

Convenio Costarricense - Alemán de Cooperación Técnica
PROYECTO AIRE LIMPIO SAN JOSÉ

Potencial Económico y Ambiental del Etanol como Oxigenante en la Gasolina



Dr. Luiz Augusto Horta Nogueira
Consultor
Universidad Federal de Itajubá, Brasil



Costa Rica 2006

Plataforma Interministerial



gtz

Convenio Costarricense - Alemán de Cooperación Técnica
PROYECTO AIRE LIMPIO SAN JOSÉ

Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT),
Ministerio de Salud (MS) y Ministerio de Ambiente y Energía
(MINAE), con apoyo de la
Cooperación Técnica Alemana (GTZ)

Potencial Económico y Ambiental del Etanol como Oxigenante en la Gasolina

L. A. Horta Nogueira
Consultor
Universidad Federal de Itajubá, Brasil

PROYECTO AIRE LIMPIO EN COSTA RICA

Estudio de la factibilidad económica y ambiental del etanol como oxigenante de la gasolina de Costa Rica

Contenido

1. Introducción y antecedentes
2. Evaluación de los precios de paridad para el etanol
 - 2.1. Paridad de los precios para la industria azucarera
 - 2.2. Paridad de los precios frente a los combustibles
 - 2.3. Síntesis comparativa
3. Estimaciones de los costos de producción del etanol
4. Evaluación de la factibilidad del uso de etanol como oxigenante y necesidad de subsidios
 - 4.1. Mecanismos para garantizar el suministro de etanol por la industria local y evitar riesgos de desabastecimiento
 - 4.2. Consideraciones sobre importaciones de etanol
 - 4.3. Discusión sobre subsidios para apoyar el etanol
 - 4.4. Mecanismos de soporte a agroindustria del etanol
 - 4.5. Alternativas de modelos de formación de precios para el etanol
 - 4.6. Comentarios sobre regulación de precios del etanol
 - 4.7. Proyecciones de demanda de etanol para Costa Rica
5. Análisis de los aspectos ambientales del gasohol
 - 5.1. Impactos ambientales en la producción agroindustrial
 - 5.2. Impactos ambientales locales en la utilización de etanol
 - 5.3. Impactos ambientales globales en la utilización de etanol
6. Conclusiones y recomendaciones

1. INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

La demanda de modernos vectores energéticos es imperativa para el desarrollo económico y social, comprometiendo un significativo volumen de recursos naturales y capital. En este contexto y buscando ampliar la sostenibilidad de los sistemas energéticos, las fuentes renovables de energía vienen incrementando su participación en el suministro de combustibles, en particular mediante la introducción del etanol en mezclas con la gasolina. Esta posibilidad tecnológica ya había sido propuesta en fines del siglo XIX por Henry Ford, que utilizó el etanol puro en sus primeros modelos.

En 1931 se aprobó en Brasil una legislación para uso obligatorio de 5% de etanol en la gasolina importada¹, iniciando un aprendizaje que explica porque actualmente en ese país se utiliza el 25% de etanol en todas las gasolinas comercializadas, con una demanda actual de alrededor de 16 millones de metros cúbicos de etanol, que sigue creciendo a tasas elevadas y podrá llegar a más de 22 millones en 2013². En Estados Unidos, la reciente aprobación de la Energy Bill por el Congreso señaló que la actual demanda de etanol carburante de 12,5 millones de metros cúbicos deberá pasar a 28,4 millones hasta 2012³. De hecho, en la actualidad diversos países desarrollan mercados de biocombustibles, con previsiones para 2010 de una demanda global de alrededor de 75 mil millones de litros de etanol, equivalentes a casi un millón de barriles diarios de petróleo⁴. Este cuadro se consolida con la evolución tecnológica de la agroindustria cañera, el desarrollo de los motores de combustión y la valoración de las implicaciones ambientales de los sistemas energéticos, expandiendo el interés en el etanol carburante en todo el mundo. En la actualidad el etanol es empleado como componente oxigenante de la gasolina en muchos países desarrollados y prácticamente todos los fabricantes de vehículos aceptan o recomiendan su utilización hasta niveles de 10% en la mezcla con gasolina, conocida como gasohol.

¹ Decreto 19.717, **Obrigatoriedade da adição de álcool à gasolina de procedência estrangeira**, Rio de Janeiro, 20/2/1931

² Macedo, I.C., Horta Nogueira, L.A., **Biocombustíveis**, Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República, Brasília, 2005

³ DOE, **Energy Bill**, Washington, 2005

⁴ Berg, C., **World Fuel Ethanol: Analysis and Outlook**, F.O. Licht, Kent, 2004

Este tema no es exactamente novedoso en Costa Rica. Por su tradición cañera, en el inicio de los años ochenta, durante la segunda crisis del petróleo ya se intentó promover la utilización de mezcla gasolina/etanol en motores de vehículos livianos (durante el periodo de abril de 1981 a noviembre de 1982 se vendieron mezclas de etanol/gasolina en 33 estaciones de servicio del Área Metropolitana de Costa Rica), con limitados resultados. En ese periodo se instaló en el país una capacidad de producción de etanol y con la interrupción de la demanda interna, se mantuvo la fabricación del biocombustible, con la producción dedicada a exportación, principalmente para Estados Unidos⁵. Aunque una parte de la exportación de etanol anidro estuvo basada en materia prima importada (etanol hidratado), la industria cañera costarricense presenta indiscutible dominio de la tecnología de producción de ese biocombustible desde las melazas residuales de agroindustria azucarera. En la zafra 2003/2004 el volumen de etanol anidro exportado por Costa Rica fue superior a 18,9 millones de litros, correspondientes a 7,23 millones de dólares, 22% del valor recibido por las exportaciones de azúcar⁶, lo que confirma que ese producto no es marginal entre las actividades de esa industria.

