



**ASPECTOS COMPLEMENTARIOS PARA LA DEFINICIÓN DE UN
PROGRAMA DE BIOETANOL EN AMÉRICA CENTRAL**

Proyecto Uso Sustentable de Hidrocarburos

(Convenio CEPAL/República Federal de Alemania)

Este documento fue elaborado por el señor Luiz Augusto Horta Nogueira, consultor del Proyecto, para la Unidad de Energía de la Sede Subregional de la CEPAL en México. Las opiniones vertidas en él son de responsabilidad exclusiva del consultor y pueden no coincidir con las de la organización. No ha sido sometido a revisión editorial.

ÍNDICE

	<u>Página</u>
INTRODUCCIÓN	1
RESUMEN	3
I. ESTUDIO DE UN ESCENARIO COMPLEMENTARIO PARA UN PROGRAMA DE GASOHOL.....	5
1. Datos e hipótesis adoptados	5
2. Resultados y conclusiones.....	7
II. EVALUACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS DE INFRAESTRUCTURA Y LOGÍSTICA.....	10
1. Estacionalidad de la producción y requerimientos de infraestructura..	10
2. Dispersión de la producción alcohólica: cuestiones de infraestructura	12
III. EVALUACIÓN DE LOS IMPACTOS SOBRE LA GENERACIÓN DE EMPLEO	15
1. Empleos en las actividades agrícolas	16
2. Empleos en las actividades industriales, empleos indirectos y empleos totales	19
3. Discusión de los resultados	20
IV. ESTUDIO DE COMPATIBILIDAD DEL GASOHOL CON MATERIALES DE MOTORES, ESTACIONES DE SERVICIO Y SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO/TRANSPORTE DE COMBUSTIBLES	22
1. Gasohol y materiales metálicos	22
2. Gasohol y elastómeros.....	23
3. Visión de la industria automotriz	25
V. REEVALUACIÓN DE LOS ASPECTOS ECONÓMICOS	29
1. Estimación del valor económico de las diferencias de presión de vapor y octanaje en las gasolinas, al adicional 10% de etanol.....	29
2. Estructura de impuestos a las gasolinas y diesel	33
3. Cálculo de la renuncia fiscal por la adición de 10% de etanol sin impuestos.....	35

INTRODUCCIÓN

Por recomendación de los Directores Generales de Hidrocarburos de Guatemala, El Salvador, Honduras, Nicaragua, Costa Rica y Panamá, en septiembre/octubre de 2003 se desarrolló un estudio sobre las Perspectivas de un Programa de Biocombustibles en América Central, en el marco del Proyecto sobre Uso Sustentable de Hidrocarburos (CEPAL/República Federal de Alemania). El estudio incluyó una breve visita a los países y entrevistas con funcionarios de instituciones involucradas o interesadas en biocombustibles, tanto del Gobierno como del sector productor de caña de azúcar. Asimismo, se preparó un informe ¹ al respecto, el cual fue presentado en un seminario que se llevó a cabo en San José, Costa Rica, en noviembre del mismo año. En esa ocasión, los Directores Generales de Hidrocarburos solicitaron a la CEPAL un estudio complementario, con nuevos temas específicamente relacionados con el etanol de caña de azúcar, con énfasis en algunos aspectos tratados previamente.

En el estudio inicial se presentaron básicamente: 1) aspectos tecnológicos de la producción de etanol y su empleo en mezclas con gasolina; 2) información y consideraciones acerca de la experiencia brasileña con biocombustibles; 3) evaluación de las condiciones técnicas (agrícolas e industriales) para producción de etanol y utilización en mezclas con gasolina, considerando la situación del mercado de combustibles en cada país y en la región, de acuerdo con cuatro escenarios de productividades y niveles de mezcla, y 4) un breve planteamiento de cuestiones económicas, tributarias y regulatorias. Los estudios complementarios solicitados se refieren a los siguientes temas: 1) estudio de un quinto escenario de implementación para un programa de gasohol, considerando una mezcla de 10% de etanol en la gasolina y el uso como materia prima de 75% de la melaza (miel agotada) actualmente disponible, complementada con jugo directo de caña en la cantidad requerida para atender la demanda actual de gasolina; 2) evaluación (cualitativa) de los requerimientos de infraestructura y logística para el etanol y el gasohol; 3) evaluación de los impactos sobre la generación de empleo asociada a la producción de etanol y la utilización de gasohol; iv) estudio de compatibilidad del gasohol con materiales de motores, estaciones de servicio y sistemas de almacenamiento/transporte de combustibles, y v) reevaluación de los aspectos económicos.

1.

¹ Horta Nogueira, L.A., *Perspectivas de un Programa de Biocombustibles en América Central*, informe preparado para la Unidad de Energía, CEPAL (subsede México), 2003

RESUMEN

El escenario adicional de producción de etanol considera como materia prima el 75% de la miel agotada disponible, complementada con jugo directo de caña, para atender la demanda para introducción de gasohol con 10% de etanol. Los resultados indican que, en promedio para la región, es necesario 7.7% de expansión de la área plantada en caña, agregando 31 300 hectáreas de cañaverales, sin afectar la producción actual de azúcar.

Algunos países de la región dependen de un reducido o nulo aporte de caña complementario para introducir el gasohol. Este es el caso de Honduras, Guatemala y Nicaragua, donde más de la mitad de la demanda puede ser atendida con la miel producida en los ingenios. Por el contrario, en Costa Rica y Panamá requeriría de significativos aportes de caña adicional. La situación de El Salvador debe ser estudiada con más cuidado, ya que, además de necesitar relevantes aportes de caña directa, existen otros limitantes a considerar para el incremento de la producción cañera. Estos resultados no cambian de forma muy significativa al variar la fracción de las melazas a ser utilizada.

Los requerimientos de infraestructura para la implementación del gasohol dependen directamente de la duración de la zafra, que determina la dimensión de las reservas de entre zafra. Para toda la región, adoptando una mezcla de 10% de etanol en la gasolina, el requerimiento mínimo teórico de almacenamiento de etanol sería de 246 600 m³ para una zafra de 100 días, y de 153 600 m³ para una zafra de 200 días.

El etanol puede ser transportado por diversos medios, y normalmente se prepara la mezcla en las terminales de las distribuidoras. La selección del sistema de transporte debe tomar en cuenta las características de cada mercado y puede ser optimizado para reducir el costo total.

La generación de empleo directo asociada a la implementación de la producción de etanol depende directamente del patrón tecnológico a ser adoptado. Si se considera toda la región, podría significar entre 11 000 y 54 000 trabajadores directos (0.18% y 0.86% de la PEA rural), respectivamente, con mayoría para los empleos rurales. Estos empleos muestran una gran estacionalidad y típicamente requieren baja calificación.

La compatibilidad de materiales metálicos y plásticos con el gasohol ha sido bastante estudiada, y de manera general no constituye un problema grave en la implementación del uso de gasohol. Según la mayoría de los fabricantes de motores, el gasohol con hasta 10% de etanol puede ser adoptado sin mayores cuestionamientos.

La adición de etanol en la gasolina resulta en el aumento de la presión de vapor y del octanaje. Por lo tanto, las características de las gasolinas base necesarias para lograr las especificaciones actuales de las gasolinas regular y Premium, deberían cambiar. La evaluación económica de estos cambios indican que las gasolinas base para producir gasohol tendrían un precio de importación inferior en alrededor de un centavo de dólar por galón. El cálculo de la renuncia fiscal que implicaría la adición del 10% de etanol en las gasolinas se eleva a 76.7 millones de dólares estadounidenses para los seis países del Istmo Centroamericano.

I. ESTUDIO DE UN ESCENARIO COMPLEMENTARIO PARA UN PROGRAMA DE GASOHOL

Distintos nuevos escenarios podrían ser explorados a fin de evaluar las posibilidades de empleo de etanol como carburante en los países centroamericanos; sin embargo, se destaca entre las posibles alternativas el uso simultáneo, como materia prima, de una fracción de la miel actualmente disponible, complementada con jugo directo de caña, lo que permitiría la producción de etanol suficiente para atender la demanda correspondiente a una mezcla de 10% en la gasolina. Así, se busca reproducir más concretamente la situación de países que pretenden introducir el etanol en sus matrices energéticas, sin cambiar la producción de azúcar, como en principio parecería la opción más oportuna en la región.

1. Datos e hipótesis adoptadas

En el estudio inicial se consideraron cuatro escenarios (véase el cuadro 1), con el fin de cubrir situaciones extremas de contorno en cuanto a productividades y alternativas de producción de etanol, con valores adoptados en función de las condiciones observadas en los ingenios de la región y de acuerdo con sus posibilidades. Así, se exploraron los escenarios: a) *conservador clásico*, considerando la manutención del “status quo” en la agroindustria cañera, con los niveles de agotamiento de miel actualmente adoptados, que permiten producir una cantidad limitada de etanol (alrededor de 6 litros por tonelada de caña procesada); b) el escenario *conservador mejorado*, asumiendo una productividad de etanol del doble del escenario anterior, lo que corresponde a no agotar la miel en los ingenios, reduciendo el trabajo de cocimiento del azúcar, mejorando su calidad, pero naturalmente también reduciendo su producción; c) el escenario *innovador clásico*, considerando para la producción de etanol solamente el jugo de la caña, con valores de productividad usuales en la agroindustria alcoholera de Brasil, en el inicio del Programa de Alcohol en este país, y d) el escenario *innovador optimizado*, similar al anterior, pero con productividades más altas, resultantes de tecnologías ya disponibles y conocidas en la región. El contenido de etanol fue la variable libre (resultante) en el primer escenario, mientras que para los dos siguientes se adoptó 10%, y para el último escenario 25%. Estos escenarios se diseñaron exactamente para, en un primer análisis, señalar posibilidades y reconocer límites, determinando cómo la producción de etanol impacta a los países con diferente intensidad frente a la demanda de gasolina, dependiendo de las dimensiones de su producción agroindustrial cañera.

Cuadro 1

ESCENARIOS CONSIDERADOS EN LOS ESTUDIOS INICIALES DE PERSPECTIVAS PARA EL ETANOL

Escenario	Productividad agrícola (ton caña/ha)	Productividad industrial (litro/ton caña)	Etanol en el gasohol (%)	Variable libre (resultado)
Conservador clásico	75	6	libre	% etanol
Conservador mejorado	75	12	10	área
Innovador clásico	75	70	10	área
Innovador optimizado	90	85	25	área

El nuevo escenario considera una mezcla de 10% de etanol en la gasolina, y el uso como materia prima de 75% de la melaza actualmente disponible (miel agotada), a ser complementada con jugo directo de caña, en la medida necesaria para atender la demanda determinada por el mercado nacional de gasolina. Este escenario complementario, denominado *escenario combinado*, es de hecho una combinación parcial de los escenarios *conservador clásico e innovador clásico* anteriores, sin afectar la producción de azúcar, que en este caso se mantiene, inclusive preservando los usuales procedimientos de agotar la miel en la sección de cocimiento del azúcar en los ingenios. De la misma manera, al adoptar una utilización parcial (75%) de la miel producida, se toma en cuenta la existencia de otros usuarios de este producto, que se verían afectados bajo las condiciones consideradas en los escenarios inicialmente estudiados. Uno de los principales resultados que se busca al explorar el escenario combinado es la superficie adicional a ser sembrada de caña, a fin de producir etanol suficiente para introducir gasohol con 10% de mezcla de este biocombustible.

Para este escenario se consideraron las productividades agrícolas corrientes en la agroindustria cañera centroamericana, con valores distintos para cada país (típicamente alrededor de 75 toneladas de caña por hectárea), a excepción de la destacada situación de Guatemala, donde se producen más de 90 toneladas en la misma área. Ponderada por la producción de cada país, la productividad centroamericana es de 81 toneladas por hectárea. Para la fase industrial, para todos los países se asumieron valores similares para la calidad de la caña y los procesos de fabricación, adoptándose una productividad de 6 litros de etanol anhidro por tonelada de caña procesada para azúcar (etanol de melaza) y 75 litros de etanol, cuando la caña se destina directamente a fabricar el biocombustible (etanol de jugo). Evidentemente que estos valores pueden variar entre países y entre ingenios, pero es posible considerarlos bastante representativos. Los datos empleados para evaluar este escenario se muestran en el cuadro 2, con base en datos contenidos en el informe inicial, con valores para la agroindustria en las zafas recientes, a partir del año 2001, y datos de demanda e importación de gasolina relativos a 2002.

