procesa el aceite desgastado en varias cadenas de comida rápida para convertirlo en biodiesel para uso en los vehículos de estas empresas a un costo de US\$1.50 por galón. La inversión fue alrededor de US\$10 mil, y la planta tiene una capacidad de hasta 100 galones por día (Barrera, 2007).

Uno de los mayores limitantes para el biodiesel es la producción de materia prima nacional

Para la producción de biodiesel, el MARN, el MAG y la AEA están llevando a cabo propuestas para financiar proyectos de producción de este combustible, utilizando plantas autóctonas como el higuierillo y el tempate. El tempate (*Jatropha curcas*) es un árbol que crece en las tierras marginales y erosionadas que generalmente no sirven para la actividad agrícola (es tóxico para el ganado en su forma natural y sus ramas son de mala combustión como leña). Necesita poca agua para crecer, aunque prospera con más de 900 mm de lluvia por año y puede tolerar lluvias copiosas de hasta 2 mil mm por año. Es un perenne, empezando a producir a partir del tercer año e incrementándose hasta el quinto años, con una vida útil de hasta 30 ó 50 años. Se utilizan sus frutos para la producción de aceite (Ribeiro, 2007). Los residuos del proceso de extracción del aceite pueden ser procesados para remover sus elementos tóxicos y así sirven como alimento para el ganado (Fernández, 1993).

El higuierillo, también conocido como ricino, tiene un ciclo de rendimiento más corto que el del tempate, y se puede utilizar para acelerar la rentabilidad de las tierras. El higuierillo se puede sembrar en asocio con el ajonjolí y con una altura de hasta 2,800 msnm.

La intención del MAG es utilizar el tempate con el fin principal de reforestar en zonas altamente erosionadas y saturadas por las actividades agrícolas y en una segunda fase, utilizar las semillas de los árboles para la producción de aceite, mientras que se siembran áreas de higuierillo para producción a corto plazo. En 2006, se sembraron 247 mz de tempate y 50 mz de higuierillo. Para 2007, el MAG buscaba impulsar la siembra de 500 mz de higuierillo (*Diario El Mundo*, 2007), aunque es probable que solo se logren 200 ó 300 mz. Estas superficies reflejan el estado incipiente de este sector productivo, aunque al llegar a tener productividad y rentabilidad, existiría una alta demanda. Por ejemplo, la planta industrial de biodiesel con su capacidad actual podría demandar 1500-1800 tm de aceite por mes, equivalente a entre 25 y 30 mil mz de higuierillo.

También existen esfuerzos iniciales para organizar la cadena para la producción de estas semillas. El gobierno está preparando un programa para la compra de maquinaria de extracción de aceite de higuierillo (Córdova, 2007). Se proyecta la instalación de 45 máquinas de extracción de aceite distribuidos en el país en los próximos cinco años, cerca de las zonas de mayor producción. Asimismo, se han discutido un convenio de compra de las semillas y programas de financiamiento y asistencia técnica a través del CENTA.

Aunque el tempate e higuierillo son especies nativas, las variedades presentes en el país no necesariamente son las idóneas para la producción de aceite. Se requiere mucha más investigación, aprovechando la cooperación de programas en otros países, como Brasil, con parcelas de prueba de diferentes variedades. Pero determinar el mejor tipo de semilla no es suficiente; una investigación de tempate en Guatemala concluyó que todavía se requería más tiempo para determinar las mejores prácticas para su cultivo y cosecha (AEA, 2006).

Finalmente, otra señal del interés en el tema de los biocombustible es la formación de la Asociación Agroindustrial de Recursos Renovables de R.L., integrada por productores interesados en la siembra de tempate e higuierillo, transformadores y consumidores potenciales (Pérez, 2006).

3.3 Marco legal

Desde 2003, existe discusión en el país sobre una ley para fomentar el uso y producción de biocombustibles. Actualmente, el gobierno manifiesta que está finalizando un anteproyecto de ley de etanol; para el biodiesel, todavía no hay avances en un marco legal.

El mercado nacional del azúcar, igual que el mercado internacional, sufre de distorsiones causadas por cuotas de mercado y aranceles. Al introducir un programa de etanol, es importante buscar mecanismos adecuados que favorecen el avance tecnológico y que estimulan mayor eficiencia y eventuales reducciones de precios y reducciones de la intervención del gobierno. Como señala Horta (2006a), “La cuestión central a enfrentar en la definición del marco legal es dosificar el nivel de intervención que estimule a los productores, sin introducir un contexto ineficiente y que genere un mercado sostenible para el combustible nacional, para que progresivamente pase a no depender de un permanente soporte gubernamental”.

Un marco legal es clave para brindar certidumbre para las inversiones potenciales. Por otro lado, como los biocombustibles no son productos de las empresas petroleras sino bienes sustitutos, no es muy probable que introduzcan el producto en forma voluntaria. Las leyes en este tema deberían buscar asegurar la disponibilidad de biocombustible, pero a un precio competitivo con el sustituto petrolero. Para la ley de etanol, las discusiones indican que las medidas que probablemente contemplará son:

- La implementación progresiva de una mezcla obligatoria de etanol en las gasolinas, llegando al E10 en el corto plazo, con la prohibición inmediata de los aditivos MTBE y MMT.
- Abastecimiento al mercado interno con prioridad, y medidas para la preferencia del consumo de productos nacionales en vez de importaciones (en una sección posterior, se evaluará si esta provisión es conveniente).
- Exenciones de impuestos para la compra inicial de maquinaria e insumos para la producción de etanol, incluyendo el IVA, impuestos sobre la renta y aranceles a la importación (en una sección posterior, se evaluará si esta provisión es necesaria).