El etanol es naturalmente apto para ser producido y utilizado en la región centroamericana, siendo una actividad importante desde los tiempos coloniales. Además de las disponibilidades regionales, asociadas a las excelentes condiciones edafoclimáticas, las ventajas ambientales locales y globales y la posibilidad de articulación con el desarrollo agroindustrial, promoviendo la diversificación productiva de un sector tradicional de la economía y la generación de empleos, también son últimamente factores importantes para impulsar su implementación el alto costo del petróleo importado que abastece gran parte de la demanda regional y la competitividad económica del etanol de la caña de azúcar.

⁵ Conforme informaciones de LAICA, con la apertura y operación de la Iniciativa de la Cuenca del Caribe (CBI), bajo los términos establecidos por la Ley de Recuperación Económica de los Países de la Cuenca del Caribe de 1983; así como con la construcción y acondicionamiento de la infraestructura portuaria por parte de LAICA en Punta Morales, en el año 1984, se empezó en la mitad de los años ochenta la exportación de etanol combustible de Costa Rica. La primera exportación de Alcohol (1,5 millones de Alcohol Anhidro 99,9° de pureza) se realizó el 20 de febrero de 1985 destinada a la ciudad de Tampa, Florida en los EUA. En esa fecha también se inauguró simultáneamente dicha Terminal Portuaria.

⁶ LAICA, **Informe Estadístico 2003-2004**, Liga Agrícola Industrial de la Caña de Azúcar, San José, 2005

Una inequívoca señal de esta nueva visión para toda la región, adonde la reducción sostenible de la dependencia energética retoma prioridad, es que en las recomendaciones presentadas en diversas reuniones de alto nivel entre los gobernantes y ministros de energía de la región centroamericana realizadas en los dos últimos años⁷, se presenta claramente la necesidad de promover el uso del etanol combustible y se hace hincapié en la cooperación para promover el desarrollo de las técnicas y procedimientos para hacerlo en el tiempo más breve posible. La factura petrolera de los países de Centro América deberá superar los 3 mil millones de dólares en 2005 y en Costa Rica podría llegar a los 1.000 millones de dólares, haciendo que todo esfuerzo para reducir su impacto sea realmente importante.

Particularmente en Costa Rica cabe mencionar que el Ejecutivo emitió el Decreto N° 31087- MAG-MINAE, creando la Comisión Técnica de Trabajo para “formular, identificar y diseñar estrategias para el desarrollo del etanol anhidro, destilado nacionalmente y utilizando materias primas locales, como sustituto del MTBE de la gasolina”. Los objetivos básicos presentados para este decreto fueron el desarrollo agroindustrial (reactivación económica, generación de valor agregado), la mejora ambiental (por ejemplo mediante sustitución del MTBE) y desde el punto de vista energético, la diversificación de fuentes y reducción de la dependencia externa de combustibles. Esta Comisión involucra los distintos entes vinculados al tema (Ministerio de Agricultura y Ganadería, Ministerio de Ambiente y Energía, Refinadora Costarricense de Petróleo RECOPE, Liga Agrícola Industrial de la Caña LAICA), buscando definir las condiciones para el uso de etanol en Costa Rica. Inicialmente se pretendía la introducción de mezclas de etanol con las gasolinas a partir de enero de 2005. Sin embargo la interposición de un recurso de inconstitucionalidad contra el artículo 7 de este decreto, el cual ordena la ejecución del programa hizo que se suspendiera la aplicación de esta medida. A pesar de esta acción es posible para el Ministerio de Ambiente y Energía y las otras dependencias que integran la comisión, continuar con la implementación de proyectos piloto, tendientes a fomentar el conocimiento para la logística y manejo del producto. Es por ello que como una ampliación al primer proyecto piloto (30 vehículos propiedad de RECOPE recorrieron

⁷ Se puede mencionar la **VI Cumbre de Jefes de Estado y Gobernantes de la Región Centroamericana** (Managua, 2004) y la **Reunión de Ministros de Energía de Mesoamérica y de la**

300 kilómetros con una mezcla del 10 de etanol y 90 de gasolina), se ha decidido por parte de la Refinadora Costarricense de Petróleo con el aval del Gobierno ejecutar un nuevo proyecto en la Zona Norte y el Pacífico Central del país por un lapso de un año, que iniciaría a partir de noviembre de este mismo año para la adopción de la mezcla gasolina/etanol (con 8% de etanol) en las 60 estaciones de servicio abastecidas por el plantel de RECOPE en Barranca que representan alrededor de 12% del mercado y cubriendo aproximadamente la demanda de 66 mil vehículos, empezando así la utilización de etanol carburante en Costa Rica⁸, con el objeto de analizar aspectos de logística y distribución de la citada empresa.

Considerando el mercado previsto por RECOPE para 2005, con una demanda de gasolina (regular y súper) de 900 millones de litros, la adopción de un contenido de 10% de etanol en la mezcla gasolina/etanol implicaría en una demanda de 90 millones de litros de etanol anidro por año. En la actualidad, la capacidad de producción de etanol en el país es de 350 mil litros diarios (CATSA, 240 mil litros/día y Taboga, 120 mil litros/día, sin considerar la planta deshidratadora del terminal de Punta Morales)⁹. Asumiendo una zafra de 120 días estas unidades permitirían producir 43,2 millones de litros o 48% de la demanda total prevista.

A finales del 2003, buscando profundizar el conocimiento de las posibilidades del etanol en los países centroamericanos y a partir de una solicitud de los Directores de Hidrocarburos de Centro América, la CEPAL promovió una evaluación de las perspectivas de utilización de biocombustibles en Centro América, en sus aspectos generales, tecnológicos, económicos, institucionales y el estudio de las condiciones de oferta y demanda. Los fundamentos, detalles metodológicos y todos los resultados de esa evaluación están contenidos en el informe editado por esa institución¹⁰. Las conclusiones presentadas señalaran de forma clara que la situación de Centro América es potencialmente factible para la adopción a corto plazo del etanol como carburante, siendo Costa Rica uno de los países donde se reconoce esta potencialidad.