Cuadro 2

DATOS DE BASE PARA LOS ESTUDIOS DE PERSPECTIVAS PARA EL ETANOL

Datos básicos	Área plantada (miles de ha)	Productividad agrícola (ton caña/ha)	Caña procesada (miles de ton)	Demanda de gasolina (miles de m ³)
Costa Rica	48.0	72.3	3 472.0	845
El Salvador	59.4	75.2	4 466.4	526
Guatemala	185.0	91.4	16 900.0	1 138
Honduras	43.7	79.6	3 480.3	117
Nicaragua	41.2	75.5	3 112.2	235
Panamá	25.4	56.8	1 440.6	536
Total/Media	406.4	81.6	32 871.5	3 397

Los cálculos efectuados para cada país fueron, básicamente: determinación del volumen de etanol requerido para una mezcla a 10% en la gasolina, y del volumen de etanol disponible a partir de la melaza, considerando una fracción de 75% de los potenciales 6 litros de etanol por tonelada de caña procesada para azúcar. A partir de la diferencia entre los valores anteriores, es posible calcular la demanda de caña eventualmente requerida para complementar el volumen de etanol necesario, considerando que cada tonelada de caña produce 75 litros de etanol. De acuerdo con la productividad agrícola en cada caso, la superficie adicional necesaria a ser sembrada se determina directamente.

2. Resultados y conclusiones

En principio conviene observar que los mayores impactos económicos asociados al uso de gasohol con 10% de etanol, como ahorro potencial de divisas y reducción de importaciones de gasolina, ya fueron presentados en el informe inicial, en particular en el análisis de los escenarios conservador mejorado e innovador clásico, y en el análisis de los aspectos económicos y tributarios (especialmente en el cuadro 37), que presenta indicadores preliminares del impacto potencial de la adopción del gasohol, como renuncia fiscal y precios estimados o probables para el gasohol.

A continuación se presentan los resultados para el escenario adicional. En el cuadro 3 se muestran los volúmenes de etanol requeridos y los producibles a partir de las melazas, que permiten inferir la necesidad de complementación. Obsérvese que para Honduras el etanol proveniente de 75% de la melaza disponible ya es casi 34% superior a la demanda para mezclar 10% de etanol en la gasolina, o sea, no se requiere de materia prima adicional. Por otro lado, en Costa Rica y Panamá la contribución de las melazas es bastante limitada frente a la demanda potencial de etanol (menos de 20% de los requerimientos), en coherencia con los resultados ya estudiados para el escenario conservador clásico. Desde este punto de vista, el gráfico 1 muestra la diversificada situación entre los países centroamericanos.

Cuadro 3

RESULTADOS PARA EL ESCENARIO COMBINADO: DEMANDA Y OFERTA DE ETANOL

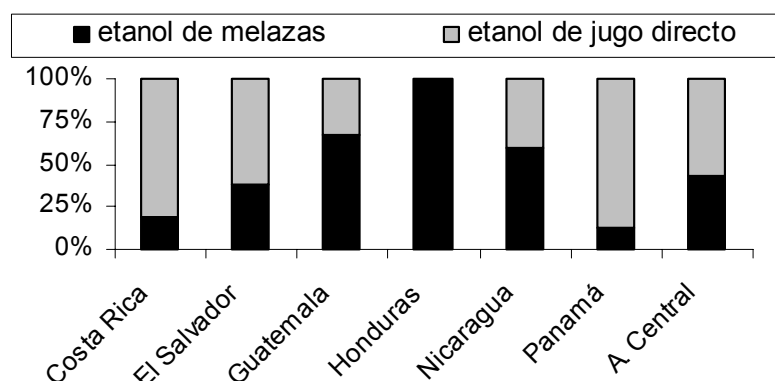
País	Demanda de etanol (miles de m ³)	Disponibilidad de etanol de melazas (miles de m ³)	Requerimiento de etanol de jugo directo (miles de m ³)	Fracción de la demanda atendida por etanol de melazas (%)
Costa Rica	84.5	15.6	68.9	18.5
El Salvador	52.6	20.1	32.5	38.2
Guatemala	113.8	76.1	37.8	66.8
Honduras	11.7	15.7	0.0	133.9
Nicaragua	23.5	14.0	9.5	59.6
Panamá	53.6	6.5	47.1	12.1
Total	339.7	147.9	191.8	43.5

El cuadro 4 muestra las repercusiones del escenario combinado sobre la necesidad de caña adicional a ser producida, así como el área correspondiente para ser sembrada, en valores totales y comparativos a la superficie plantada en 2002. En promedio, para toda

Centroamérica, en las condiciones del escenario combinado, con un incremento inferior a 8% en el área plantada en caña, sería posible producir etanol suficiente para mezclar 10% de biocombustible en la gasolina.

Gráfico 1

COMPOSICIÓN DE LA DEMANDA DE MATERIA PRIMA EN EL ESCENARIO COMBINADO



Cuadro 4

RESULTADOS PARA EL ESCENARIO COMBINADO:
REQUERIMIENTOS DE CAÑA ADICIONAL

País	Caña adicional requerida (miles de ton)	Área plantada adicional en caña (miles de ha)	Incremento de área en caña (%)
Costa Rica	918.3	12.7	26.5
El Salvador	433.3	5.8	9.7
Guatemala	503.3	5.5	3.0
Honduras	0.0	0.0	0.0
Nicaragua	126.6	1.7	4.1
Panamá	628.2	11.1	43.5
Total	2 557.0	31.3	7.7

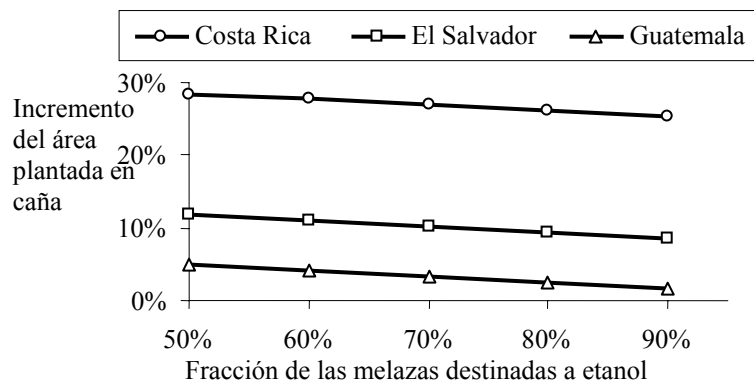
Los resultados del escenario combinado reflejan, como se ha afirmado, las dimensiones relativas de la agroindustria cañera y la demanda de gasolina. A partir de estos valores es posible clasificar a los países centroamericanos en dos amplias categorías: 1) países con baja necesidad de aporte adicional de materia prima para la producción de etanol (Honduras, Guatemala y Nicaragua), y 2) países con clara necesidad de agregar etanol de caña directa para alcanzar la meta de añadir 10% de etanol en la gasolina (Costa Rica y Panamá). La situación de El Salvador es un poco más compleja, pues aun cuando aumentar su producción de caña en 10%, como se indica en el cuadro 4, aparentemente no es grave, es preciso notar que en este país la superficie de los cañaverales ya corresponde a una fracción elevada de la superficie agrícola (alrededor de 4%), y el porcentual de la área total del país dedicada a actividades agrícolas también es la más alta de toda Centroamérica² (más de 75%). Además de estos factores, otro limitante a tener en cuenta para que los ingenios salvadoreños amplíen su producción, es la marcada dependencia de caña suministrada por terceros (sólo el

² CEPAL, *Anuario estadístico de América Latina y el Caribe 2002*, Santiago, 2003

3% de la demanda de caña es producida directamente por los ingenios), como se plantea en el informe inicial, que impone gestiones adicionales y un adecuado compromiso por parte de los productores de caña con nuevos objetivos de producción.

Las consideraciones anteriores son oportunas al diseñar programas de etanol carburante o gasohol en la región, en la medida en que para algunos países es posible establecer metas o niveles de introducción más elevados o más anticipados que para otros, justamente en función de las disponibilidades ya existentes y de las necesidades detectadas. Asimismo, es interesante observar que el valor arbitrado en el escenario combinado para la fracción de miel disponible para etanol (75%) no influye de manera sensible en las conclusiones, conforme se presenta en el gráfico 2, para algunos países.

Gráfico 2
EFECTO DE LAS MELAZAS CONVERTIDAS EN ETANOL



Un aspecto interesante de la utilización combinada de miel agotada y jugo directo de caña es el relativo a la dilución de contaminantes presentes en la melaza y resultantes del proceso de clarificación del jugo por calaje para fabricación de azúcar. Por supuesto que este tema debe ser mejor evaluado pero, en principio, al añadir jugo directo al mosto, tratado apenas térmicamente para reducir la contaminación en la fermentación, tienden a disminuir los problemas de incrustación y formación de depósitos en los *reboilers* de las columnas de destilación observados en algunos ingenios de la región, como se comenta en el informe inicial para el Ingenio La Cabaña.

II. EVALUACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS DE INFRAESTRUCTURA Y LOGÍSTICA

De una manera general, las condiciones de transporte y almacenamiento del etanol y del gasohol no son esencialmente diferentes a los combustibles derivados de petróleo; sin embargo, existen por lo menos tres factores particulares importantes a tomarse en cuenta: estacionalidad de la producción de etanol, dispersión espacial de la producción y compatibilidad de los materiales de los tanques y cañerías con el etanol y el gasohol. A continuación se desarrollan los dos primeros temas, presentando algo de la experiencia brasileña y buscando considerar las perspectivas de los países centroamericanos. Los aspectos de compatibilidad de materiales con gasohol serán tratados en otro capítulo de este informe.

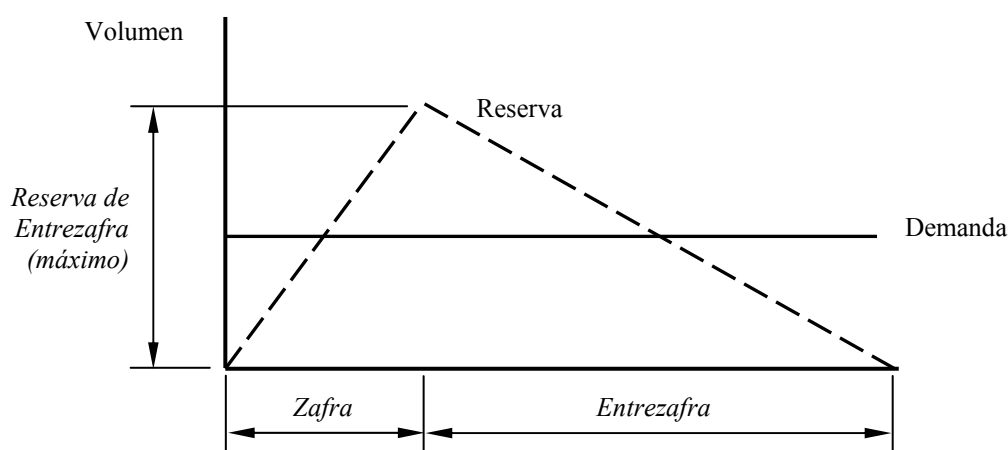
1. Estacionalidad de la producción y requerimientos de infraestructura

Ante la imposibilidad de almacenar la caña de azúcar por muchos días, sólo en los meses de cosecha hay efectiva producción de etanol, que a su vez es consumido durante todo el año. En tal contexto, es evidente la importancia de la duración de la zafra cañera, lo que hace deseables zafras más largas, que permiten una mejor utilización de la capacidad de producción de los ingenios y una menor necesidad de almacenamiento para el período de entre zafra.

El gráfico 3 muestra un esquema sencillo de las relaciones entre capacidad de producción, reservas y demanda de etanol, e indica cómo ocurre la formación y consumo de las reservas de entre zafra. En esta figura, la capacidad de producción adicional al consumo para atender la demanda de entre zafra corresponde a la inclinación de curva de reserva durante la zafra, dejando claro en forma gráfica el mencionado impacto de la extensión de la zafra. De hecho, al pasar de una situación con zafra de 100 días a una de 200 días, los requerimientos para almacenamiento entre zafra (volumen de etanol a ser consumido cuando los ingenios no están produciendo) disminuyen en casi 38%, al pasar de 73% a 45% de la demanda anual. En cuanto a la capacidad de los ingenios, tal expansión de la zafra permite una reducción aún más expresiva (50%), con impactos positivos en términos de utilización del capital inmovilizado. El cuadro 5 permite evaluar para zafras de 100 y 200 días cuál podría ser la capacidad de producción y almacenamiento mínimos para los países estudiados, considerando la introducción del gasohol con 10% de etanol.