4. Beneficios potenciales, factores limitantes y otras consideraciones

4.1 Ahorro de divisas

Una mezcla de E10 generaría un ahorro anual de divisas de por lo menos US\$28.9 millones

Con los niveles de consumo actuales, la implementación de una mezcla E10 podría reducir las importaciones de gasolina en aproximadamente US\$28.9 millones, y si el país llegase a producir el 5% de su consumo de diesel como biodiesel, el ahorro de divisas sería de US\$17.5 millones, para un total de US\$46.4 millones al año, equivalente a 0.6% de las importaciones totales nacionales en 2006 reportadas por el BCR³⁹. Estas estimaciones no incluyen el costo de flete ni internación de los combustibles, solamente su precio internacional. El ahorro de divisas se reduciría sensiblemente al restar los costos de maquinaria y/o insumos importados para la producción y procesamiento de materias primas para los biocombustibles.

4.2 Inversión, costos de producción y rentabilidad

La regla general es cuando los precios de petróleo superan US\$50/barril, el etanol de caña de azúcar es significativamente más barato que la gasolina, y el biodiesel es relativamente competitivo con el diesel, dependiendo de su materia prima.

Análisis de costos demuestran buenos indicadores de rentabilidad para el etanol de caña de azúcar

Diferentes analistas han estimado un costo de producción para etanol en El Salvador:

- Un análisis elaborado en 2003 encontró un costo de producción de entre US\$0.99 y US\$1.78 por galón de etanol en la agroindustria azucarera de El Salvador dependiendo del insumo utilizado (Pérez, 2003).
- En 2006, se estimaba un costo de aproximadamente US\$1.89 por galón a base de jugo de caña (Horta, 2006a).
- Otro análisis encontró que el costo de producción de etanol en El Salvador a base de azúcar sería aproximadamente US\$0.20 inferior que el costo promedio de la gasolina del período 2003-2005, y sería US\$0.41 inferior que el de la gasolina cuando se produce a partir de la melaza (Fernández, 2006).

Se ha estimado que una planta de etanol puede requerir una inversión de aproximadamente US\$10 millones para una destilería completa para 757 mil galones diarios, con zafras de 120 días, resultando en un costo de producción de etanol (sin incluir el costo de la materia prima) de entre US\$0.23 a US\$0.42 por galón (Horta, 2006a). Las plantas en El Salvador obtendrían la rentabilidad potencial mayor de la región, pero fue principalmente por los beneficios de la depreciación fiscal acelerada de los activos fijos. Aún así, se estimó un TIR de 16.9% antes de impuestos, y un flujo de efectivo del capital propio de 17.0%. Al extender el período de zafra, este retorno a la inversión puede llegar a 18.0% (Fernández, 2006).

El costo del biodiesel puede ser competitivo con el diesel convencional, pero depende mucho del precio de la materia prima y la venta de subproductos

Según Ribeiro (2007), una planta de biodiesel de menor escala requiere una inversión de entre US\$25 mil (capacidad de 105 tm/año) hasta US\$1.3 millones (capacidad de 3,600 tm/año). Para plantas de mayor escala, las inversiones en plantas en otros países han variado desde US\$5.5 millones (33 mil tm/año en Estados Unidos) hasta US\$33 millones (105 mil tm/año en Brasil).

En términos de costo de producción, en el ejemplo de una planta en Estados Unidos, su costo total de producción fue de US\$1.81 por galón, aunque este costo puede variar mucho dependiendo del precio de la materia prima utilizada. Macedo y Horta (2004) estiman un costo de producción de biodiesel de higuierillo en Brasil de US\$2.08 por galón, mientras otro estudio brasileño estima un costo de US\$2.38 por galón (productividad actual baja de higuierillo) (CEPEA, 2005).

La venta de glicerina ayuda a apalancar el costo de biodiesel, reduciéndolo en desde US\$0.24 hasta US\$0.33 por galón. También para algunas materias primas, la venta de la torta (los residuos de la extracción del aceite) puede ayudar. Dependiendo del tipo de integración de la cadena productiva, se puede esperar un costo de entre US\$1.93 y US\$2.30 por galón, al contar con la venta de subproductos (Ribeiro, 2007).

El biodiesel en El Salvador todavía enfrenta un costo muy alto de materia prima

En el caso específico de El Salvador, mucho depende de los supuestos, ya que todavía no existen datos amplios en el tiempo de productividad agrícola e industrial de los dos cultivos en el país. En general, los costos estimados todavía no son tan atractivos.

- Para biodiesel del higuierillo, Ribeiro (2007) concluye que no sería una operación factible en términos de costos, debido a la remuneración a la producción de semillas. Aún en el biodiesel elaborado con base en el aceite de palma, el costo es muy elevado debido al precio de la materia prima en condiciones actuales.

- Marroquín (2005) concluye que el costo de producción de biodiesel de tempate todavía es superior al costo del diesel y un proyecto con este insumo todavía no es viable en el país.
- Un estudio del MAG calcula un costo de producción promedio de US\$1.94 por galón de biodiesel a base de tempate, semejante al costo de importación de diesel.
- En la planta piloto, se ha proyectado un costo de producción de US\$2.89 por galón de biodiesel a base de tempate, incluyendo US\$0.41 por galón de costo de procesamiento (Machuca, 2007).
- Otro estudio ha estimado un costo ex fábrica de biodiesel a base de tempate de US\$3.60 por galón, incluyendo costos financieros (Salazar, 2007). El higuierillo tiene un costo estimado ligeramente mayor que el tempate. La mayor dificultad de estas actividades será reducir el costo de la materia prima, ya que la mano de obra en el país todavía es prohibitiva según ese estudio.

Por el lado de los productores de materia prima, las estimaciones existentes no proporcionan altos ingresos.