Iniciativa Energética Mesoamericana (Guatemala, 2005)

⁸ William Ulate (RECOPE), información personal

⁹ Cabe observar que según LAICA, en información personal, la capacidad costarricense de producción de etanol podría ser de 370 mil litros diarios.

¹⁰ CEPAL, **Perspectivas de un Programa de Biocombustibles en América Central**, (preparado por Horta Nogueira, L.A.), Proyecto CEPAL/GTZ Uso Sustentable de Hidrocarburos, México, 2004

Con la percepción más clara de las ventajas y oportunidades para el desarrollo del etanol en Costa Rica, nuevas cuestiones pasaran a ser objeto de debate, buscando establecer el modelo para la promoción de este biocombustible. En ese sentido han sido particularmente mencionadas y discutidas a temática de los precios y condiciones de promoción de las inversiones, asimismo la forma como el Estado podría/debería actuar para implementar de manera correcta esa tecnología. En ese contexto básicamente podrían establecerse dos paradigmas: a) intervencionista, con un fuerte rol de soporte del Estado y b) de mercado, adonde el Estado se limita a proporcionar la creación de un mercado para el etanol, mediante la adecuada especificación de los combustibles, dejando a los agentes del mercado de combustible el establecimiento de precios para su producto.

En cualquiera de los paradigmas subsiste la cuestión de la formación de los precios con referencia a los costos agroindustriales, márgenes y tributos, principal tema de fondo en el debate acerca de la introducción de etanol en la matriz energética de Costa Rica, de evidente interés para la sostenibilidad energética y ambiental, inclusive con impacto sobre las emisiones de gases de efecto invernadero. Bajo esos condicionantes y en el marco del Proyecto Aire Limpio en Costa Rica, desarrollado por los Ministerios de Obras Públicas y Transportes (MOPT), de Salud (MS) y de Ambiente y Energía (MINAE), con apoyo de la Cooperación Técnica Alemana (GTZ), se motivó a proponer el presente estudio sobre la factibilidad económica, en particular con referencia a formación de los precios del gasohol y las implicaciones ambientales de la introducción de mezclas gasolina-etanol o gasohol en Costa Rica.

Es necesario y relevante informar que los estudios de costos presentados a seguir se realizaran sobre una base limitada de informaciones presentadas por empresas y instituciones costarricenses, que en la medida posible buscaran indicar las condiciones típicas o prevalecientes, sin embargo, no se realizaran amplios y detallados estudios, particularmente sobre costos de producción de caña, con parametrización estadística conocida.

2. EVALUACIÓN DE LOS PRECIOS DE PARIDAD PARA EL ETANOL

Los precios de paridad o de indiferencia para el etanol combustible pueden ser definidos de forma diferente de acuerdo con el punto de vista que se considere. Para el productor, precios de paridad son los niveles de precios para los cuales es indiferente producir etanol u otro producto de la caña de azúcar, como azúcar o melaza. Así, el precio de paridad sería como un precio de oportunidad o precio de indiferencia a partir de lo cual resulta más motivador producir el biocombustible. Este precio de paridad es determinado con base en el contenido equivalente de azúcares del etanol y adoptando eficiencias (en masa) para los procesos industriales específicos de este producto. La Figura 1 sintetiza el concepto de los precios de paridad del etanol (PIEA), que deben ser comparados con los precios de venta del producto para verificar si existen condiciones por lo menos tan interesantes que los demás productos azucareros.

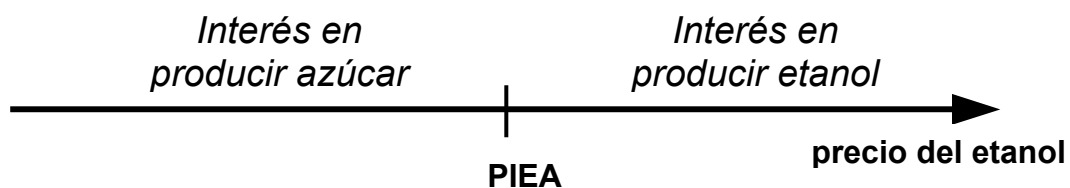


Figura 1. Competitividad de la producción de etanol

Para el comprador de combustibles, precios de paridad son los precios que hacen los costos operacionales iguales, utilizando o no etanol. Como se trata de discutir la factibilidad de la producción local de etanol para inserción en la matriz energética de Costa Rica, se asume en este estudio que las cuestiones referentes al consumidor son de segunda orden, debiendo se prestar mayor atención a las condiciones referentes al productor. De hecho, para los consumidores, de acuerdo con el marco legal vigente para el mercado de combustibles, la eventual adopción compulsoria de una mezcla etanol-gasolina (gasohol) no concede oportunidad de elección y la cuestión de precios (gasohol/gasolina) tiene relevancia esencialmente para lograr el deseable soporte social para el nuevo combustible.

Además, en Costa Rica el mercado de combustibles presenta precios regulados por el Gobierno, actuando la RECOPE como productora e importadora única de los derivados de petróleo y será también la compradora única de etanol nacional para uso en mezcla con gasolina. En ese sentido las cuestiones de regulación de precios presentan particular interés, de manera a garantizar que toda la sociedad y particularmente los consumidores no sean expuestos a precios indebidamente elevados.

2.1. Paridad de los precios para la industria azucarera

Para fundamentar el análisis de los precios de paridad es esencial presentar como se desarrolla el proceso productivo y cómo se puede producir alternativamente o complementariamente azúcar o etanol. La sacarosa de la caña puede ser convertida en azúcar blanca o negra, pero en el proceso productivo siempre una fracción del azúcar se “invierte”, degradándose en azúcares más sencillos, las hexosas, que constituyen las melazas y pueden dar origen a mostos fermentables y luego, a etanol, como es presentado en la Figura 2. En condiciones típicas, solamente utilizando las melazas inevitablemente resultantes de la producción de azúcar, entre 6 y 12 litros de etanol son producidos por tonelada métrica de caña procesada para producir azúcar, como mínimo.