Gráfico 3

MODELO DE PRODUCCIÓN, RESERVAS Y DEMANDA DE ETANOL



Cuadro 5

CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN Y REQUERIMIENTOS MÍNIMOS DE ALMACENAMIENTO EN FUNCIÓN DE LA DURACIÓN DE LA ZAFRA

País	Demanda anual de etanol (miles de m ³)	Capacidad de producción de etanol		Almacenamiento para entre zafra	
		100 días (m ³ /día)	200 días (m ³ /día)	100 días (miles de m ³)	200 días (miles de m ³)
Costa Rica	84.5	845	423	61.3	38.2
El Salvador	52.6	526	263	38.2	23.8
Guatemala	113.8	1.138	569	82.6	51.4
Honduras	11.7	117	59	8.5	5.3
Nicaragua	23.5	235	118	17.1	10.6
Panamá	53.6	536	268	38.9	24.2
Total	339.7	3 397	1 699	246.6	153.6

Por supuesto que los cálculos anteriores conducen a resultados teóricos, con volúmenes apenas suficientes para atender una demanda estable, sin reservas sobrantes al final de la entre zafra, y sin incluir variaciones de demanda o de producción a lo largo de los meses. Tampoco se considera el efecto de los distintos factores de incertidumbre, asociados por ejemplo al comportamiento del mercado y del clima. En la realidad, se deben mantener por precaución márgenes de seguridad que, sumados a las reservas operacionales, garantizan con suficiente probabilidad el suministro frente a contingencias. Otros grados de libertad en el abastecimiento de la demanda de etanol tiene que ver con las crecientes posibilidades del mercado exterior (importación y/o exportación), y con la variación de la especificación del gasohol, de acuerdo con la disponibilidad del biocombustible. Como un ejemplo, en Brasil en los últimos años ha sido frecuente ajustar el contenido de etanol en el gasohol en un rango de 20% a 25%, exactamente en función de las disponibilidades de etanol. En el informe inicial (Gráfico 5 - Evolución del contenido de etanol en gasohol) se constata cómo se ha manejado esta flexibilidad desde 1975.

Los volúmenes de etanol almacenados para atender las demandas de entre zafra o para garantizar el suministro en situaciones de contingencia pueden estar bajo la responsabilidad de distintos agentes económicos: ingenios, empresas de almacenamiento, distribuidoras de combustibles. Su mantenimiento acarrea costos y riesgos; sin embargo, permite también aprovechar cambios de precio favorables, y eventualmente mejorar las condiciones de negociación en el comercio alcohólico.

Durante los primeros años del programa brasileño de etanol se atribuía a la empresa estatal Petrobrás la responsabilidad de mantener la reserva de entre zafra, y después cargar los costos correspondientes al Estado, pero en la actualidad ya no existe esa obligación, y el Estado dejó de intervenir directamente en la formación de reservas reguladoras, aun cuando continúan abiertas líneas públicas de financiamiento para su constitución. Hoy en Brasil, y normalmente en los demás países que emplean este combustible, las reservas de etanol se dividen entre productores y distribuidores de combustibles, de acuerdo con sus intereses y disponibilidades. De la actual capacidad de reserva operacional de etanol (inclusive hidratado) en las distintas regiones brasileñas, con aproximadamente 1 250 000 m³, la mitad corresponde

a las distribuidoras de combustible, y alrededor de 40% es para etanol anhidro. El volumen de etanol anhidro posible de almacenar en las distribuidoras corresponde a apenas alrededor de 13 días de consumo o cerca de 32% de la capacidad de almacenamiento de gasolina,³ lo que significa que una parte importante de las reservas de entre zafra permanece en otros entes del mercado de combustibles.

2. Dispersión de la producción alcoholera: cuestiones de infraestructura

Como consecuencia de ser producido de modo relativamente disperso, con marcada estacionalidad, en ingenios situados en la zona rural y tener que ser utilizado en mezcla con gasolina, el etanol impone una infraestructura logística más compleja que los derivados de petróleo. La movilización de cantidades importantes de este combustible, garantizando su calidad y sin afectar las instalaciones que sirven también a otros productos, implica un adecuado planeamiento y un correcto diseño de los sistemas y procesos, a fin de que haya funcionalidad con costos tolerables.

El caso brasileño, donde se movilizan mensualmente más de 1 000 000 m³ de etanol, ilustra bien este aspecto. En Brasil existen 13 refinerías procesando crudo para producir diariamente 1.8 millones de barriles de derivados de petróleo, y más de 300 ingenios, que producen sólo durante parte del año. Así, con la evolución del empleo de etanol en la matriz energética brasileña, se consolidó un sistema bastante diversificado en modos de transporte y tancaje intermedio.⁴ En este sistema se destacan nueve terminales de acopio en las principales regiones productoras (Estados de São Paulo, Goiás, Paraná y Sergipe), con una capacidad total de almacenamiento de 90 000 m³, que reciben por vía férrea el etanol de los ingenios y lo despachan a través de medios de transporte más económicos. Según sea el caso, puede ser ferroviario, fluvial o por ductos, hacia las terminales primarias de las distribuidoras de combustible, donde es mezclado con gasolina. El gasohol producido es distribuido hacia las terminales secundarias o directamente a las estaciones de servicio, empleando nuevamente diferentes medios de transporte, según sea más conveniente o disponible, como muestra el gráfico 4.

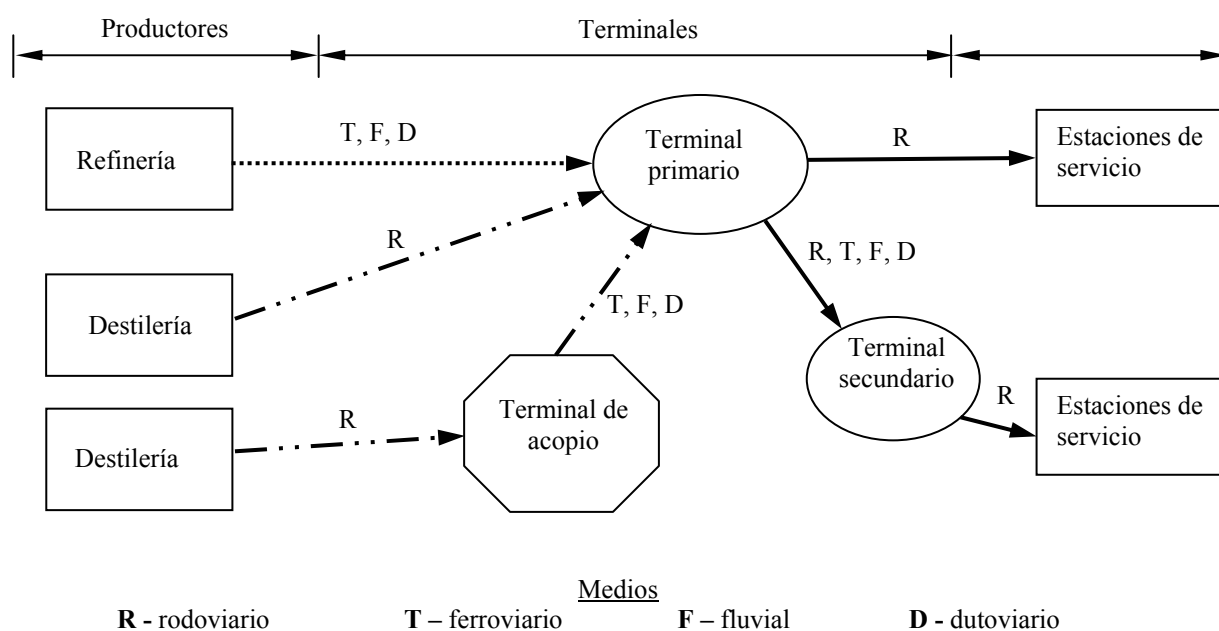
Frente a tal diversidad de opciones, el 70% del volumen de etanol comercializado en Brasil (incluido el etanol hidratado) es trasladado desde la destilería hasta las terminales primarias, y de ahí hacia las estaciones de servicio, utilizando solamente camiones cisterna, con capacidades de hasta 30 000 litros. Obsérvese que no todo el etanol anhidro se comercializa empleando las terminales de acopio, ya que una parte de la producción sigue por otra rutas, sobre todo en la regiones más lejanas o en mercados de menor volumen, pero siempre necesariamente pasando por las terminales primarias para la preparación de la mezcla con gasolina, que es una exclusividad legal de las distribuidoras de combustible.

³ Comissão de Infra-estrutura de Abastecimento de Derivados Básicos de Petróleo, *Perspectivas de Suprimento de Gasolina e Óleo Diesel no Brasil (relatório síntese 2002-2007)*, Agência Nacional do Petróleo, Rio de Janeiro, 2003

⁴ Cunha F., *A Logística atual de transporte das distribuidoras e a infraestrutura para a exportação de álcool*, Petrobras Distribuidora (apresentación en Power Point), agosto de 2003.

Gráfico 4

LOGÍSTICA DEL ETANOL Y GASOHOL EN BRASIL



La opción brasileña de permitir la preparación del gasohol sólo por las distribuidoras se determinó esencialmente por cuestiones tributarias (simplificación monofásica de la recaudación), ya que en principio la mezcla de etanol y gasolina puede ser efectuada en las destilerías, en las refinerías o incluso en la estación de servicio, al momento de abastecer el vehículo. Sin embargo, efectivamente existen otras justificaciones importantes, como la descentralización de la producción de etanol y su proximidad a las terminales de distribución, o la necesidad de tener una clara e inequívoca atribución de responsabilidades en cuanto a la especificación de calidad del combustible. En este sentido, y bajo este modelo de operación, queda bien claro que las refinerías producen la gasolina, las destilerías producen el etanol anhidro y la empresas de distribución de combustibles preparan la mezcla de estas dos corrientes. Este último agente económico, las distribuidoras, está encargado de evaluar tanto sus materias primas (gasolina y etanol) como su producto (gasohol). Otros modelos operacionales pueden ser establecidos, pero es fundamental que la cadena de responsabilidades sobre la calidad del producto esté bien definida y, siempre que sea posible, se implemente un adecuado programa de monitoreo por parte del gobierno.

En términos prácticos, la preparación de la mezcla en las bases se efectúa en tanques de gran capacidad, alimentándose continuamente de gasolina y etanol, bajo un estricto control del proceso de mezcla y calidad, o en el propio camión cisterna, cuyos movimientos durante el transporte garantizan la necesaria homogeneidad del combustible. Esta última forma de preparar el gasohol es conocida en inglés como "splash blending". Conviene observar que la medición del contenido de etanol en el gasohol puede ser efectuada con rapidez y suficiente exactitud por un método bastante sencillo y directo: absorción del etanol presente en el gasohol por mezcla con agua salada, con medición de volúmenes en bureta. Otro aspecto técnico relevante desde el punto de vista del almacenamiento y la calidad del gasohol, es su estabilidad frente a la oxidación, proceso que acarrea la eventual formación de goma cuando es sometido a plazos relativamente largos de almacenamiento. Es muy importante insistir en que el gasohol puede y debe ser adecuadamente especificado, a partir de una mezcla con una

gasolina también correctamente especificada –como se ha comentado en el informe inicial– y no deberá presentar menor estabilidad que las gasolinas comerciales.

Cuando se trata de volúmenes considerables, el transporte de etanol y gasohol por ductos puede ser el más recomendable. Algunos millones de metros cúbicos son transportados anualmente por este medio en Brasil, y una gran compañía operadora de oleoductos en los Estados Unidos, Williams Energy Services, ha despachado gasohol regularmente y sin problemas por sus líneas.⁵ No obstante, el hecho de actuar como solvente selectivo y absorber más agua que los derivados de petróleo, impone necesarios cuidados adicionales, como mantener el ducto limpio para evitar arrastres indeseables.

Después de la definición de procedimientos y del modelo operacional, conviene analizar la correcta selección de medios de transporte, áreas de influencia de terminales, volúmenes de movilización, niveles de reserva, y otras variables de decisión en logística de combustibles. Actualmente esta tarea está bastante apoyada por la tecnología de información, a través de modelos de simulación computacional y métodos de optimización, con una extensa lista de paquetes de software comercialmente disponibles, cuyo objetivo es garantizar el suministro de etanol y gasohol a tiempo y costo total mínimos. Un modelo típico para definir parámetros de almacenamiento en terminales de combustibles trabaja con un conjunto de informaciones de base (demandas diarias, tancaje, cronogramas de recepción de productos, tiempos de viaje, etc.), variables aleatorias (retiro de productos, tiempos de viaje, etc.) y permite determinar volúmenes mínimos de almacenamiento, así como simular situaciones posibles y estados de contingencia.⁶ Una logística bien diseñada y conducida adecuadamente permite economías muy importantes en la operación de la cadena de distribución.

En zonas tan diferentes como los Estados Unidos⁷ y la India,⁸ las mencionadas dificultades durante la introducción del uso masivo de gasohol, exigen una última observación sobre la infraestructura de transporte y almacenamiento de combustibles. De hecho, en estos dos países, los retrasos en los programas de uso de etanol desplazando otros oxigenados como MTBE estuvieron determinados por las limitaciones logísticas en el transporte y almacenaje del biocombustible. Así, se hace evidente que implementar tales programas en fases progresivas, con previsión y cautela, reforzando capacidades y logrando paulatinamente mayor experiencia, es realmente lo más sensato y productivo.