- Estimaciones del CENTA indican una rentabilidad de US\$863.37/ha de tempate para un ciclo de producción de 10 años, es decir, un promedio de US\$86.34 por año, sin incluir costos financieros (Machuca, 2007).
- Mayorga (2007) calcula que con producciones de 45 quintales de semilla por manzana producidos con cultivos atendidos con tecnología mediana, el agricultor obtiene un ingreso bruto de US\$449.61/mz y utilidades de US\$131/mz. Utilizando un sistema de siembra que no aprovecha otros insumos agrícolas, las producciones se reducen a 25 quintales por manzana, el ingreso bruto a US\$246.61/mz y las utilidades a US\$90/mz.
- Hayem y Cruz (2006) incluyen el beneficio de la venta de la torta del tempate y la glicerina en las remuneraciones del productor, obteniendo un ingreso de US\$952/mz.

Para mejorar la rentabilidad de los productores, este último estudio incluye un esquema asociativo para la extracción del aceite y el acopio de toda la producción agrícola. Se ha estimado que con una inversión en maquinaria de US\$25 mil por centro, un grupo de productores pueden asociarse y extraer

el aceite para venderlo a la planta productora de diesel. La capacidad de estos equipos es suficiente para producir dos toneladas diarias de aceite. La meta del MAG es tener 47 de estos centros funcionando en un período de cinco años. Cada centro de acopio y extracción puede producir 520 tm anuales de aceite, y su utilidad anual es estimada en US\$33 mil, con un punto de equilibrio de 69 tm (Mayorga, 2007).

Sería importante buscar la forma en que los productores puedan invertir en las plantas para que tengan un sentido de responsabilidad de la propiedad. Esta propuesta del MAG supone un programa amplio de producción de materia prima, con mucha coordinación y capacidad administrativa por parte de los productores, lo cual siempre es un punto débil en este tipo de iniciativa. Otros expertos han recomendado que se dedique más trabajo de investigación agrícola para aumentar los rendimientos en campo y de extracción de aceite en lugar de arrancar un programa tan extensivo. Finalmente, siempre es una limitante el costo de la mano de obra, especialmente para la cosecha. Si la producción de biodiesel se acompaña con otras remuneraciones, como créditos de captura de carbono o incentivos fiscales, se puede buscar un sistema innovador de remuneración para los cosechadores.

4.3 Capacidad productiva de materia prima y seguridad alimentaria

En varios países del mundo, la fiebre de los biocombustibles ha generado un fuerte debate sobre sus implicaciones para la superficie cultivada. Por ejemplo, la Academia Nacional de Ciencias en Estados Unidos ha estimado que si se dedicara toda la producción de maíz y soya de ese país a la producción de biocombustibles, solo bajaría en 12% su demanda de gasolina y 6% para el diesel (Hill, et al, 2006). Por otro lado, el uso de maíz para etanol en Estados Unidos ha generado fuertes alzas en su precio internacional (al incrementar la demanda total), causando preocupaciones para la seguridad alimentaria en países que dependen fuertemente de este grano. Esta situación continuará durante los próximos años. Por ejemplo, una oficina del gobierno de Estados Unidos ha estimado que en 2012, alrededor de 30% de la cosecha de maíz de ese país será destinado a la producción de etanol (Doggett, 2007).

Para analizar la capacidad productiva de materias primas en el país para etanol y biodiesel y sus posibles implicaciones para la seguridad alimentaria, primero es importante precisar la demanda potencial de tierras y comparar estas cifras con las áreas ociosas disponibles. Luego, es necesario evaluar otros factores de producción que podrían ser limitantes, como mano de obra.

Usando factores de conversión sugeridos por Horta (2006a), se calcula que si se usara el 115.1% de la producción de 2006/07 de melaza o el 18.1% de la producción de caña (en forma del jugo), se podría llenar la demanda nacional al implementar una mezcla de E10⁴⁰. La combinación de uso de melaza o de jugo de caña se determinará según las decisiones de inversión futura, aunque la planta de etanol actual utiliza melaza. Para producir suficiente etanol para E10 solamente con melaza, se necesitaría sembrar aproximadamente 12.4 mil mz adicionales.