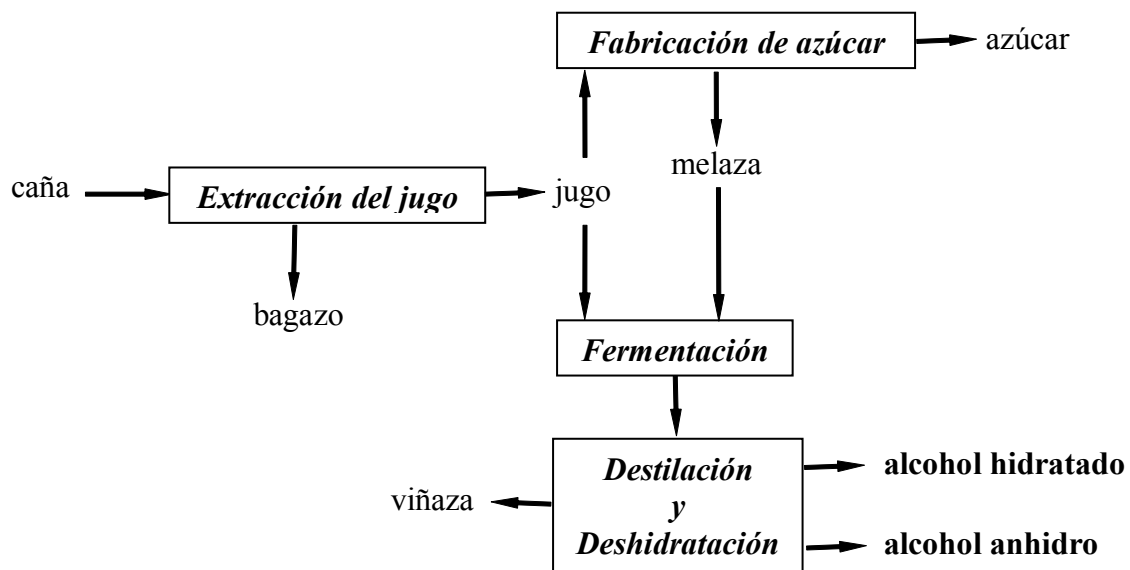
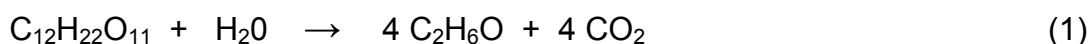


Figura 2. Procesos de producción de alcohol de caña de azúcar

Cuando existe interés en producir más etanol, se disminuye proporcionalmente la cantidad de sacarosa convertida en edulcorante y se desvía más jugo de caña hacia la producción de etanol, hasta la situación en que no se produce ningún azúcar, maximizando la cantidad de etanol. Para condiciones así y considerando el contexto de los ingenios costarricenses, a partir de una tonelada de caña con 13-14% de azúcar se estima obtener 72 a 78 litros de alcohol anidro¹¹. La variabilidad de la producción depende directamente del contenido total de azúcares (sacarosa y hexosas) de la melaza, usualmente denominados “azúcares reductores totales”, o ART. Según observaciones en Costa Rica, los ingenios de ese país mantienen grados aceptables de ART en la melaza empleada como materia prima para la producción de etanol, con promedios para todos ingenios entre 55,4% a 57,4%, para las últimas cuatro zafras¹².

Los precios de paridad para los productores de etanol, en función de los precios del azúcar y de las melazas, son estimados inicialmente sin conexión a los costos de producción, pues representan precios de oportunidad, frente a productos alternativos para otros productos de la misma materia prima. Se adoptó para el azúcar 96 grados de polarización y no se consideraran las pequeñas influencias de los distintos contenidos de sacarosa para los diferentes tipos de azúcar. Así, a partir de la ecuación de Gay-Lussac para la fermentación de azúcares a etanol,



se observa que 1 molécula-gramo de sacarosa (342 gramos) permite producir cuatro molécula-gramos de etanol (184 gramos). Considerando la densidad de ese biocombustible (792 kg/m³) se puede determinar que un kilogramo de sacarosa corresponde teóricamente a 0,679 litros de etanol anhidro y expresando de otra manera, se puede decir que teóricamente un litro de etanol requiere 1,473 kilogramos de sacarosa para ser producido. Incorporando el efecto de las eficiencias de fermentación y destilación, estimadas respectivamente como 90% y 98% (valores

¹¹ Castillo, A. O., **Producción de Alcohol en el Sector Azucarero Nacional**, Central Azucarera Tempisque S.A, Costa Rica, 2004

¹² Chaves Solera, M., **La Caña de Azúcar como materia prima para la Producción de Alcohol Carburante**, DIECA/LAICA, Costa Rica, 2004

típicos), se obtuvo la expresión para el Precio de Indiferencia del Etanol Anhidro, PIEA, como función del precio del azúcar, PAzu:

$$\text{PIEA (\$/litro)} = 1,67 * \text{PAzu (\$/kg)} \quad (2)$$

La Figura 3 ilustra la relación anterior. Como en los últimos años el azúcar ha sido comercializado en el mercado de excedentes a precios FOB variando entre 13 a 22 US\$ cents por kg, resulta un valor de indiferencia para el etanol entre 22 a 37 US\$ cents por litro.