⁵ Whims, J., *Pipelines Considerations for Ethanol*, Sparks Companies, Inc., editado por el Agricultural Marketing Resource Center, Kansas State University, 2002

⁶ Limoeiro, C.D.P., Silva, N.M., Pereira, L.R., “Modelo de determinação dos parâmetros de estoques em bases de distribuição de combustíveis”, *Anais do XXXIII Símposio Brasileiro de Pesquisa Operacional*, Campos do Jordão, 2001

⁷ Keese W.J. (Chairman of California Energy Commission), *Transition from Methyl Tertiary-Butyl Ether to Ethanol in California*, Congress of the United States, House of Representatives, Committee on Government Reform, Subcommittee on Energy Policy, Natural Resources and Regulatory Affairs, disponible en http://www.energy.ca.gov/papers/2003-07-02_KEESE_CONGRESS.PDF.

⁸ Balaji, R., *Oil cost in a bind gasohol supply*, Business Line (The Hindu Group), Calcuta, Dec 2, 2002

III. EVALUACIÓN DE LOS IMPACTOS SOBRE LA GENERACIÓN DE EMPLEO

La creación de nuevas oportunidades de trabajo y la generación de empleo son ventajas bastante reconocidas, asociadas a la promoción del uso de etanol como combustible, y frecuentemente utilizadas como argumentos para acciones de gobierno hacia este propósito. Efectivamente, por su carácter descentralizado, y por ocupar necesariamente extensas porciones de terreno para la producción de vectores bioenergéticos, la producción y procesamiento de biocombustibles como el etanol demanda importante cantidad de mano de obra. Por supuesto que la generación de puestos de trabajo y la calidad de los empleos generados dependen directamente del padrón tecnológico en la agroindustria, pero es cierto que se necesita siempre mucha gente en los sistemas bioenergéticos. En una evaluación comparativa, se estimó que para las condiciones brasileñas la producción de etanol de caña de azúcar necesita alrededor de 20 horas-hombre por tonelada equivalente de petróleo, mientras que la industria petrolera convencional requiere 100 veces menos trabajadores, cerca de 0.2 horas-hombre para producir la misma cantidad de energía.⁹

El caso brasileño también ilustra bien la relevancia y la dinámica de la generación de empleo en el ámbito del programa de alcohol carburante en este país. Un estudio de 1991 reconocía 800 000 empleos directos y 250 000 empleos indirectos, asociados a la producción de etanol en todo el país.¹⁰ Cerca de 30% de este total correspondía a trabajadores con capacitación específica (agricultura e industria); 10% presentaban algún entrenamiento (conductores de tractores, por ejemplo), y 60% eran de baja calificación (cortadores de caña, entre otros). En los 357 municipios con destilerías de etanol, éstas proporcionaban entre 15% y 28% del total de empleos. Diferencias regionales en cuanto a mecanización/automatización y productividad explican porqué se demandaban tres veces más trabajadores por ingenio en el Noreste, con relación al Sureste brasileño. En São Paulo, el ingreso medio de una familia de cortadores de caña, con dos trabajadores, era superior a 50% de las familias brasileñas. La inversión para la generación de empleos en la producción de etanol, excluyendo el costo de la tierra, fue valuada entre 11 000 (Noreste) y 23 000 dólares (Sao Paulo) por empleo. En promedio, para los 35 más grandes sectores de la economía brasileña, generar un empleo implicaba en 1991 una inversión de 41 000 dólares. Sin embargo, a lo largo de una década la demanda de mano de obra se modificó. Un estudio más reciente,¹¹ de 2001, evalúa en cerca de 610 000 los empleos directos y en 930 000 los indirectos o inducidos. Tal reducción de empleos directos se debe principalmente a la contratación de terceros, el aumento de la productividad, la mecanización y la automatización. En esta evaluación, los ingenios del Noreste permanecen con una demanda de mano de obra por unidad de producto cerca de cuatro veces más elevada que en São Paulo. Cabe observar también que, mientras en los ingenios paulistas los trabajadores con tres años o menos de escolaridad constituyen cerca de 45% de la fuerza laboral, en el Noreste estos trabajadores corresponden a 75% del total de empleados. Una importante observación sobre la experiencia brasileña es que se consideran

⁹ Horta Nogueira, L.A., Silva Lora, E.E., *Dendroenergia: fundamentos e aplicações*, Editora Interciência, Rio de Janeiro, 2a.edición, 2003

¹⁰ Borges, J. M. M., "The effect of labor and social issues of electricity sales in the Brazilian sugar cane industry", *International Conference on Energy from Sugar Cane*, Hawaii, 1991.

¹¹ Guilhoto, J. J. M., "Geração de empregos nos setores produtores de cana de açúcar, açúcar e álcool no Brasil e suas macro-regiões", *Cenários para o setor de Açúcar e Alcool*, MB Associados e FIPE, 2001

irreversibles, tanto la tendencia de reducción de empleos por apropiación de nuevas tecnologías y el incremento de productividad, como la mejora de calidad de los futuros empleos.¹²

Para Centroamérica, se espera que la introducción de los biocombustibles represente un relevante factor de incremento del nivel de empleo. Sin incluir los empleos generados en la construcción de las unidades productoras, entidades cañeras estiman preliminarmente que en toda la región puedan ser generados alrededor de 14 000 empleos directos en la industria y en la agricultura, para atender una demanda de alcohol anhidro correspondiente al 10% del consumo de gasolina.¹³ En un estudio más detallado de las condiciones guatemaltecas, incluido en el informe inicial y presentado en la minuta de ley que establece el desarrollo de un programa de oxigenación de los combustibles para Guatemala, se estima que el programa “generará nuevos empleos directos e indirectos, tanto en el cultivo de caña de azúcar como en el proceso agroindustrial de producción de alcohol carburante y de las demás actividades relacionadas y conexas, como la comercialización, el transporte, la construcción y otros. En este sentido, se prevé que para los primeros dos años del programa de oxigenación, con una mezcla del 10% de alcohol carburante, se generen aproximadamente 9 920 empleos directos y 39 684 empleos indirectos. Para los siguientes tres años, con una mezcla del 15% de alcohol carburante, se estima una adición de 6 612 empleos directos y 26 456 empleos indirectos”. Son números que impresionan y que realmente pueden representar un estímulo importante en la promoción de la adopción de gasohol en este contexto.

Como este tema fue analizado sucintamente en el estudio inicial sobre biocombustibles para Centroamérica, se consideró oportuno profundizarlo en este informe complementario. Así, en este capítulo se discute la relación entre generación de empleo y la producción de etanol para fines carburantes, considerándose inicialmente las actividades agrícolas, y después las demás actividades.

1. Empleos en las actividades agrícolas

Las diversas actividades agrícolas que ocupan trabajadores en la preparación del terreno, así como en el plantío, cultivo, tratos culturales, corte y cosecha de caña de azúcar, dependen mucho de las condiciones particulares de cada región, las variedades de caña adoptadas, y los procedimientos agronómicos, entre otros factores.

Sólo como referencia, el cuadro 6 presenta las distintas actividades desarrolladas en la producción de caña en un ingenio del Sureste brasileño, empleando mecanización, a mediados de los años ochenta.¹⁴ Los valores presentados dan una idea del esfuerzo involucrado, así como de la intensidad de uso de tractores y sus equipos, y permiten imaginar la demanda de mano de obra, únicamente en las actividades agrícolas, excluyendo el corte, la cosecha y el transporte de caña e insumos. En este mismo estudio se estimó un requerimiento de 462 horas-hombre por tonelada de caña en las actividades agrícolas y de cosecha para la caña-

¹² Macedo, I.C., “Energia da Cana de Açúcar no Brasil”, *Sustentabilidade na Geração e Uso de Energia no Brasil: os próximos vinte anos*, UNICAMP/ABC, Campinas, 2002

¹³ Poncian, Rolando; *Programa de Oxigenación de Combustibles con Alcohol Carburante*, Asociación de Combustibles Renovables de Centroamérica, Guatemala, 2003

¹⁴ Horta Nogueira, L.A., *Análise do Consumo de Energia na Produção de Álcool de Cana de Açúcar*, Tese de Doutorado, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1987

planta (antes de la primera cosecha), y de 220 horas-hombre por tonelada de caña para la caña-soca (luego de la primera cosecha).

Cuadro 6

ACTIVIDADES AGRÍCOLAS TÍPICAS EN LA PRODUCCIÓN
DE CAÑA DE AZÚCAR EN BRASIL¹⁴

Actividad	Productividad (ha/h)	Fracción de la tierra trabajada
Caña - planta (antes de la primera cosecha)		
Aplicación de calcáreo	0.68	1.0
Aración, sobsolaje y aración 2	1.24 + 0.88 + 1.28	1.0 + 0.7 + 1.0
Aración de terminación	1.21	1.0
Surcación y abono	0.75	1.0
Plantación	0.51 + 1.76	1.0
Cultivo químico y mecánico	1.98 + 1.01	1.0 + 0.2
Abono	2.25	1.0
Caña - soca (luego del primero corte)		
Enleiramiento de la paja	0.96	1.0
Sobsolaje y abono	1.35	1.0
Cultivo químico y mecánico	1.98 + 1.08	0.8 + 0.2

Según otro estudio –también en Brasil y en el mismo período–, para atender la demanda de materia prima de una destilería con capacidad de 120 000 litros diarios, se estimaba una necesidad de 455 trabajadores directos por año en la región Sureste y 1 775 trabajadores directos por año en el Noreste,¹⁵ datos que resumen los paradigmas tecnológicos de la agroindustria cañera brasileña. A fin de contar con una primera evaluación para Centroamérica, se tomaron estas cifras como punto de partida para establecer dos escenarios tecnológicos para analizar la generación de empleos asociada a un programa de gasohol, previendo una mezcla con 10% de biocombustible. El primer escenario, con alta generación de empleos, reproduce el contexto del Noreste, con reducida mecanización, baja productividad y una zafra de 100 días, mientras que el segundo escenario, de baja generación de empleos, asume valores del Sureste de Brasil, donde la adopción de sistemas mecanizados en las tareas agrícolas, uso de tecnología y métodos avanzados de gestión agronómica han reducido la demanda de mano de obra, incrementando la productividad y la duración de la zafra, que en este caso se considera de 160 días.

Los resultados presentados en el cuadro 7, referentes a los dos paradigmas tecnológicos de alta y baja generación de oportunidades directas de trabajo en la agroindustria, son coherentes con la dinámica observada en Brasil, de una paulatina reducción del número de empleos agrícolas, en la medida en que se incorporan nuevas tecnologías en la producción de caña.

¹⁵ Datos tomados del sitio http://www.mct.gov.br/clima/comunic_old/alcohol.htm, en el tópico Aspectos Sociais.

Cuadro 7

GENERACIÓN DE EMPLEOS AGRÍCOLAS EN UN PROGRAMA DE GASOHOL
EN CENTROAMÉRICA

País	Demanda de etanol (miles de m ³)	Demanda de mano de obra	
		alta	baja
		(trabajadores)	
Costa Rica	84.5	12 499	2 002
El Salvador	52.6	7 780	1 247
Guatemala	113.8	16 833	2 697
Honduras	11.7	1 731	277
Nicaragua	23.5	3 476	557
Panamá	53.6	7 928	1 270
América Central	339.7	50 247	8 050

La reducción del mercado de trabajo por incorporación de tecnologías se desarrolla en forma simultánea con una expansión de los requisitos de capacitación de los trabajadores que permanecen empleados, tanto para operar máquinas y equipos como para utilizar los modernos sistemas de instrumentación y control, cada vez más frecuentes. Se reducen los empleos por unidad de producto, se elevan los sueldos por trabajador y, en este sentido, se trata de un proceso excluyente de los menos preparados, que conviene reconocer de modo claro, y ponderar sus ventajas y límites. Por ejemplo, los sistemas de cosecha mecanizada incrementan en mucho la productividad y pueden reducir costos, pero una cosechadora moderna, con un solo operador, sustituye alrededor de 40 cortadores de caña. En términos económicos, a mediados de la década pasada, para las condiciones brasileñas, se estimaba que la mecanización de la cosecha de caña duplicaría los costos de generación de los empleos rurales en la agroindustria, que pasarían de 20 000 a 40 000 dólares por empleo.¹⁶

Un aspecto relevante en la discusión de los empleos asociados a la fase agrícola de la agroindustria cañera es la inevitable estacionalidad de las actividades y, por tanto, de las oportunidades de trabajo. La cosecha cañera es necesariamente realizada en zafras, preferentemente durante las estaciones más secas del año, y es la actividad que más demanda mano de obra. Una medida de la asimetría en la generación de empleo a lo largo del año es el coeficiente de estacionalidad,¹⁷ calculado entre el volumen demandado de mano de obra durante la zafra y el volumen de mano de obra para todo el año, siendo deseable que corresponda a un valor lo más próximo posible a la unidad, desde el punto de vista de la estabilidad del empleo y la reducción de la desocupación. Para las condiciones brasileñas, debido a la reducción de los puestos de trabajo, la introducción de culturas alternativas (en el período de reforma de los cañaverales) y la progresiva extensión de la zafra, este coeficiente, cercano a 2.2 en 1980, pasó a 1.8 en 1990 y llegó a 1.3 en 1995, en algunos ingenios. Conviene observar que otros importantes productos agrícolas también presentan elevados coeficientes de estacionalidad, como el arroz, con 7; el frijol, entre 3 y 4.5; la naranja, con 7.8; la soya, entre 3.5 y 12, y el algodón, con 40, constituyendo cultivos ciertamente más adversos

¹⁶ Datos tomados del sitio http://www.mct.gov.br/clima/comunic_old/alcohol.htm, en el tópico Conclusões

¹⁷ Borges, J. M. M., *op.cit.*

socialmente que la caña, en términos de estabilidad en los empleos, según datos de la Secretaría de Planeamiento de São Paulo.¹⁸

2. Empleos en las actividades industriales, empleos indirectos y empleos totales

Para los empleos directos en la industria, con base en la misma referencia adoptada para los empleos en la etapa de producción de caña, se estima un requerimiento promedio de 150 trabajadores-año,¹⁹ para las destilerías brasileñas con capacidad de 120 000 litros diarios. Como una simplificación aceptable por su menor importancia frente al trabajo agrícola, se adoptó un único escenario de duración de zafra, de 130 días, valor medio para los dos escenarios de baja y alta demanda de mano de obra considerados anteriormente.