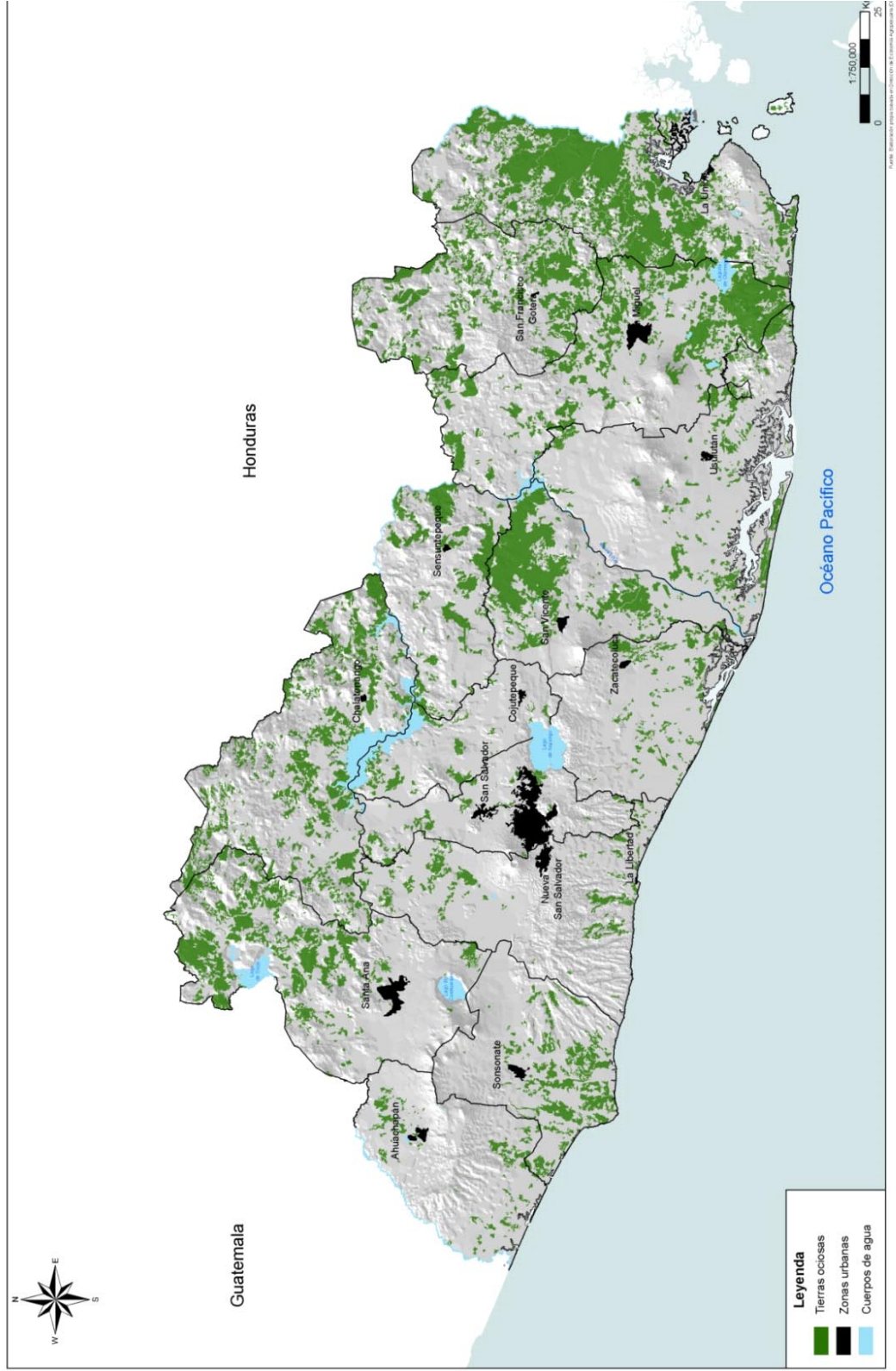
Para el biodiesel, si la meta es sustituir el 5% del consumo actual de diesel, Ribeiro (2007) ha estimado que se necesitarían 55.8 mil mz de tempate o 101 mil mz de higuierillo⁴¹. Como se mencionó anteriormente, la planta industrial de biodiesel en el país tiene la capacidad actual para absorber la producción de 25 a 30 mil mz de higuierillo, aunque otro estudio estimaba esta superficie en 37.4 mil mz (Mayorga, 2007).

Por el lado de la oferta de tierras, el MAG ha señalado que hay aproximadamente 1.4 millones de manzanas actualmente cultivadas en el país y que existen por lo menos 463 mil mz de tierra cultivable que están ociosas⁴². La mayoría se encuentran en el oriente y norte del país (mapa 6), zonas que tienden a tener suelos marginales o con mucha pendiente, es decir, no óptimos para la caña de azúcar ni posiblemente para higuierillo. El tempate es una opción atractiva en las tierras de mayor pendiente, y además proporciona beneficios adicionales de reforestación.

El área sembrada de caña de azúcar en el año zafra 2006/07 fue de 82.0 mil mz; se esperan 5 mil mz adicionales en 2007/08. Sin embargo, el MAG ha identificado 200 mil mz potenciales para la siembra de caña (Jiménez, 2007), de las cuales, 30 mil mz no comprometerían a áreas dedicadas a otros cultivos (IICA, 2007) y el resto como parte de la cifra de tierra ociosa anterior.

Entonces, no sería necesario desviar áreas actualmente cultivadas con granos básicos hacia la caña ni tempate e higuierillo para lograr una producción inicial de biocombustibles. En otras palabras, en El Salvador, la disyuntiva entre áreas

Mapa 6
Distribución de tierra ociosa en El Salvador, 2004



cultivadas para biocombustibles y para la alimentación, no existe.

Adicionalmente, todos estos análisis no toman en cuenta el factor tecnológico. Aunque El Salvador tiene la mayor productividad de caña en la región, la estructura de la producción agrícola dificulta la implementación de cambios tecnológicos. La mayoría de parcelas de caña (y también parcelas potenciales para tempate e higuierillo son de menos de 7 mz), lo cual dificulta las labores de extensión y baja la eficiencia de innovaciones como riego y mecanización, especialmente en la caña de azúcar. Se considera que aún los grandes productores están atrasados en varios aspectos (equipo para preparación de la tierra, control integrado de plagas, semilla de calidad, uso racional de fertilizantes y riego). Entre 70 y 80% del sector tiene mezcla varietal, lo cual redundante en menor productividad. Entonces, al lograr mayor productividad de la caña, el área adicional se reduce y/o las posibilidades para exportación aumentan.

Al aumentar la producción nacional de caña para el etanol, otro beneficio potencial es mayor empleo, aunque al nivel agrícola las estimaciones son variables, dependiendo más que todo en el grado de mecanización que se introduce para la cosecha de la caña. Si se utiliza mano de obra completa para la cosecha, el aumento sería alrededor de 8 mil empleos directos, incluyendo agroindustria, mientras que si se mecaniza la cosecha, este incremento se reduce a dos mil personas (Horta, 2004a). Varias zonas productoras, especialmente en el oriente, dependen, en un buen grado, de mano de obra nicaragüense para la zafra. Frente a esta situación, en las áreas adicionales de caña, es importante evaluar la conveniencia de la mecanización de la cosecha, ya que trae beneficios ambientales adicionales que se explican más adelante.

Finalmente, para el biodiesel, el país tiene una gran oportunidad de incidir en el desarrollo económico de las áreas rurales y la reducción de pobreza, si se enfoca hacia los pequeños productores con poca capacidad de comercializar su producción directamente. Con asistencia técnica dirigida y especializada, y organización para la venta con la cooperación de los procesadores, Brasil ha tenido una experiencia interesante con 30 mil productores de higuierillo en el nordeste de ese país; incluso, los productores pueden tener una siembra de frijol intercalado, lo cual ayuda a su seguridad alimentaria y economía familiar.