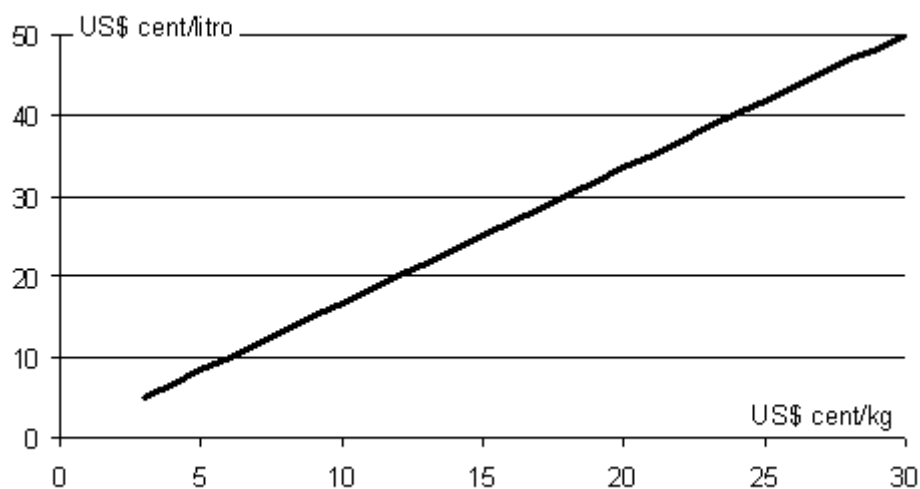


Figura 3. Precios de paridad del etanol frente a los precios del azúcar

Para el caso de las melazas, considerando un contenido de azúcares (ART) de 56%, las expresiones anteriores pueden ser adaptadas, definiéndose PMel como precio de la melaza.

$$\text{PIEA (\$/litro)} = 2,98 * \text{PMel (\$/kg)} \quad (3)$$

Para los precios informados para julio de 2005 en Costa Rica, repasados al consultor por el MINAE y LAICA, los precios de paridad del etanol están presentados en la Tabla 1 a seguir. Es importante remarcar que estos precios se refieren a una dada condición, en un mercado marcado por expresivas volatilidades y no incluyen las inversiones imprescindibles para viabilizar la producción de este biocombustible. No obstante, es oportuno observar la existencia de distintos niveles de precios, correspondientes

progresivamente a utilizar las melazas agotadas y competir con los mercados de productos azucareros, de excedentes en los mercados libres y de cuotas. Cuanto más caro un producto, naturalmente que más elevado es el precio de paridad.

Tabla 1. Precios de paridad del etanol en Costa Rica (zafra 2003/2004)

Referencia		Precio de paridad (US\$/litro)
Producto	Precio (US\$/kg)	
Melaza mercado externo FOB, excedente	0,044	0,131
Melaza mercado externo FOB, cuota americana	0,051	0,152
Azúcar mercado externo FOB, excedente	0,170	0,284
Azúcar mercado externo FOB, cuota americana	0,440	0,735

Los valores de precios asociados “cuotas” en esa tabla se refieren a los productos exportados en los términos preferenciales con los Estados Unidos y no representan un volumen muy significativo, que además tiende a reducirse, como también parecen disminuir el diferencial de precios observados entre los mercados preferentes e libres. En la zafra 2003/2004 la producción total de azúcar en Costa Rica fue de 8.009.080 bultos de 50 kg y la cuota americana fue 315.920 bultos¹³.

Los precios practicados para el azúcar difieren de manera sensible según los mercados considerados, debiendo ser evaluados por lo menos para dos casos: a) contratos preferentes con Estados Unidos, dentro de las cuotas establecidas por el Departamento de Agricultura americano, con precios determinados por los Contratos No. 14 de la Junta de Comercio de Nueva York (New York Board of Trade) y con Europa, en el marco de los acuerdos ACP (Africa, Caribe and Pacific) y SPS (Special Protocol Sugar), limitados por cuotas atribuidas a los países productores y b) contratos libres o de excedentes, que pueden seguir los precios de los Contratos No. 5 de la Bolsa de Londres o los Contratos No. 11 de la Bolsa de Nueva York.¹⁴

¹³ LAICA, **Informe Estadístico 2003-2004**, Liga Agrícola Industrial de la Caña de Azúcar, San José, 2005

¹⁴ Las cuotas son una política de importación, que permite a los países exportar cantidades limitadas de un producto sin tarifas o sujetos a tarifas relativamente baja, pero aplica a todas las otras importaciones de ese producto una tarifa más alta.

Considerando las particulares condiciones del mercado local y global de azúcar y melazas, los precios de paridad representan distintos escenarios de precios y productos. Sin embargo, en las condiciones de Costa Rica se considera que la producción de etanol deberá resultar apenas o mayormente de la utilización de las melazas, dejando la utilización de jugo directo para una etapa posterior. Así, la producción de etanol no implicaría inicialmente en incrementar el área sembrada en caña. De esta manera, las condiciones de paridad deben referirse principalmente a las melazas y las inversiones deben tomar en cuenta fundamentalmente la destilería y sus sistemas (fermentación, destilación y auxiliares), ya que todos los demás componentes de la cadena productiva son implementados y operados esencialmente para la fabricación de azúcar. En este caso, considerando condiciones típicas de inversión (10 millones de dólares para una destilería completa para 200 mil litros diarios, con zafras de 120 días de duración efectiva y amortización en cinco años), resulta un costo de producción de etanol (sin incluir el costo de la materia prima) entre 0,11 a 0,06 US\$/litro, respectivamente para condiciones financieras más estrictas (tasa de descuento de 12% y 5 años de amortización) o más suaves (tasa de descuento de 8% y 10 años de amortización). Estos valores muestran como es importante la adecuada disponibilidad de recursos para promover la producción de etanol en condiciones competitivas, sin embargo es relevante observar que en las condiciones de Costa Rica ya existe una significativa capacidad instalada de producción, como se indico anteriormente, capaz de atender alrededor de 48% de la demanda prevista (43,2 millones de litros de etanol por año), sin necesariamente implicar en inversiones adicionales.