Para los empleos indirectos o inducidos, el cálculo es más difícil y seguramente depende mucho de las condiciones de cada país, así como de la tipología de los propios empleos y diversos otros factores. Obsérvese que en las actividades de transporte y comercialización de combustibles, los empleos adicionales generados son casi nulos, ya que las nuevas actividades asociadas al etanol corresponden en buena medida a la disminución de actividades similares, debido a la reducción del consumo de gasolina, parcialmente sustituida. En la Exposición de Motivos de la minuta del Proyecto de Ley guatemalteco para un programa de oxigenación de los combustibles –antes referido–, se considera que para cada empleo directo son generados otros cuatro, pero de manera conservadora, para el presente estudio se consideraron tres empleos indirectos por empleo directo en la agroindustria. Bajo estas premisas se determinarán los valores de los cuadros 8 y 9, que presentan el balance de empleos directos, agrícolas e industriales, y de empleos indirectos, para los escenarios de alta y baja demanda de mano de obra, respectivamente.

Cuadro 8

EMPLEOS GENERADOS EN UN PROGRAMA DE GASOHOL EN CENTROAMÉRICA, ESCENARIO DE ALTA DEMANDA DE MANO DE OBRA

País	Mano de obra directa			Mano de obra indirecta	Total general
	Agrícola	Industrial	Total		
Costa Rica	12 499	813	13 311	39 934	53 246
El Salvador	7 780	506	8 286	24 859	33 145
Guatemala	16 833	1 094	17 927	53 781	71 709
Honduras	1 731	113	1 843	5 529	7 373
Nicaragua	3 476	226	3 702	11 106	14 808
Panamá	7 928	515	8 444	25 331	33 775
A. Central	50 247	3 266	53 514	160 541	214 055

¹⁸ Cerqueira Leite, R., *Pró-Álcool, a única alternativa para o futuro*, Editora da Unicamp, Campinas, 3ª edição, 1990.

¹⁹ Del sitio http://www.mct.gov.br/clima/comunic_old, en el tópico Aspectos Sociais.

Cuadro 9

EMPLEOS GENERADOS EN UN PROGRAMA DE GASOHOL EN CENTROAMÉRICA,
ESCENARIO DE BAJA DEMANDA DE MANO DE OBRA

País	Mano de obra directa			Mano de obra indirecta	Total general
	Agrícola	Industrial	Total		
Costa Rica	2 002	813	2 815	8 445	11 260
El Salvador	1 247	506	1 752	5 257	7 009
Guatemala	2 697	1 094	3 791	11 373	15 164
Honduras	277	113	390	1 169	1 559
Nicaragua	557	226	783	2 349	3 131
Panamá	1 270	515	1 786	5 357	7 142
América Central	8 050	3 266	11 317	33 950	45 266

La estacionalidad ya comentada para los empleos agrícolas también existe para los demás empleos, aunque con menor intensidad. Con base en los datos de la realidad centroamericana presentados en el informe inicial, para el ingenio salvadoreño La Cabaña, durante la zafra azucarera se requieren 78 trabajadores industriales, que se reducen a 23 en el período fuera de zafra, cuando deben dedicarse sólo a actividades de mantenimiento. Como en este ingenio la zafra fue de 125 días, se determina el coeficiente de estacionalidad en 1.56, es decir que en la zafra este ingenio demanda 56% más trabajadores que el promedio anual.

3. Discusión de los resultados

Al comparar las estimaciones hechas anteriormente por entidades cañeras: para Guatemala (9 920 empleos directos) y Centroamérica (14 000 empleos directos), con las cifras que aparecen en los cuadros 8 y 9: entre 17 927 y 3 791 empleos y entre 53 514 y 11 317 empleos, respectivamente, se concluye que el padrón tecnológico considerado por tales entidades fue intermedio a las situaciones supuestas como de alta y baja demanda de mano de obra, pero más cercano a las condiciones de baja generación de puestos de trabajo, en particular la proyección presentada por la Asociación de Combustibles Renovables de Centroamérica para toda la región. Esto parece correcto, considerando las perspectivas de adopción de nuevas tecnologías para incremento de productividad y reducción de costos en la agroindustria de la región, como es posible inferir por sus indicadores, presentados y discutidos en el informe inicial, particularmente en el capítulo III.

Otra forma de comentar los resultados presentados en los cuadros 8 y 9 es comparando sus valores de base con los indicadores brasileños de la actualidad. De acuerdo con las hipótesis adoptadas en el presente estudio, el escenario de alta demanda de mano de obra corresponde a aproximadamente 157 empleos directos por millón de litros de etanol por año, y para el escenario de baja demanda de mano de obra, 33 empleos directos por millón de litros de etanol por año. Considerando que se estima que actualmente en la agroindustria alcohólica de Brasil hay 610 000 empleos directos, con una producción de alrededor de 12 000 000 m³ de etanol por año, resultan 51 empleos directos por millón de litros de etanol al año. Así, similar al cotejo con las estimaciones de las entidades cañeras, la actual situación brasileña se sitúa entre los dos escenarios propuestos y también más cerca del escenario de baja demanda de mano de obra. Este cuadro permite inferir que probablemente la heterogénea situación real en Brasil es (y tal vez también en Centroamérica) una combinación de los escenarios

propuestos, un poco desplazada hacia la reducción de empleos. Asimismo, los empleos que efectivamente podrán ser generados en un programa de gasohol en Centroamérica dependerán clara y fuertemente de cómo se incorporen las tecnologías en la agroindustria cañera. La amplia gama de variación observada entre los dos escenarios estudiados confirma esta visión.

Para evaluar la importancia relativa de los empleos asociados a la adopción del gasohol en Centroamérica, en el cuadro 10 se presenta, para los distintos países y para los dos escenarios estudiados, la importancia de los empleos directos frente a la población económicamente activa (PEA), a valores estimados para 2000.²⁰ Como se puede observar, considerando la PEA total, estos empleos no llegan a ser muy importantes, pero naturalmente al tomar la PEA rural muestran mayor importancia y pueden representar un efectivo factor de dinamización en el medio rural. En las condiciones brasileñas, los empleos asociados a la producción de etanol combustible actualmente corresponden a 0.67% y 3.71% de la PEA total y de la PEA rural, respectivamente.

Cuadro 10

IMPORTANCIA DE LOS EMPLEOS DE UN PROGRAMA DE GASOHOL EN CENTROAMÉRICA

País	PEA		Demanda de empleos			
	Total (miles de personas)	Rural	Alta (% PEA total)	Baja	Alta (% PEA rural)	Baja
Costa Rica	1 613	778	0.825	0.174	1.711	0.362
El Salvador	2 409	965	0.344	0.073	0.859	0.182
Guatemala	3 698	2 100	0.485	0.103	0.854	0.180
Honduras	2 410	1 151	0.076	0.016	0.160	0.034
Nicaragua	1 901	808	0.195	0.041	0.458	0.097
Panamá	1 148	442	0.735	0.156	1.912	0.404
América Central	13 180	6 244	0.406	0.086	0.857	0.181

El tema generación de empleos es fundamental en el diseño y la discusión de un programa de etanol carburante. Conviene ampliar la información disponible en este sentido, a fin de orientar conclusiones adecuadas y verificar cómo se distribuye o cómo podrá distribuirse el valor agregado del etanol carburante, incluso para justificar políticas de soporte. El administrador público casi siempre tiene poder limitado para equilibrar la compleja dinámica entre generación de empleo y reducción de costos, generalmente pauta por los intereses privados; sin embargo, sobre todo en los contextos en donde el soporte público es decisivo, interesa mucho explicitar la generación de empleo y sus condiciones.

²⁰ CEPAL, *Boletín Demográfico No. 64*, Santiago, 1999

IV. ESTUDIO DE COMPATIBILIDAD DEL GASOHOL CON MATERIALES DE MOTORES, ESTACIONES DE SERVICIO Y SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO Y TRANSPORTE DE COMBUSTIBLES

Uno de los cuestionamientos más frecuentes relacionados con la introducción del gasohol en diferentes países, no sólo en Centroamérica, es si los diversos materiales empleados en los sistemas de transporte, almacenamiento y utilización son compatibles con este “nuevo” combustible. Se han realizado muchos estudios sobre este tema; ²¹ una amplia base de información está disponible, pero respuestas absolutamente concluyentes demoran largo tiempo en investigaciones y siempre podrá existir alguna duda sobre si alguna determinada clase de materiales presentará problemas a mediano o largo plazo.

Entonces, sin pretender agotar este tema, en este capítulo se intenta presentar información actualizada sobre el efecto del uso de gasohol en dos grandes grupos de materiales que pueden estar en contacto con el combustible: materiales metálicos y materiales poliméricos o elastómeros. Adicionalmente, se comenta la visión de la industria automotriz, que ha dedicado diversos estudios al tema y puede aportar una visión menos interesada en la comercialización de combustibles.

1. Gasohol y materiales metálicos

En condiciones normales de uso, los materiales metálicos están siempre sujetos a la corrosión, degradación debida a algún agente químico, típicamente asociado a formación de óxidos. Por esto, los componentes metálicos que trabajan con combustibles son fabricados en metales resistentes o adecuadamente protegidos para garantizar o extender al máximo su durabilidad. Particularmente con relación al gasohol, los metales considerados en riesgo de dañarse son: el acero, las aleaciones para fundición por presión (tipo Zamac) y las aleaciones de aluminio. ²² Es importante observar que la adición de etanol a la gasolina acelera los mecanismos de corrosión del acero, principalmente debido a la eventual presencia de agua en la mezcla y la presencia de ácidos orgánicos. Los problemas también pueden agravarse si se da una separación de fases del gasohol, produciendo una fase acuosa con algún contenido alcohólico, que tiende a ser más corrosiva que el propio gasohol. Por otra parte, la corrosividad de mezclas de etanol y gasolina es directamente proporcional a la concentración alcohólica.

Para mezclas con hasta 10% de etanol, el impacto del gasohol sobre el desgaste de componentes metálicos fue bastante estudiado y es considerada irrelevante, comparada con la gasolina normal. De hecho, al comentarse más adelante la posición de la industria automotriz, se podrá ver que, con pocas excepciones, la mayoría de los fabricantes no ponen restricciones al uso de gasohol con este porcentaje de etanol. Para mezclas con mayor contenido de etanol no se dispone de muchos estudios, y hay verdadera preocupación por posibles problemas de

²¹ Veáse por ejemplo las publicaciones de la Associação Brasileira de Corrosão, en especial *1^o Simpósio Nacional de Corrosão na Produção e Utilização do Álcool, 1980*, *2^o Simpósio Nacional de Corrosão na Produção e Utilização do Álcool, 1981*, *Workshop sobre Corrosão pelos Combustíveis, 1988*.

²² Owen, K., Coley, T., *Automotive Fuels Reference Book*, 2nd Edition, Society of Automotive Engineers, New York, 1995.

compatibilidad y corrosividad. Estos temores son confirmados por el hecho de que en Brasil, país de más larga experiencia en el uso de gasohol, con amplia adopción de mezclas de entre 14% y 24% de etanol a partir de los años setenta, se prevé introducir paulatinamente numerosas modificaciones en los sistemas de combustible de los vehículos. Actualmente, procesos de recubrimiento metálico y protección, como niquelado, son comunes en tanques de combustible de todos los coches brasileños. Pruebas recientes desarrolladas en Australia para ayudar a definir el contenido recomendable de etanol en el gasohol, apuntan hacia problemas operacionales (corrosión en diferentes niveles de severidad en partes de acero y aleaciones livianas del sistema de combustible), al operar con mezclas con etanol de alrededor de 20% en vehículos no adaptados.²³ Sin embargo, como se ha afirmado antes, diversos estudios hechos por entidades independientes y generalmente patrocinados por instituciones públicas, confirman que mezclas de gasolina con hasta 10% de etanol no incrementan la corrosión de los componentes metálicos expuestos a este combustible, inclusive carburadores de aleaciones inyectadas, bajo condiciones normales de operación.^{24, 25, 26}

La necesidad de agregar aditivos inhibidores de corrosión también es casi consensual y los fabricantes de aditivos ofrecen una gama de alternativas para este fin, pero la decisión de aditivar depende sobre todo de las especificaciones del etanol. En este sentido, cabe observar la especificación brasileña presentada en el informe inicial (apéndice E, p.121), donde se establecen niveles máximos de acidez total (pH), conductividad eléctrica, contenidos de iones cloruro, sulfato, hierro, sodio y cobre, para garantizar niveles tolerables de corrosividad a los metales, así como niveles máximos de masa específica y mínimos de contenido de etanol, para evitar los potenciales problemas de separación de fases. Es esencial para un bien logrado programa de gasohol, que una especificación del combustible sea adecuadamente definida y estrictamente observada.