4.4 Logística

Para la logística de una mezcla con etanol, hay dos aspectos fundamentales, la infraestructura de almacenamiento y la infraestructura para la mezcla. Para el E10, se necesitan aproximadamente 14.9 millones de galones por año al inicio. El año zafra generalmente se extiende desde noviembre hasta abril, aunque algunos ingenios inician más tarde y otros cierran más temprano. Usando un promedio de aproximadamente cuatro meses de operación, se necesita la capacidad de almacenar ocho meses de consumo para suministrar el resto del año, es decir, 9.95 millones de galones⁴³. Sería lógico que la responsabilidad de almacenamiento recaiga sobre los ingenios. Para reducir la capacidad necesaria de almacenamiento, Leal (2007) ha sugerido esfuerzos en el manejo de las plantaciones de caña para aprovechar los últimos meses de la época seca y extender el año zafra de 120 a 160 días.

El otro tema en la infraestructura para etanol es la ubicación y la responsabilidad de la mezcla. La opción sugerida por la Asociación Azucarera ha sido que la mezcla sea hecha en Acajutla, donde está la refinera y las instalaciones de importación y almacenamiento de hidrocarburos (Pérez, 2006).

4.5 Emisiones de gases y otros aspectos ambientales

Las emisiones de la combustión de biocombustibles son menores que la gasolina y el diesel de petróleo

Otro de los beneficios potenciales de los biocombustibles es la reducción de emisiones en los vehículos. Por ejemplo, se ha demostrado un ahorro de entre un 25% a un 80% de las emisiones de CO₂ producidas por los combustibles derivados del petróleo, constituyendo así un elemento importante para disminuir los gases de efecto invernadero (GHG por sus siglas en inglés) producidos por el transporte. El etanol reduce las emisiones de monóxido de carbono en hasta 30%, contenido de tóxicos en 13% en volumen y 21% en poder, y las emisiones de materias particuladas finas en 50%.

Para el biodiesel, un estudio en El Salvador encontró una reducción de 8.5% en óxidos de nitrógeno (NO_x), 46.5% en monóxido de carbono (CO), 50.3% en hidrocarburos, y 11.8% en dióxido de carbono (CO₂) versus el diesel convencional, mientras que la materia particulada fue esencialmente igual. Por otro lado, el contenido de azufre es escaso (3%) en las emisiones al uso biodiesel con respecto al petrodiesel; como consecuencia de ello, la emisión de óxido de azufre es casi nula (Machuca, 2007).

Estas posibles reducciones en emisiones también son importantes para la salud humana. Según la Organización Panamericana para la Salud (OPS), las enfermedades respiratorias agudas son una de las principales causas de morbilidad y mortalidad en El Salvador. En 2000, la tasa de incidencia fue de 252.3 casos por 1,000 habitantes, y afectaba el 52% de la población menor de 5 años de edad. Aunque hay otros factores contaminantes, por ejemplo, la quema de leña en el interior de las casas, la OPS considera que el sector transporte es responsable de la mayor parte de la contaminación del aire exterior.

Fusades ha realizado análisis de la calidad del aire en el área metropolitana desde 1997. Para 2006, en los promedio anuales, las concentraciones de materia particulada (PM10) en dos de los cuatro sitios con monitoreo superaron la norma oficial establecida (cuadro 12). La cantidad de partículas totales en suspensión (PTS) supera la norma en los dos sitios con muestreo, y el dióxido de nitrógeno (NO₂) supera la norma en la zona del Hospital de Maternidad, aunque está cerca de la norma en dos sitios más. Todos estos contaminantes son agravantes para las enfermedades respiratorias. Un estudio del MARN estimaba en 2005 que solamente en el área metropolitana, los efectos de la contaminación del aire en la salud generan más de US\$54 millones en costos anuales, incluyendo costos directos y pérdidas de productividad. Es

Sitio	NO ₂	PTS	PM10
Santa Elena	-7.62%	104.61%	-13.54%
Maternidad	20.40%	104.61%	50.68%
Soyapango	-11.45%	104.61%	38.62%
Escalón	-34.35%	104.61%	38.62%

Cuadro 12
Variación de niveles promedio de contaminantes de aire, en relación con norma OPS, 2006

Fuente: Elaboración propia con base en datos de MARN, 2007.

especialmente interesante comparar estos costos con la posibilidad de invertir en la investigación de cultivos para biodiesel, cuyo presupuesto actual de investigación es imperceptible.

Regresando al tema de los GHG, un enfoque más amplio de efectos ambientales es el ciclo de vida de los combustibles, es decir, tomando en cuenta las emisiones no solamente en la combustión en el vehículo sino también las emisiones causadas en la producción y procesamiento de la materia prima usada para generar el combustible. Es un criterio ambiental más amplio pero igualmente importante. En el caso del etanol de maíz, las emisiones totales de GHG son 12% inferiores que las de la gasolina, y para el biodiesel, son 41% menos (Hill, et al, 2006).

Para el etanol basado en la caña de azúcar, el efecto de la quema de la caña en la contaminación del aire y en la generación de GHG es una preocupación válida al analizar su ciclo de vida. En el caso salvadoreño, es muy conveniente profundizar en las posibilidades de implementar la zafra verde como en Brasil, la cual implica no quemar la caña y la mecanización de la cosecha. En el mediano plazo, cuando la producción de etanol con base en la celulosa sea más eficiente en costos, los productores de caña tendrán un incentivo adicional para la zafra verde.