Otra observación preliminar importante es sobre la volatilidad de los precios en el mercado azucarero y por ende, de los precios de paridad para el productor de etanol. Efectivamente los precios en este mercado jamás son estables, pasando por grandes variaciones a lo largo del tiempo, comprensibles por la dependencia climática de producción cañera y por el hecho que son muchos los países productores y relativamente baja la relación entre los excedentes comercializados y la demanda total, haciendo que variaciones no muy importantes en las disponibilidades impliquen en

variaciones significativas de precios. Además, están vigentes en muchos países mecanismos de protección y barreras arancelarias elevadas, que hacen que el precio interno del azúcar sea frecuentemente más elevado que el externo, y contratos preferenciales manejados con cuotas entre países productores, resultando precios internacionales diferenciados según sea el volumen y el destino considerado. A pesar de tal complejidad, siempre subsiste la necesidad de se conocer los precios frente a los cuales sería indiferente para un ingenio destinar sus azúcares para la producción de etanol.

La elevada variabilidad de los precios del etanol en el mercado americano es presentada en la Figura 4, con los precios “spot” en diferentes terminales de Estados Unidos. Estos precios, varían en función de los precios del azúcar y otros productos edulcorantes, en función de los precios de la gasolina y de los aditivos de la misma, como también en función de la demanda de cada un de los productos anteriores, o sea, difícilmente los precios de medio plazo pueden ser previstos con seguridad.

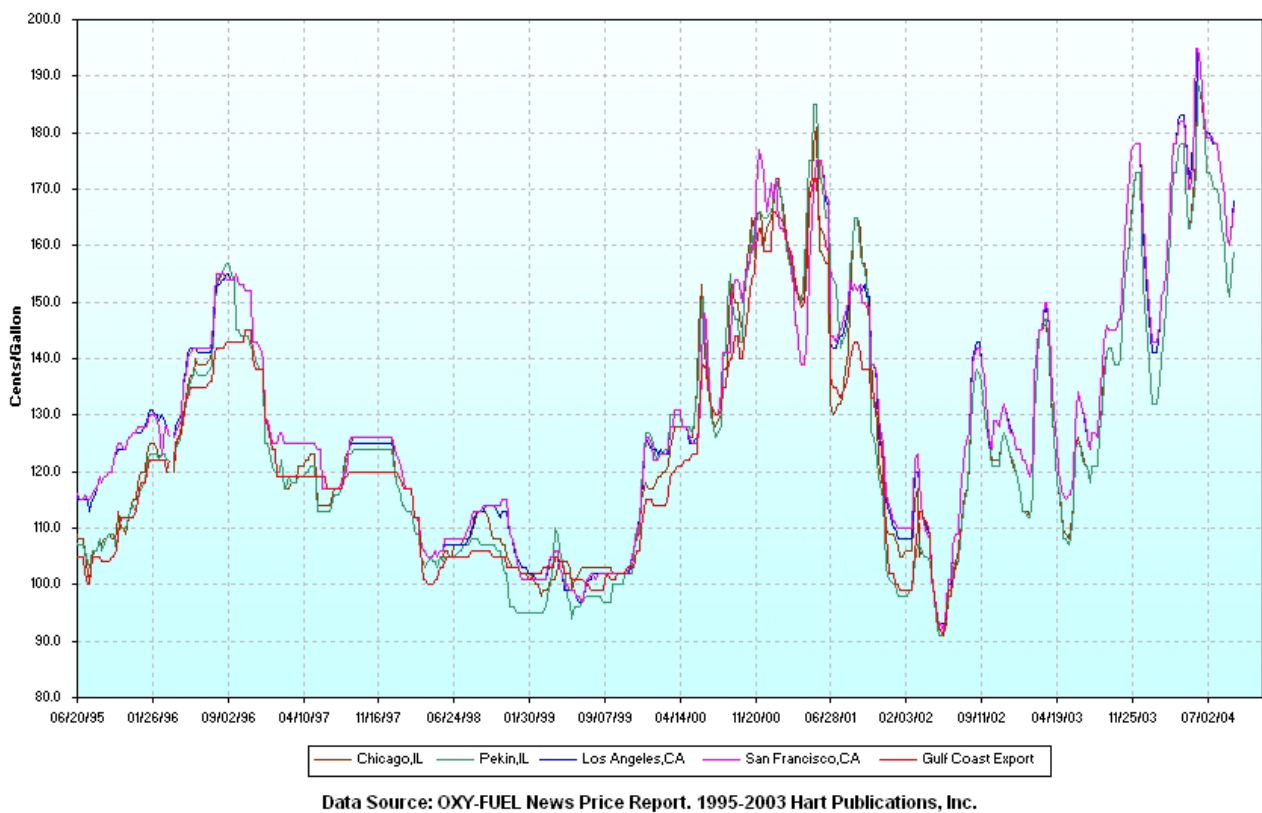


Figura 4. Precios “spot” en el mercado americano de etanol en la última década.

Los precios del mercado americano se refieren a un volumen significativo de producto, sin embargo son afectados por mecanismos proteccionistas muy importantes, que carga cada galón de etanol importado con US\$ 0,54, prácticamente impidiendo la importación de etanol de Brasil. Esta barrera no se aplica a etanol producido en Centro América y consecuentemente este precio, en bases FOB, puede ser considerado como un precio de oportunidad para el etanol fabricado en ingenios de Costa Rica. En la zafra 2003/2004, Costa Rica importó etanol hidratado a 0,212 US\$/litro, CIF Punta Morales, que fue procesado en el país y exportado como etanol anidro, a 0,381 US\$/litro, FOB Punta Morales¹⁵. Cabe resaltar esa importante diferencia de valores y consecuentes beneficios a Costa Rica, resultante del procesamiento de etanol hidratado importado a bajo precio para exportación como etanol anidro para el mercado de más alto precio. No obstante, una parte importante de etanol exportado por Costa Rica es producido con melazas nacionales, conforme indican las Figuras 6 y 7. A excepción de la zafra 96/97, en los años recientes el volumen exportado de etanol es algo más elevado que la importación. Con ese propósito, alrededor de 40% del total de melazas producidas en Costa Rica se ha utilizado en las destilerías, específicamente para etanol combustible. La decisión de procesar producto nacional o importado depende de las expectativas de la rentabilidad y de la visión prospectiva del negocio.