2. Gasohol y elastómeros

El comportamiento de elastómeros y materiales como caucho, tan importantes en los vehículos modernos (usados por ejemplo en tuberías, "O-rings" y diafragmas), son más difíciles de generalizar, inclusive por su enorme variedad. Estos materiales están sujetos a reacciones de oxidación y formación de aleaciones cruzadas, que propician su envejecimiento y degradación, estimulados por factores como temperaturas elevadas y presencia de componentes químicos. Diversos aditivos antioxidantes han sido desarrollados para brindar resistencia, cuando ello es posible y necesario.

El efecto del etanol presente en el gasohol sobre los elastómeros depende también de la calidad de la gasolina base. Productos como benceno contribuyen para degradar más

²³ Orbital Engine Company, *Market Barriers to the Uptake of Biofuels Study: A Testing Based Assessment to Determine Impacts of a 20% Ethanol Gasoline Fuel Blend on the Australian Passenger Vehicle Fleet – 2000 hrs. Material Compatibility Testing*, informe para Environment Australia, 2003.

²⁴ Orbital Engine Company, *A Literature Review Based Assessment on the Impacts of a 10% and 20% Ethanol Gasoline Fuel Blend on Non-Automotive Engines*, informe para Environment Australia, 2002.

²⁵ Prakash, C., *Use of Higher than 10 volume percent Ethanol/Gasoline Blends In Gasoline Powered Vehicles*, Transportation Systems Branch/Air Pollution Prevention Directorate/Environment Canada, 1998.

²⁶ Australian Government, Department of Environment and Heritage, *Setting the Ethanol Limit in Petrol*, disponible en <http://www.deh.gov.au/atmosphere/ethanol/petrol>, 2003.

aceleradamente muchos tipos de plásticos y algunos estudios han demostrado que el contenido de etanol es algunas veces menos importante que el contenido de aromáticos en la composición de la gasolina.²⁷ En contacto con el gasohol, materiales como caucho natural y sintético (caucho butílico) pueden dar problemas a lo largo del tiempo. En el cuadro 11 se presenta el comportamiento de las principales familias de plásticos modernos frente al etanol puro,²⁸ donde destacan los denominados fluorelastómeros, como el Teflón. Es por esta razón que desde mediados de los años ochenta todos los vehículos emplean este material, absolutamente compatible con mezclas de etanol y gasolina en cualquier contenido.

Cuadro 11

DURABILIDAD DE MATERIALES PLÁSTICOS EN ETANOL²⁸

Plástico	Durabilidad
Polietileno Conventional	aceptable
Polipropileno	aceptable
Polimetilpenteno (PMP)	aceptable
Policarbonato	aceptable
Cloruro de Polivinil (PVC)	aceptable
Polietileno de alta densidad	excelente
Poli-tetrafluoroetileno (Teflon y Tefzel)	excelente

Nota: Aceptable: No ocurren daños después de 30 días de exposición.
Excelente: Tolera años de exposición sin problemas.

Las pruebas reportadas en el cuadro anterior fueron realizadas a 50°C. Para una adecuada evaluación de los elastómeros en un medio alcohólico, los procedimientos aplicados son los mismos que para derivados de petróleo, como la norma inglesa Defense Standard 05-50.²⁹

Vehículos anteriores a 1986 pueden poseer partes en plásticos sensibles a mezclas con etanol, pero muchas veces falta información técnica sobre los plásticos adoptados. Al introducirse el gasohol en el mercado estadounidense, se recomendó a los talleres cambiar piezas antiguas de plásticos por nuevas y resistentes, siendo interesante observar que no se registró un incremento de problemas con elastómeros en las áreas que utilizan gasolina oxigenada.³⁰ Los comentarios para orientación de consumidores en el sitio WEB de la empresa de petróleo Chevron son tranquilizadores:³¹

"Automobile manufacturers upgraded their fuel system elastomers at different times. Elastomers in pre-1975 vehicles may be sensitive to oxygenated and high-aromatics gasolines. Elastomers in 1975 to 1980 vehicles were upgraded, but not to the same extent as in later models.

²⁷ Orbital Engine Company, *op.cit.*, 2002.

²⁸ Adaptado de: *How To Adapt Your Automobile Engine For Ethyl Alcohol Use*, disponible en http://journeytoforever.org/biofuel_library.

²⁹ Ministry of Defense, *Defense Standard 05-50, Methods for Testing Fuels, Lubricants and Associated Products, part 64, Effect of Petroleum Products on Elastomers*, Issue1, London, 1995.

³⁰ Prakash, C., *op. cit.*, 1998.

³¹ ChevronTexaco Corp., *Motor Gasolines/ Oxygenated Gasoline*, disponible en <http://www.chevron.com/prodserv/fuels/bulletin/motorgas/ch4.shtml>

Chevron's experience is that there is not a significant compatibility problem between oxygenated gasolines and elastomers in older cars. There was not an increase in problems when oxygenated gasoline was introduced in 39 metropolitan areas in the winter of 1992. This held true for the western states, which tend to have more older cars in their vehicle populations and for areas where different oxygenates were used (MTBE throughout California; ethanol in Portland, Oregon and Seattle/Tacoma, Washington."

3. Visión de la industria automotriz

La introducción de un combustible como el gasohol, con un componente producido fuera del circuito comercial e industrial de los derivados de petróleo, afecta evidentemente a muchos intereses fuertemente establecidos, que en ocasiones se posicionan de modo contrario y tratan de crear obstáculos para mantener su mercado cautivo. La discusión que se observa en los foros técnicos de combustibles permite identificar en algunos agentes una postura casi pasional, que llega a inducir temores y generar expectativas sin una efectiva base científica, y apelan al sentimiento de los consumidores, señalando elevados riesgos a los vehículos. De forma más equilibrada, la industria automotriz ha implementado diversos estudios y sus resultados se presentan en los cuadros 12 a 14, para vehículos de pasajeros, motocicletas y motores náuticos.

De acuerdo con la información de estos cuadros, tomada directamente de los manuales para propietarios editados por los fabricantes, es posible observar que, en la gran mayoría de los casos, no hay restricciones a la utilización de gasohol con hasta 10% de etanol, especialmente para el caso de vehículos de pasajeros, conforme al cuadro 12. Algunos fabricantes llegan a estimular el uso de gasolinas oxigenadas con etanol, pero en general aceptan el biocombustible siempre que tienda a especificaciones de calidad, garantizando por ejemplo valores adecuados de octanaje y corrosividad. Informaciones más detalladas pueden ser rápidamente obtenidas en la WEB, en los sitios de los fabricantes o de entidades de promoción del gasohol, que sintetizan informes de los manuales.³² Para las motocicletas, como indica el cuadro 13, solamente la Ducati no acepta el uso de gasohol, sin dar a conocer porqué existe tal restricción. Aun para las motocicletas, es notable la virtual prohibición del uso de metanol. Para los motores náuticos, existen evidentes restricciones y posiciones contradictorias, inclusive con menciones a pérdidas de garantía de los equipos al utilizar gasohol (véase el cuadro 14). En este último tipo de motores hay una insistente mención a la necesidad de respetar las especificaciones, especialmente en cuanto al octanaje.

³² Es especialmente completo el sitio E10 Unleaded, de responsabilidad conjunta de Nebraska Corn Board, Nebraska Ethanol Board y Nebraska Corn Growers Association <http://www.E10unleaded.com/whosays.htm>.

Cuadro 12

RECOMENDACIONES DE FABRICANTES DE VEHÍCULOS CON RELACIÓN AL GASOHOL ³³

Fabricante	Contenido de etanol permitido en la gasolina	Comentarios
Acura	< 10% con aditivos anticorrosivos	
Alfa Romeo	< 10% con aditivos anticorrosivos	
Aston Martin	No informa	
Audi	< 10% con aditivos anticorrosivos	
BMW	< 10%	
Chrysler	< 10%	"...Chrysler Corporation supports these efforts toward cleaner air and recommends that you use these gasolines as they become available."
Ferrari	No informa	
Ford	< 10% con aditivos anticorrosivos	"... more reformulated fuels will become available as refiners move to meet the new Clean Air Act requirements... We encourage our customers to use these fuels."
General Motors	< 10% con aditivos anticorrosivos	"Many gasolines are now blended with materials called oxygenates. General Motors recommends that you use gasolines with these blending materials, such as MTBE and ethanol..."
Honda	< 10% con aditivos anticorrosivos	
Hyundai	< 10%	
Infiniti	< 10% con aditivos anticorrosivos	
Isuzu	< 10% con aditivos anticorrosivos	
Jaguar	< 10% con aditivos anticorrosivos	
Land Rover	< 10% con aditivos anticorrosivos	
Lexus	< 10% con aditivos anticorrosivos	
Mazda	< 10% sin aditivos	
Mercedes-Benz	< 10%	
Mitsubishi	< 10%	
Nissan	< 10% con aditivos anticorrosivos	
Porsche	acepta, sin muchos detalles	"Oxygenated fuels including ethanol, ... may be used with proper octane requirements."
Rolls-Royce	< 10%	
Saab	< 10%	
Subaru	< 10% con aditivos anticorrosivos	
Suzuki	< 10% con aditivos anticorrosivos	
Toyota	< 10%	"Toyota allows the use of oxygenate blended gasoline where the oxygenate content is up to 10% ethanol... Toyota recommends the use of cleaner burning gasoline and appropriately blended reformulated gasoline. These types of gasoline provide excellent vehicle performance, reduce vehicle emissions, and improve air quality."
Volkswagen	< 10%	
Volvo	< 10%	

³³ Clean Fuels Development Coalition, Clean Fuels: Paving the Way for America's Future (A Source for Information on Clean Burning Alternative Transportation Fuels), disponible en <http://www.ethanol-gec.org/clean/index.htm>.

Cuadro 13

RECOMENDACIONES DE FABRICANTES DE MOTOCICLETAS CON RELACIÓN AL GASOHOL ³⁴

Fabricante	Recomendación	Comentarios
BMW	no menciona gasohol	
Ducati	no permite	
Harley Davidson	permite gasolina con < 10% etanol	“Gasoline/ethanol blends can be used...if ethanol does not exceed 10%”, “Harley Davidson recommends you use oxygenated fuels, as an aid to cleaner air...”
Honda	permite gasolina con < 10% etanol	“You may use gasoline up to 10% ethanol by volume”
Kawasaki	permite gasolina con < 10% etanol	“Gasoline containing up to 10% ethanol (made from agricultural products) is approved for use”
Polares	permite gasolina con < 10% etanol	
Suzuki	permite gasolina con < 10% etanol	
Yamaha	permite gasolina con < 10% etanol	“Gasohol containing ethanol can be used if ethanol content does not exceed 10%”

Cuadro 14

RECOMENDACIONES DE FABRICANTES DE MOTORES NÁUTICOS
CON RELACIÓN AL GASOHOL ³⁵

Fabricante	Recomendación	Comentarios
Bombardier	no permite gasolina con etanol	“never use fuel containing alcohol...”
Honda	permite gasolina con < 10% etanol	“you may use gasoline containing up to 10% ethanol”
Indmar	acepta gasolina con < 10% etanol	“alcohol blended fuel can cause engine performance problems”
Mercury Marine	no recomienda	“gasoline containing alcohol may cause problems to your outboard...corrosion of metal parts, deterioration of elastomers and plastic parts, wear...”
Nissan	permite gasolina con < 10% etanol	“damage resulting from the use of gasolines that contain alcohol is not covered under the limited warranty.”
Outboard Marine	permite gasolina con < 10% etanol	“...is acceptable only if the ethanol content does not exceed 10%...”
Pleasurecraft	no permite gasolina con etanol	“gasoline containing alcohol is not recommended”
Suzuki	permite gasolina con < 10% etanol	“highly recommended to use alcohol free gasoline”, “oxygenated fuels may be used without jeopardizing the Warranty”
Yamaha	permite gasolina con < 10% etanol	

Al conocer algunas visiones contradictorias frente al uso de gasohol por parte de fabricantes de motores de tecnología aparentemente similar, inmediatamente surge la pregunta de si los fabricantes que ponen restricciones lo hacen por una postura conservadora o porque efectivamente realizaron ensayos y pruebas con gasohol. Se puede prever que, con el tiempo y la amplia difusión de gasolinas oxigenadas con etanol en los países desarrollados, todos los

³⁴ Renewable Fuels Association, *2003 Motorcycle Manufacturer Fuel Recommendations*, disponible en <http://www.ethanolrfa.org/2003motorcycles.pdf>.