Otra consideración ambiental para los biocombustibles es la disposición final de los desechos de los procesos de producción. En el caso de la caña de azúcar, se produce la vinaza, y en el caso del tempate, una torta de residuos, ambos tóxicos. Todavía no hay claridad sobre la resolución de este dilema, aunque la Asociación Azucarera está investigando sobre las opciones para la vinaza.

Los biocombustibles pueden participar en el mercado de créditos de carbono

Finalmente, otro aspecto ambiental positivo de los biocombustibles es la captura de carbono que realizan las plantas y árboles que proveen las materias primas. Un estudio del Banco Mundial (2005) concluyó que en el mercado de carbono del Mecanismo de Desarrollo Limpio del Protocolo de Kyoto, los biocombustibles podrían ganar un premio de US\$0.04 a US\$0.28 por galón dependiendo de la capacidad de absorción de carbono de sus materias primas. En el caso de El Salvador, este beneficio podría ser especialmente interesante en el caso del tempate. Sin embargo, todavía no existe ningún mecanismo para incentivar su siembra; incluso, el

tempate no califica para el actual Bono Forestal porque no es maderable. Un mecanismo de pagos por servicios ambientales podría ser útil en el futuro, una vez que las dificultades productivas se superen.

4.6 Balance de energía

Los biocombustibles generan más energía que la utilizada para su producción

Una de las inquietudes importantes sobre los biocombustibles es si requieren más energía para producirlos de lo que rinden. Aunque fue una preocupación mayor hace una década, ahora casi todos los análisis encuentran que las alternativas tienen balances positivos. Por definición, el balance de energía es la relación entre la energía contenida en el combustible final a la energía utilizada por los esfuerzos para producirlo, incluyendo la fase agrícola para los biocombustibles. El diesel de petróleo y la gasolina tienen balances entre 0.8 y 0.9 (cuadro 13), es decir, que usan entre 10 y 20% más energía para su producción comparado con la energía liberada en su uso, ya que se requieren energía para su refinación. Estas cifras son inferiores que los biocombustibles menos eficientes, el etanol a base de maíz, cuyo balance es aproximadamente 1.5, y el biodiesel de aceite de colza, con mediciones

desde 1.2. Algunos tipos tienen balances sumamente positivos, por ejemplo, etanol de caña de azúcar con entre 2 y 9. El balance es aún más favorable cuando se incluye la energía proveniente de procesos de cogeneración, por ejemplo, quemando el bagazo para electricidad. Para las fuentes de biodiesel más probables en El Salvador, el tempate y el higuierillo, no se encontraron estimaciones de su balanza, aunque por sus sistemas de producción y procesamiento, es probable que se asemejen al biodiesel de aceite de palma. Los biocombustibles gozan de balances tan favorables debido a su fuente principal de energía, el sol en el proceso de crecimiento de las plantas.

4.7 Oportunidades de comercio

Existen amplias oportunidades para exportar biocombustibles a países como Estados Unidos, Japón y la Unión Europea

Debido a que la mayoría de los biocombustibles producidos en países templados son los menos eficientes y más costosos, sería más eficiente en términos de balanza de energía y más económico, que estos países importen biocombustibles (por ejemplo, de caña de azúcar o de aceite de palma) desde países tropicales (WWI, 2006). Países

Cuadro 13
Balance de energía de varios combustibles

Combustible	Fuente	Balance de energía
Etanol	Celulosa	2.6 a 35.7
Biodiesel	Aceite de palma	8.7 a 9.7
Etanol	Caña de azúcar	2.1 a 8.8
Biodiesel	Aceite desgastado	4.9 a 5.9
Biodiesel	Soya	1.4 a 3.7
Biodiesel	Colza, Europa	1.2 a 3.7
Etanol	Maíz, EEUU	1.3 a 1.8
Diesel	Petróleo	0.8 a 0.9
Gasolina	Petróleo	0.8

Fuente: Recopilado de WWI (2006) desde varias fuentes; Abel Seabra, et al, 2006; Hill, et al, 2006.

desarrollados como Japón, Estados Unidos y Europa, están enfrentando una oferta insuficiente para suplir sus demandas futuras en la medida que implementan metas progresivamente más altas de uso de biocombustibles. Por ejemplo, el objetivo estadounidense de 35 mil millones de galones de etanol para 2017 requeriría más de la totalidad de producción actual de maíz amarillo en Estados Unidos (Shane, 2007). Si la producción de etanol proveniente de celulosa todavía no es muy rentable, existiría una amplia oportunidad para exportaciones a Estados Unidos de etanol, especialmente considerando la cercanía de este mercado a El Salvador.

El arancel NMF para el etanol en Estados Unidos es de 2.5% más una tasa adicional de US\$0.54 por galón, para una protección total de aproximadamente 29.6% usando el precio CIF promedio en el primer semestre de 2007⁴⁴. El CAFTA proporciona una ventaja importante para El Salvador para el comercio de etanol. En Estados Unidos, las importaciones de etanol desde El Salvador provenientes de materias primas nacionales están exentas de aranceles, mientras que el etanol que sufre un proceso de deshidratación en El Salvador, pero proviene de etanol hidratado de otro país, puede entrar sin aranceles hasta un volumen creciente cada año. Por ejemplo, en 2007, esta cuota es de 7.9 millones de galones, cantidad que se incrementa 1.3 millones de galones cada año. En 2006, El Salvador fue el tercer exportador más grande de etanol a Estados Unidos, enviando 38.3 millones de galones con un valor de US\$95.4 millones, superado únicamente por Brasil y Jamaica (MINEC, 2007).

En el caso de la Unión Europea, para 2020, el 10% de los carburantes deben ser biocombustibles, lo cual ocuparía el 18% del terreno cultivable de la región (FMI, 2007). Para 2008, se proyecta que los países de la Unión Europea importarán 534 mil tm de biodiesel y 1.2 millones de tm de etanol, 4.0% y 21.4% de su consumo, respectivamente (USDA, 2007). En la negociación de acuerdo de comercio con la Unión Europea, será estratégico un acceso ventajoso para los biocombustibles. Sin embargo, como para cualquier exportación, es clave cumplir normas y estándares. En el caso europeo, existe una barrera técnica de contenido mínimo de yodo que podría afectar a las importaciones de ciertos aceites para biodiesel, aunque existen discusiones para modificar esta norma (USDA, 2007).