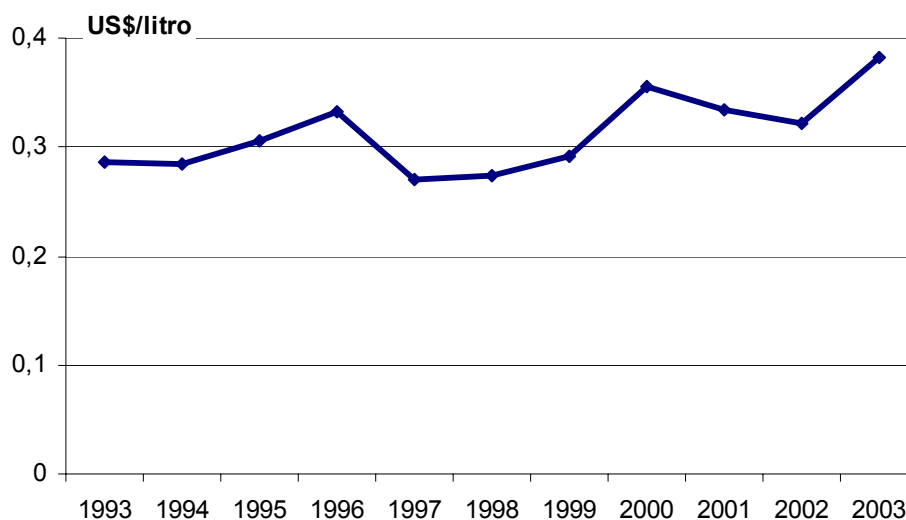


Figura 5. Precios del etanol exportado por Costa Rica, FOB Punta Morales

¹⁵ LAICA, **Informe Estadístico 2003-2004**, Liga Agrícola Industrial de la Caña de Azúcar, San José, 2005

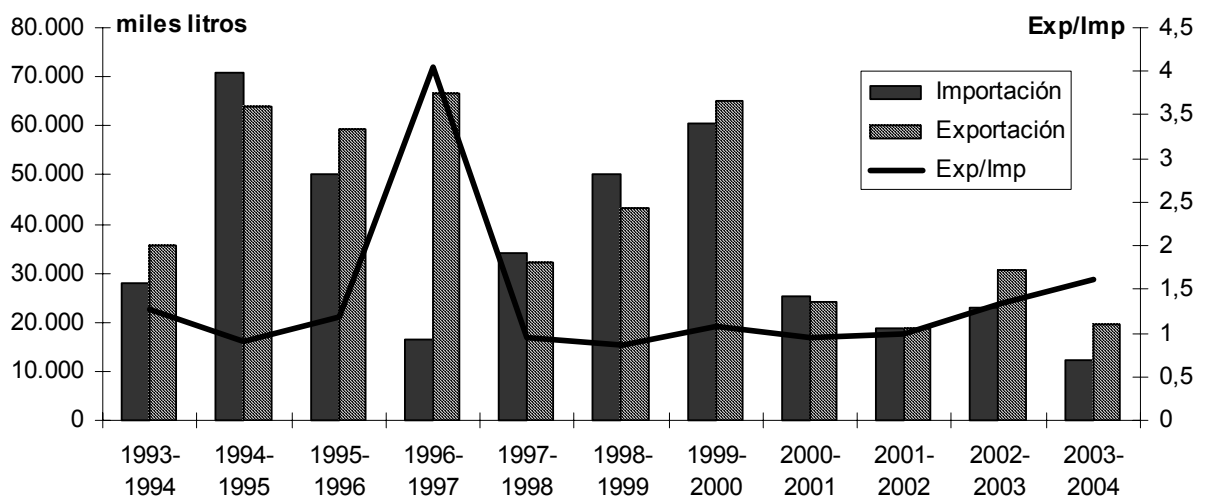


Figura 6. Importación e exportación de etanol en Costa Rica¹⁶

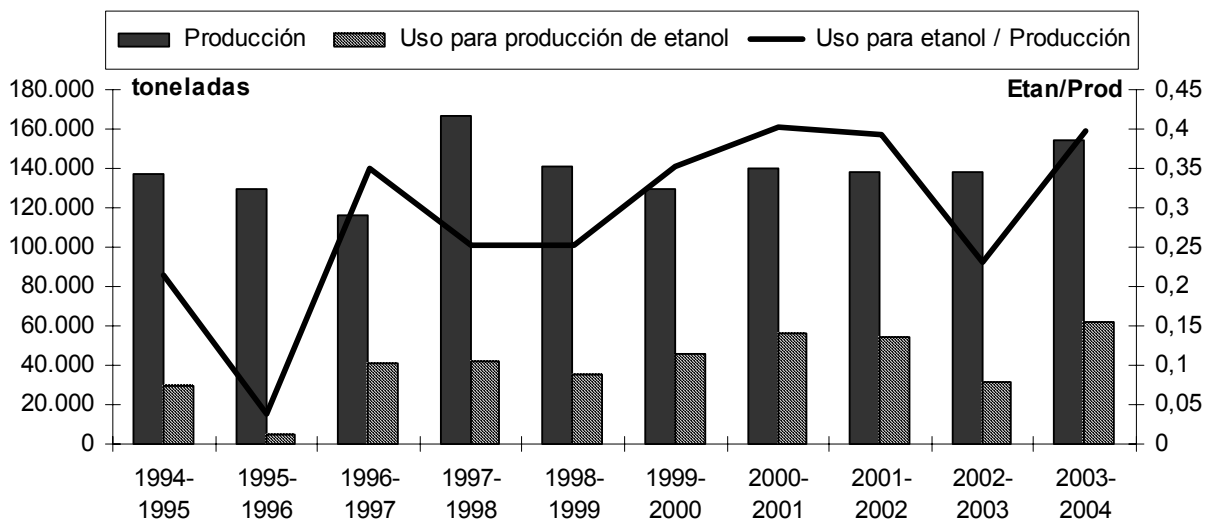


Figura 7. Producción total y cantidad de melazas utilizada para producir etanol¹⁶