³⁵ Renewable Fuels Association, *2003 Marine Manufacturer Fuel Recommendations*, disponible en <http://www.ethanolrfa.org/2003marine.pdf>.

nuevos motores lleguen a ser capaces de utilizarlo sin restricciones. Sea como sea, la pregunta siguiente es si tales restricciones llegan a ser suficientes para que un país deje de adoptar masivamente un nuevo combustible y, en ese caso, cómo atender a los consumidores que no puedan utilizarlo. Evidentemente, la respuesta depende del parque de consumidores y del nivel de importancia de las mencionadas restricciones.

Finalmente, más allá de los resultados de centenares de estudios e investigaciones sobre compatibilidad de materiales frente al gasohol, la realidad de que muchos millones de vehículos utilizando este combustible en una diversificada muestra de países, con flotas heterogéneas y de edades variadas, está demostrando de forma inequívoca y prácticamente irrevocable, que pueden existir problemas, pero que éstos son tolerables o superables sin grandes impactos.

V. REEVALUACIÓN DE LOS ASPECTOS ECONÓMICOS

La introducción del etanol en la gasolina implica una renuncia fiscal por parte de los gobiernos, tal como se afirma en el informe inicial. Con el objeto de evaluar con mayor detalle esta merma en los ingresos fiscales, en este capítulo se presentan nuevos cálculos que toman en cuenta las diferencias de presión de vapor y de octanaje de las gasolinas base, así como la estructura diferenciada de los impuestos, con cada uno de sus componentes.

1. Estimación del valor económico de las diferencias de presión de vapor y octanaje en las gasolinas, al adicionar 10% de etanol

La adición de etanol a la gasolina resulta en un aumento en la presión de vapor y del octanaje. El presente análisis tiene como objetivo estimar el valor económico de estos cambios en las gasolinas base necesarias para lograr las especificaciones actuales de las gasolinas regular y *premium*, en el caso de agregar 10% de etanol. No se hace referencia al impacto en otras propiedades menos importantes de las gasolinas, ni a posibles dificultades que pudieran ocurrir en el abastecimiento primario de gasolinas con especificaciones distintas a las vigentes.

a) Presión de vapor

Debido a que la presión de vapor en la gasolina está en función de su contenido de butano, un método comúnmente utilizado en la industria para estimar el valor monetario de diferencias en este parámetro se basa en determinar el valor de butano equivalente por cada unidad de presión de vapor Reid (RVP), mediante la siguiente relación:

$$\text{Valor de 1 psi de RVP} = 0.02 \times (\text{precio de la gasolina 87 unleaded} - \text{precio del butano})$$

Si se toman como base los precios de estos productos en el mercado de la Costa del Golfo de los Estados Unidos (USGC), la relación anterior arroja valores que dependen de los niveles de precios absolutos y relativos. Durante el período comprendido entre 1996 y 2003, el valor promedio es de 0.32 centavos de dólar por galón por cada unidad de RVP, mientras que con los mayores niveles de precios del último cuatrienio, este valor se eleva a 0.38 centavos (véase el cuadro 15).

En el Istmo Centroamericano se expenden gasolinas con RVP de 10 libras por pulgada cuadrada (psi). Como la adición de 10% de etanol eleva la presión de vapor en 0.94 psi (6.5 kPa), las gasolinas base del gasohol deberán contar con una presión de vapor ligeramente arriba de 9 psi, a fin de mantener la especificación mencionada, con lo cual el precio de adquisición se elevaría en 0.30 centavos de dólar por galón (0.079 centavos por litro), valuado con las cifras promedio de 1996-2003, periodo en que han ocurrido muy diversos niveles y estructuras de precios, que puede usarse como escenario de largo plazo.

Cuadro 15

ESTIMACIÓN DEL VALOR DE UNA UNIDAD DE RVP
(centavos de dólar / galón)

Años	Precio USGC		Diferencia 87 IO – Butano	Valor de 1 psi de RVP
	87 IO	Butano		
1996	59.80	47.11	12.69	0.25
1997	58.75	43.93	14.82	0.30
1998	41.46	30.90	10.56	0.21
1999	52.28	40.97	11.31	0.23
2000	83.59	66.93	16.66	0.33
2001	73.57	53.72	19.85	0.40
2002	72.33	50.14	22.19	0.44
2003	87.19	69.29	17.90	0.36
1996-1999	53.07	40.73	12.35	0.25
2000-2003	79.17	60.02	19.15	0.38
1996-2003	66.12	50.37	15.75	0.32

Nota: IO significa Índice de Octano y es el promedio entre los números de octano RON y MON.

b) Octanaje

La capacidad antidetonante de las gasolinas reportadas en Platt's para el mercado de referencia está especificada mediante el índice de octano (IO), que corresponde al promedio aritmético entre los números de octano RON y MON,³⁶ mientras que la calidad de las gasolinas en el Istmo Centroamericano está definida en términos RON. Así, el valor de una unidad de octano RON se obtuvo de la diferencia de precios de las gasolinas de 87 y 93 IO en el mercado USGC, tomando en cuenta que, en forma aproximada y conservadora, el RON equivale a IO más 4.5 (véase el cuadro 16). Durante el período comprendido entre 1996 y 2003, un octano RON tuvo un valor promedio de 0.56 centavos de dólar por galón (0.148 centavos por litro), con diferencias entre años menores que en el caso de la presión de vapor, debido a que mientras los precios de las diferentes calidades de gasolinas están fuertemente correlacionados, el butano es además influido por el mercado altamente volátil del gas natural.

Existen diferencias en el octanaje de las gasolinas que se consumen en los distintos países de la región. La de tipo regular cuenta con 88, 90 y 91 octanos RON en Costa Rica, El Salvador y Panamá, respectivamente, mientras que en los otros tres países se vende con 87 octanos. La de calidad *premium* en de 95 octanos RON, excepto en Costa Rica. Aunque en algunos países se maneja una tercera gasolina con capacidad antidetonante aún mayor, no se toma en cuenta en este trabajo debido a su poco volumen de ventas y, sobre todo, por el menor efecto que la adición de etanol tiene en las gasolinas de muy alto octanaje.

Para evaluar el octanaje requerido en la gasolina base para producir gasohol (con 10% de etanol) que cumpla con las especificaciones actuales de las gasolinas en cada país de la región, se tomó como referencia únicamente el octanaje RON, a fin de simplificar el análisis y

³⁶ El número de octano RON (*Research Octane Number*) se determina mediante una prueba del motor que simula la conducción dentro de una ciudad, es decir, a baja velocidad y aceleración frecuente, en tanto que el MON (*Motor Octane Number*) se obtiene simulando la conducción en carretera, es decir, a altas velocidades o condiciones de carga elevada.

considerando que éste es más importante que el indicador MON. La variación de octanaje RON de las gasolinas base de cada país se estimó a partir de los datos presentados en el cuadro 17 y el gráfico 5, interpolando o extrapolando las cifras de las dos gasolinas de mayor octanaje mostradas, que son las que se acercan más a las calidades de los combustibles de la región.

Cuadro 17

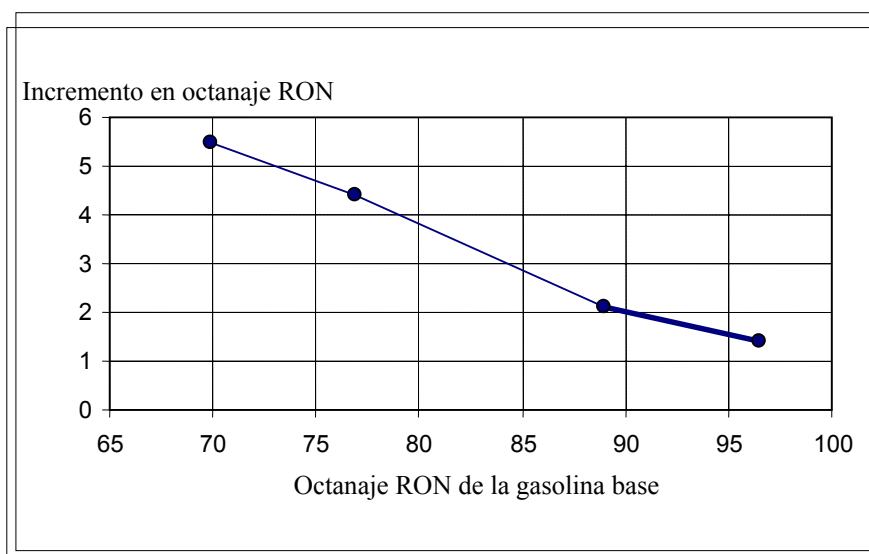
AUMENTO EN EL OCTANAJE DE DIVERSAS CLASES DE GASOLINA BASE
AL MEZCLAR 10% DE ETANOL
(porcentajes)

Composición de la gasolina base			Octanaje de la gasolina base		Incremento en el octanaje, con 10% de etanol	
Aromáticos	Olefínicos	Saturados	MON	RON	MON	RON
50	15	35	84.5	96.5	0.3	1.4
25	25	50	78.3	89.0	0.9	2.1
15	12	73	70.2	76.9	3.5	4.4
11	7	82	65.3	69.9	4.6	5.5

Fuente: Carvalho, P.A., Superintendencia de Calidad de Productos, Agencia Nacional de Petróleo, Río de Janeiro.

Gráfico 5

EFECTO EN EL OCTANAJE RON AL ADICIONAR 10% DE ETANOL



Fuente: Carvalho, P.A., Superintendencia de Calidad de Productos, Agencia Nacional de Petróleo, Río de Janeiro.

Así, para producir gasohol (con 10% de etanol) que sustituya a la gasolina regular que actualmente se consume en el Istmo Centroamericano, se requerirían gasolinas base con un número de octano RON inferior entre 2.1 y 2.5 unidades, según el país de que se trate; en el caso de la gasolina de calidad *premium* analizada, la reducción sería de 1.7 octanos RON para casi todos los países (véase el cuadro 18).

Cuadro 18

GASOLINAS BASE PARA PRODUCIR GASOHOL CON IGUAL OCTANAJE (RON)
QUE LAS GASOLINAS COMERCIALIZADAS EN EL ISTMO CENTROAMERICANO

País	Octanaje RON de gasolina base para la mezcla		Aumento de octanaje RON al mezclar 10% de etanol		Octanaje RON del gasohol y de la gasolina actual	
	Regular	Premium	Regular	Premium	Regular	Premium
Costa Rica	85.6	82.2	2.4	1.8	88	94
El Salvador	87.8	93.3	2.2	1.7	90	95
Guatemala	84.5	93.3	2.5	1.7	87	95
Honduras	84.5	93.3	2.5	1.7	87	95
Nicaragua	84.5	93.3	2.5	1.7	87	95
Panamá	88.9	93.3	2.1	1.7	91	95

c) **Valor económico de las diferencias de octanaje y presión de vapor**

En consecuencia, se estima que debido al efecto de la mezcla de 10% de etanol, la gasolina base para producir gasohol de tipo regular tendría un precio de importación inferior en alrededor de 1 centavo de dólar por galón, como promedio para los países de la región, que es el resultado neto de: i) un ahorro de aproximadamente 1.3 centavos por el menor octanaje RON necesario del combustible base, y ii) un sobrecosto de 0.3 centavos por la menor presión de vapor requerida en la gasolina base. Para el gasohol de calidad *premium*, la reducción de precio neta sería de 0.65 centavos de dólar por galón (véase el detalle por país en el cuadro 19).

Cuadro 19

VALOR ECONÓMICO DE LAS DIFERENCIAS (OCTANAJE Y PRESIÓN DE VAPOR) ENTRE LA GASOLINA BASE PARA GASOHOL Y LAS GASOLINAS COMERCIALIZADAS EN LA REGIÓN
(centavos de dólar / galón)

País	Disminución de precio por diferencias de octanaje		Aumento de precio por diferencia de presión de vapor		Disminución neta de precio, entre octanaje y presión de vapor	
	Regular	Premium	Regular	Premium	Regular	Premium
Costa Rica	-1.34	-1.01	0.30	0.30	-1.04	-0.70
El Salvador	-1.23	-0.95	0.30	0.30	-0.93	-0.65
Guatemala	-1.40	-0.95	0.30	0.30	-1.10	-0.65
Honduras	-1.40	-0.95	0.30	0.30	-1.10	-0.65
Nicaragua	-1.40	-0.95	0.30	0.30	-1.10	-0.65
Panamá	-1.18	-0.95	0.30	0.30	-0.88	-0.65

Nota: Las diferencias de calidad están valuadas sobre la base de 0.56 centavos de dólar por galón por cada unidad de octano RON y 0.32 centavos por 1 psi de presión de vapor.