Dado el creciente mercado internacional, las oportunidades de la industria no deben ser limitadas al suministro preferible al consumo nacional; igualmente, la importación no debe ser restringida.

4.8 Determinación de precios y desvío de producción

El uso de etanol no necesariamente significa un ahorro para el consumidor

Un mito que se ha generado es que el uso de etanol en lugar de gasolina o en una mezcla, generaría ahorros para los consumidores nacionales. En el mediano plazo, y al implementar una mayor mezcla, es una posibilidad. Sin embargo, con los rangos de precios actuales y una mezcla inicial de 10%, el ahorro sería limitado. Los beneficios económicos para el país más provienen del ahorro de divisas y la generación de mayor actividad productiva, y el mayor beneficio es la reducción de emisiones.

Dicho eso, debido al mayor octanaje del etanol, cuando se mezcla con la gasolina, es posible reducir el octanaje de la gasolina base para obtener un combustible con un indicador igual que antes de introducir la mezcla, por ejemplo, para obtener un E10 de 90 (como la gasolina regular actualmente en El Salvador), se puede usar una gasolina base de con octanaje de 87.8. Una gasolina de menor octanaje tiene menor precio, lo cual puede traducir en un ahorro ligero adicional para el consumidor.

El precio del etanol debe ser determinado en el mercado, pero con vigilancia para prevenir prácticas oligopólicas

Existen discusiones sobre el establecimiento de una banda de precios para el etanol o de un precio mínimo de garantía. Sin embargo, la experiencia práctica indica que la determinación de precios por el libre mercado es el mecanismo más eficiente. Por otro lado, es necesario reconocer la preocupación que uno de los lados de la transacción (destilerías o empresas petroleras) podría ejercer un control oligopólico dado que son pocas empresas en cada grupo, pero la posibilidad de importación de etanol también introducirá otro elemento de competencia en la determinación de precios.

Para los ingenios, el etanol genera mayores ingresos que el azúcar para el mercado internacional de excedentes y la melaza

Por el lado de los productores, el precio del etanol necesario para hacer atractiva su producción es diferente dependiendo del costo de oportunidad del producto que se dejaría de producir. Por ejemplo, el precio del azúcar para el mercado preferencial es mayor que el precio del mercado internacional de excedentes y, por ende, el precio del etanol tiene que ser mayor para que se deje de producir azúcar para el mercado estadounidense versus el mercado de excedentes. Usando factores de conversión sugeridos por Horta (2006a), se pudo determinar que en El Salvador, la producción de etanol genera mayores ingresos que la producción de azúcar para el mercado internacional (no preferencial) y también en comparación con la producción de melaza para el mercado interno o de exportación, considerando precios para estos mercados y para el etanol exportado en 2007 (cuadro 14). Entonces, la producción de etanol en el país no requiere subsidios para ser factible.

Bajo los precios actuales, el etanol no es preferible al azúcar para el mercado preferencial de Estados

Unidos ni para el mercado nacional; entonces, en el corto plazo, el suministro del edulcorante no está en duda para los consumidores domésticos.

En los últimos años, aproximadamente 12% de la producción nacional de azúcar se destina para el mercado preferencial en Estados Unidos, 44% para el mercado internacional de excedentes, y 44% para consumo nacional (cuadro 15). Si se convirtieran en etanol las exportaciones de aproximadamente 232 mil tm destinadas al atractivo mercado de excedentes, se pueden producir 36.7 millones de galones, equivalente al 24.6% del consumo de gasolina nacional. Si la demanda nacional es para una mezcla de E10, el restante podría ser exportado⁴⁵.

A pesar de ser muy atractivo usar la melaza para producir etanol, su desvío generaría un problema importante para los consumidores locales, más que todo para el sector ganadero que ocupa la melaza como una fuente importante de energía en la alimentación animal. Es un factor que debe ser considerado y discutido con el sector.

Cuadro 14
Precios de paridad del etanol en El Salvador

Producto	Precio ene-jun 2007 (US\$/kg)	Precio de paridad de etanol (US\$/gal)
Melaza mercado interno	0.145	1.639
Melaza mercado externo FOB	0.097	1.096
Azúcar mercado interno	0.448	2.826
Azúcar mercado externo FOB, excedente	0.281	1.772
Azúcar mercado externo FOB, cuota EEUU	0.362	2.287

Nota: Usando factores de conversión de 2.980 para melaza y 1.668 para azúcar (Horta, 2006a).
Fuente: Elaboración propia con base en datos de El Salvador Trade y Asociación Azucarera.

Cuadro 15
Utilización de azúcar producida en El Salvador (toneladas métricas)

Año	Producción total*	Exportaciones preferenciales a EEUU**	Otras exportaciones	Consumo nacional***
2003	480,181	27,379	238,927	213,875
2004	521,800	27,379	223,726	270,695
2005	551,604	27,379	322,862	201,363
2006	532,327	61,365	232,873	238,088
2007	522,504	57,803	n/a	n/a

* Producción corresponde al año calendario en que termine el año zafra.

** A partir de 2006, incluye cuota CAFTA.

*** Excedente de producción menos exportaciones.

n/a No aplica

Fuente: Elaboración propia con base en datos de BCR, CONSAA y USTR

El biodiesel producido en El Salvador generalmente se vende a precios del mercado de diesel, ya que los dirigentes de la planta industrial han mencionado las dificultades que han tenido en obtener precios mayores, a pesar de la mejor calidad de biodiesel comparado con el combustible convencional. La dificultad de la planta proviene de la alza en el precio de su materia prima, el aceite de palma, que ha aumentado 47% en los últimos nueve meses, según cifras del Banco Mundial.