2. Estructura de impuestos a las gasolinas y diesel

Los países del Istmo Centroamericano tienen estructuras de impuestos diferentes, con combinaciones de aranceles disímiles, impuestos específicos e IVA (véanse los cuadros 20 y 21).

Aunque tradicionalmente en Costa Rica los derivados de petróleo estuvieron sujetos a diversos gravámenes *ad valorem*, a partir de agosto de 2001 se derogaron todos ellos y se estableció un impuesto único para cada tipo de combustible, especificado en colones por litro y ajustado trimestralmente de acuerdo con la variación en el índice de precios al consumidor. Durante 2002, el impuesto para las gasolinas *premium* y regular representó 1.003 y 0.964 dólares por galón, respectivamente, en tanto que para el diesel significó sólo 0.567 dólares.

Los gravámenes en El Salvador comprenden un arancel de 1% sobre el valor cif, un impuesto a la transferencia de bienes muebles y a la prestación de servicios (equivalente al IVA) de 13% sobre el precio final de cada combustible, un impuesto para el mantenimiento de la red vial (FOVIAL), aplicable a las gasolinas y el diesel, por un monto fijo de 0.20 dólares por galón, así como un cargo destinado al subsidio cruzado del gas licuado para consumo doméstico en envases pequeños, que grava a las gasolinas (0.16 dólares por galón). Adicionalmente, existe un recargo de 0.0012 dólares por galón por concepto de regulación y control.

Desde agosto de 2001, la carga fiscal a los combustibles en Guatemala se compone de un impuesto específico a la distribución interna, denominado en dólares hasta diciembre de 2002 (0.48, 0.47 y 0.17 dólares por galón, para la gasolina *premium*, la gasolina regular y el diesel, respectivamente), así como un impuesto al valor agregado de 12% (anteriormente el IVA era de 10%). Además, existe un arancel de 10%, aplicable únicamente a la importación de gasolina, retomado en enero de 2002, luego de haber sido suspendido temporalmente desde agosto de 1999.

En la importación de hidrocarburos a Honduras se aplica una tarifa arancelaria de 15% para los combustibles líquidos, así como un cargo de 0.5% por servicios administrativos aduaneros. El principal componente del sistema impositivo lo constituye un impuesto específico llamado aporte a la conservación del patrimonio vial, atención de programas de interés social y turismo (denominado en dólares), que durante varios años se ha mantenido en 0.80 dólares por galón para la gasolina de mayor calidad, 0.76 dólares para la regular y 0.26 en el caso del diesel. Por último, los combustibles están sujetos al impuesto de producción y consumo, de tipo *ad valorem*, que se calcula sobre la base del precio paridad de importación con una tasa de 15%. Con la finalidad de atenuar el impacto de las alzas del mercado internacional, desde 2000 se ha implementado en varias ocasiones un sistema de bandas que permite reducir las tasas antes mencionadas, en la medida que el precio del crudo West Texas Intermediate (WTI) rebasa los 18 dólares por barril, aunque manteniendo sin cambio el impuesto específico.

En Nicaragua se grava solamente con un impuesto específico al consumo (IEC) a cada tipo de combustible, el cual está denominado en dólares. A finales de febrero de 2001 se redujeron los impuestos vigentes desde agosto de 1998, quedando en 0.6985 dólares por galón para la gasolina *premium*, 0.6955 dólares para la regular y 0.5415 en el caso del diesel.

Adicionalmente existe un cargo de 0.0014 dólares por galón por concepto de regulación y fiscalización.

En un esfuerzo de simplificación fiscal, Panamá adoptó en 1992 un sistema impositivo que consiste únicamente en un impuesto al consumo de combustibles, denominado en dólares y con un programa de reducción paulatina que desde 2000 se ha estabilizado en 0.60 dólares por galón para todo tipo de gasolinas y 0.25 dólares para el diesel.

Cuadro 20

ESTRUCTURA DE IMPUESTOS A LAS GASOLINAS Y EL DIESEL, 2002
(dólares por galón)

	Costa Rica	El Salvador	Guatemala	Honduras	Nicaragua	Panamá
<i>Gasolina premium</i>						
Aranceles y similares	-	0.008	0.078	0.157	-	-
Impuestos y cargos específicos	1.003	0.361	0.480	0.800	0.700	0.600
IVA o equivalente	-	0.216	0.201	0.129	-	-
TOTAL	1.003	0.585	0.760	1.086	0.700	0.600
<i>Gasolina regular</i>						
Aranceles y similares	-	0.008	0.072	0.150	-	-
Impuestos y cargos específicos	0.964	0.361	0.470	0.760	0.697	0.600
IVA o equivalente	-	0.201	0.196	0.123	-	-
TOTAL	0.964	0.570	0.739	1.032	0.697	0.600
<i>Diesel</i>						
Aranceles y similares	-	0.007	-	0.141	-	-
Impuestos y cargos específicos	0.567	0.201	0.170	0.260	0.543	0.250
IVA o equivalente	-	0.163	0.135	0.116	-	-
TOTAL	0.567	0.372	0.305	0.516	0.543	0.250

Cuadro 21

ESTRUCTURA DE IMPUESTOS A LAS GASOLINAS Y EL DIESEL, 2002
(dólares por litro)

	Costa Rica	El Salvador	Guatemala	Honduras	Nicaragua	Panamá
<i>Gasolina premium</i>						
Aranceles y similares	-	0.002	0.021	0.041	-	-
Impuestos y cargos específicos	0.265	0.095	0.127	0.211	0.185	0.158
IVA o equivalente	-	0.057	0.053	0.034	-	-
TOTAL	0.265	0.155	0.201	0.287	0.185	0.158
<i>Gasolina regular</i>						
Aranceles y similares	-	0.002	0.019	0.040	-	-
Impuestos y cargos específicos	0.255	0.095	0.124	0.201	0.184	0.158
IVA o equivalente	-	0.053	0.052	0.032	-	-
TOTAL	0.255	0.150	0.195	0.273	0.184	0.158
<i>Diesel</i>						
Aranceles y similares	-	0.002	-	0.037	-	-
Impuestos y cargos específicos	0.150	0.053	0.045	0.069	0.143	0.066
IVA o equivalente	-	0.043	0.036	0.031	-	-
TOTAL	0.150	0.098	0.081	0.136	0.143	0.066

3. Cálculo de la renuncia fiscal por la adición de 10% de etanol sin impuestos

Con la estructura de impuestos para 2002 (que incorpora importantes modificaciones tributarias realizadas durante 2001 en la mayoría de los países), se estima a continuación la renuncia fiscal que implicaría la introducción de 10% etanol (sin impuestos) en las gasolinas regular y *premium*. Para ello, se supone que el precio de las gasolinas base para la elaboración de gasohol es el mismo que el de las gasolinas actuales; es decir, no se toma en cuenta la pequeña reducción en el precio de adquisición resultante de las diferencias en octanaje y presión de vapor, como se estimó anteriormente.

En los cuadros 22 y 23 se presentan los volúmenes totales de las ventas de cada tipo de gasolina, los cuales comprenden los productos expendidos en estaciones de servicio y las ventas directas a empresas y gobierno. Además, se muestra el precio de venta de las gasolinas en las estaciones de servicio.

La renuncia fiscal fue estimada para cada una de las tres categorías de gravámenes, debido a que tienen distintas implicaciones. El arancel automáticamente dejaría de recaudarse ya que el etanol se produciría localmente. Los impuestos específicos (que incluyen los cargos por regulación y control, que se aplican en dos países) pueden exentarse en forma muy sencilla. En cambio, los impuestos de tipo IVA pueden presentar problemas en el mecanismo para su exención, ya que son de orden general y se aplican al precio de venta.

Además, el arancel e IVA dependen del precio internacional de las gasolinas. Los montos aquí estimados para 2002 corresponden a un nivel de precios moderadamente alto con respecto al promedio histórico, por lo cual puede afirmarse que las cifras unitarias calculadas para estos dos tipos de gravámenes pueden sobreestimar un poco el promedio unitario para el futuro (especialmente importante en los casos de El Salvador y Guatemala).

Cuadro 22

VOLUMEN Y PRECIO DE LAS GASOLINAS PREMIUM Y REGULAR, 2002 (millones de galones)

	Gasolina <i>premium</i>			Gasolina regular			Gasolinas <i>premium</i> y regular		
	Volumen (millones galones)	Particip. (%)	Precio (dólares / galón)	Volumen (millones galones)	Particip. (%)	Precio (dólares / galón)	Volumen (millones galones)	Particip. (%)	Precio (dólares / galón)
Costa Rica	91.2	41.1	2.20	130.8	58.9	2.11	222.0	100.0	2.15
El Salvador	29.0	24.1	1.88	91.5	75.9	1.74	120.5	100.0	1.78
Guatemala	196.3	65.3	1.88	104.4	34.7	1.83	300.7	100.0	1.86
Honduras	106.5	91.1	2.35	10.4	8.9	2.24	116.9	100.0	2.34
Nicaragua	35.4	57.0	2.06	26.7	43.0	1.95	62.0	100.0	2.01
Panamá	47.4	33.7	1.83	93.4	66.3	1.80	140.8	100.0	1.81
I. Centroam.	505.8	52.5	2.04	457.1	47.5	1.90	962.9	100.0	1.98

Cuadro 23

VOLUMEN Y PRECIO DE LAS GASOLINAS PREMIUM Y REGULAR, 2002
(millones de litros)

	Gasolina <i>premium</i>			Gasolina regular			Gasolinas <i>premium</i> y regular		
	Volumen (millones de litros)	Particip. (%)	Precio (dólares / litro)	Volumen (millones de litros)	Particip. (%)	Precio (dólares / litro)	Volumen (millones de litros)	Particip. (%)	Precio (dólares / litro)
Costa Rica	345	41.1	0.581	495	58.9	0.557	840	100.0	0.567
El Salvador	110	24.1	0.496	346	75.9	0.460	456	100.0	0.469
Guatemala	743	65.3	0.496	395	34.7	0.484	1,138	100.0	0.492
Honduras	403	91.1	0.621	39	8.9	0.591	442	100.0	0.618
Nicaragua	134	57.0	0.544	101	43.0	0.516	235	100.0	0.532
Panamá	180	33.7	0.483	354	66.3	0.475	533	100.0	0.478
I.Centroam.	1915	52.5	0.540	1731	47.5	0.502	3,645	100.0	0.522

Notas: La gasolina Premium de El Salvador excluye 18.3 millones de galones de gasolina de 97 octanos RON, mientras que la gasolina regular de Panamá incluye 9.5 millones de galones de gasolina de 87 octanos RON.

Destaca que en Costa Rica y Guatemala la renuncia fiscal (alrededor de 22 millones de dólares anuales) sería muy superior al resto de la región, debido principalmente a los altos impuestos unitarios en el primer país, y al gran volumen de ventas en el segundo. Sin embargo, cabe destacar que si en una primera etapa el etanol se adiciona únicamente a la gasolina regular (el producto que más se beneficia por octanaje), la renuncia fiscal se reduce significativamente en la mayoría de los países (véase el cuadro 25).

Cuadro 25

RENUNCIA FISCAL POR TIPOS DE GASOHOL Y GRAVAMEN
(millones de dólares)

	Gasohol <i>premium</i>				Gasohol regular				Gasohol <i>premium</i> y regular			
	Arancel	Especif.	IVA	Total	Arancel	Especif.	IVA	Total	Arancel	Especif.	IVA	Total
CR	0.0	9.1	0.0	9.1	0.0	12.6	0.0	12.6	0.0	21.8	0.0	21.8
ES	0.0	1.0	0.6	1.7	0.1	3.3	1.8	5.2	0.1	4.4	2.5	6.9
GU	1.5	9.4	4.0	14.9	0.8	4.9	2.0	7.7	2.3	14.3	6.0	22.6
HO	1.7	8.5	1.4	11.6	0.2	0.8	0.1	1.1	1.8	9.3	1.5	12.6
NI	0.0	2.5	0.0	2.5	0.0	1.9	0.0	1.9	0.0	4.3	0.0	4.3
PA	0.0	2.8	0.0	2.8	0.0	5.6	0.0	5.6	0.0	8.4	0.0	8.4
IC	3.2	33.5	6.0	42.6	1.0	29.1	4.0	34.1	4.2	62.5	10.0	76.7

Nota: Sobre la base de precios y volúmenes de 2002.

Por último, cabe hacer notar que la disminución del precio de la gasolina base (un centavo de dólar por galón, como promedio para la región) requerida para producir gasohol con iguales especificaciones que la gasolina de tipo regular, equivaldría, según el país, a entre 10% (Costa Rica y Honduras) y 17% (El Salvador) de la renuncia fiscal en esta clase de gasolina. En consecuencia, es conveniente analizar los mecanismos para transferir la disminución en el precio de importación hacia una reducción de la renuncia fiscal.