4.9 Aspectos fiscales

Una mezcla obligatoria de etanol no requiere impuestos diferenciados

Aparte del IVA de 13%, los combustibles en El Salvador están tazados con el Fondo de Conservación Vial (FOVIAL) de US\$0.20 por galón y el subsidio cruzado para el gas propano (el Fondo de Estabilización y Fomento Económico, o FEFE; aplicado únicamente a gasolina) de US\$0.16 por galón, y los US\$0.10 por galón de subsidio para el transporte público. Muchos países aplican tributos distintos a los biocombustibles, por ejemplo varios en el resto de América Latina⁴⁶ y la Unión Europea, pero estas diferencias solo deben considerarse en situaciones para incentivar el consumo. En el caso de una mezcla obligatoria con etanol, cargas distintas no tendrían sentido, y podrían generar condiciones propicias para fraude⁴⁷, aunque el FEFE es una tasa cuestionable en toda aplicación debido a la falta de focalización del subsidio al gas propano a beneficio de los más pobres (Banco Mundial, 2006). Sin embargo, podrían considerarse en el caso del biodiesel, siempre y cuando existan controles para prevenir el fraude, lo cual puede ser relativamente fácil, mientras las empresas que venden biodiesel sean distintas a las que venden diesel.

Los biocombustibles no significan un impacto negativo para el fisco, más bien puede ser favorable

También es relevante considerar la posibilidad de una reducción en ingresos fiscales al reducir las importaciones de gasolina y/o diesel. Sin embargo,

este sacrificio fiscal del etanol podría no existir. Un estudio en Guatemala calculó que para un E10 y considerando las nuevas actividades económicas generadas, los impuestos que el gobierno dejara de percibir por la importación de gasolinas serían inferiores a los ingresos por impuestos de importación, IVA e impuesto sobre la renta de las destilerías y la producción agrícola (ACRC, 2003).

En el caso de El Salvador, el arancel de importación para las gasolinas y diesel es 1%, y según datos de la SIECA, en 2006, el 34.8% procedieron de Estados Unidos que ahora está exento de arancel para estos productos por los compromisos del CAFTA. Manteniendo estas cifras (un supuesto bajo), lo recaudado en aranceles para estos combustibles en un año sería alrededor de US\$27.4 millones. Si se implementara una sustitución de E10, y si esto sustituye a la gasolina importada, se dejarían de percibir US\$203 mil. Si se sustituyen el 5% del diesel con biodiesel, se dejarían de percibir US\$108.6 mil en aranceles; el total de las dos sustituciones serían US\$311.6 mil. Como punto de contraste, al implementar el CAFTA, el país no recibiría US\$1.46 millones en aranceles por las importaciones de estos combustibles desde Estados Unidos. Entonces, el efecto arancelario es relativamente pequeño al sustituir combustibles importados por biocombustibles nacionales. Más bien, la mayor actividad agrícola y agroindustrial puede generar más impuestos sobre la renta, aun si es después de un período de exención. En conclusión, es muy probable que la implementación de una mezcla de E10 y el uso de biodiesel eventualmente sería de beneficio para el fisco.

4.10 Aspectos técnicos

Los nuevos tipos de carburantes deben cumplir con las normas técnicas reconocidas, para ser aceptados en mayor medida por los consumidores y los fabricantes de vehículos y penetrar en el mercado. Las normas técnicas también constituyen la base de los requisitos en materia de emisiones y de control de éstas. El etanol y el biodiesel, cuando se utilizan para vehículos, puros o en mezcla, deben cumplir las normas de calidad establecidas para garantizar un rendimiento óptimo del motor.

En la región, se está esperando la oficialización del Reglamento Técnico Centroamericano que define las especificaciones del biodiesel y sus mezclas con el diesel convencional. La propuesta de reglamento se considera una sólida combinación de la norma

técnica de Estados Unidos y de la Unión Europea. Otro problema por resolver en El Salvador es la ausencia de un laboratorio con la capacidad de evaluar las especificaciones de biodiesel y certificar el producto (Ribeiro, 2007).

5. Recomendaciones de política

Independiente de la tendencia de corto plazo de los precios de petróleo, es fundamental que el país defina si los biocombustibles son importantes para diversificar la matriz energética y para reducir la contaminación del aire y sus consecuencias nocivas, y entonces apostar a largo plazo (Ribeiro, 2007). Por razones estratégicas, es conveniente que El Salvador busque la diversificación de fuentes de combustibles, igual que fuentes de energía eléctrica. Asimismo, las enfermedades respiratorias causadas en buena parte por las emisiones de vehículos, representan un costo importante para la sociedad. Para este fin, se hacen las siguientes recomendaciones de política:

- Enfatizar la investigación para obtener materias primas nacionales que sean competitivas para la producción de biocombustibles. El suministro nacional es preferible pero los biocombustibles también pueden provenir de otros mercados. Asimismo, la industria nacional puede acceder a oportunidades para la exportación.
- Promover el uso de etanol y biodiesel en un marco que promueva e incentive la eficiencia y la competencia. No es necesaria la creación de exenciones a impuestos ni garantías de mercado ni precios, pero una mezcla obligatoria de etanol es comprensible dada la estructura del sistema de distribución.
- Aprobar la Ley de Arrendamiento de Tierras para hacer disponibles más áreas ociosas para su cultivo racional, así como la Ley de Ordenamiento y Desarrollo Territorial y su plan correspondiente para indicar las tierras disponibles para los cultivos para biocombustibles, así como para cultivos para la alimentación.
- Promover el encadenamiento productivo para involucrar a los pequeños productores en el procesamiento y comercialización de biodiesel.