Sin tener en cuenta las perspectivas estratégicas de la industria cañera, frente a los actuales precios del azúcar, la producción de etanol de caña de azúcar es marginalmente atractiva, debiendo ser cotejado los precios del biocombustible con los precios del azúcar en los diferentes mercados, como se presenta más adelante. Como una relevante conclusión intermedia, la evaluación de los costos de indiferencia etanol/azúcar y los precios americanos del etanol, muestra que hay una perspectiva marginal, variable y volátil de ganancia, que eventualmente puede superar las

¹⁶ LAICA, Informe Estadístico 2003-2004, Liga Agrícola Industrial de la Caña de Azúcar, San José, 2005

percepciones de riesgos y tornar atractiva la producción local de etanol, bajo un concepto de libre mercado y sin ningún incentivo. Un dato interesante en ese contexto es indicado por los precios practicados en la exportación de etanol por Costa Rica, conforme lo presentado en la Figura 5¹⁷.

2.2. Paridad de los precios frente a los combustibles

Las características del etanol como combustible, que permiten su utilización en motores de ciclo Otto puro o en mezclas con gasolina, determinan los precios de paridad para ese biocombustible frente a los derivados de petróleo. Al compararse el poder calorífico volumétrico del etanol (21.146 kcal/litro) con el correspondiente para la gasolina (32.250 kcal/litro), se observa que un litro de etanol presenta 65% del contenido energético de la gasolina y en tales condiciones, para igualdad de costos energéticos debería costar 35% menos que la gasolina. Considerando solamente este aspecto, una mezcla de 10% de etanol en la gasolina llevaría a un incremento de consumo de aproximadamente 3,5%, en comparación al consumo con gasolina pura. Sin embargo, hay otras importantes diferencias entre esos combustibles, que deben ser evaluados en términos de energía neta efectivamente disponible para el motor de combustión cuando empleando cada uno de los combustibles. Efectivamente, el contenido de energía bruta en un litro de etanol es bastante inferior al de la gasolina, sin embargo, en términos de energía neta, que realmente interesa para el consumidor, es bastante semejante, como se expone a seguir.

El etanol presenta una elevada relación hidrógeno/carbón en su composición, una relación estequiométrica aire/combustible significativamente menor que la gasolina (9 contra 14,5) y consecuentemente produce un más grande volumen de gases por unidad energética. Por eso, la presión media en los cilindros se incrementa, permitiendo un torque superior, la realización de más trabajo por ciclo del pistón y una eficiencia algo más elevada. Además, el calor de vaporización del etanol es 2,3 veces más alto que para la gasolina, enfriando relativamente más la mezcla aire/combustible admitida al cilindro, incrementando su densidad y reforzando el efecto anterior. De esa

¹⁷ LAICA, **Informe Estadístico 2003-2004**, Liga Agrícola Industrial de la Caña de Azúcar, San José, 2005

manera, las mezclas etanol/gasolina con hasta 10% de etanol promueven una elevación de eficiencia de 1 a 2% en los motores, que producen más trabajo por unidad de energía del combustible¹⁸.

Naturalmente que los efectos comentados en el análisis anterior son más o menos potencializados por el diseño del motor y condiciones de utilización, pero muchas pruebas conducidas en diversas condiciones confirman que la mezcla de gasolina etanol casi no afecta el consumo y el desempeño de los vehículos. Una evaluación reciente, realizada por la empresa petrolera ECOPETROL para fundamentar la adopción de gasohol en Colombia, llevó a los resultados de la tabla abajo, que indican como es típicamente positivo el efecto sobre la potencia y marginal el impacto sobre el consumo, debido a presencia de bajos contenidos de etanol en la gasolina¹⁹.

Tabla 2. Impacto del uso de gasohol (10% de etanol) comparado a gasolina pura

Fabricante	Modelo	Potencia	Consumo
Fiat	Allegro 1.3i	9,60%	4,40%
Fiat	Allegro 1.6i	12,30%	0,90%
GM	Corsa 1.4i	15,90%	6,70%
Mazda	626 L (con carburador)	15,40%	3,30%
Mazda	626 GLX 2.0i	4,50%	-1,80%
Mazda	323NE 1.3i	3,70%	- 4,,2%
Suzuki	Gran Vitara	-1,80%	3,20%
Suzuki	Alto 1.0i	1,50%	-2,70%

Fuente: ECOPETROL, 2004

Sumando todos los efectos, resulta que la adicción de etanol, combustible más pobre energéticamente pero de calidad para conversión térmica más alta que la gasolina, prácticamente no influye en el consumo de los motores y luego el etanol presenta un valor de uso igual al de la gasolina. Por eso, aunque los precios puedan ser afectados de modo diferenciado por los tributos, siempre se podrá efectuar una comparación entre los precios de la gasolina y el gasohol de forma directa, en base volumétrica. En

¹⁸ 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

este sentido, sin considerar los tributos y tasas, para una distribuidora que debería mezclar el etanol y gasolina, el valor de paridad del etanol debe ser igual al de la propia gasolina, o sea, podría costar entre 0,477 a 0,503 US\$/litro, respectivamente que son los precios pagados en julio de 2005 por las gasolinas súper y regular en las refinerías o terminales de importación en Costa Rica. Para los consumidores vale el mismo raciocinio: el etanol en el gasohol vale como la gasolina pura, resulta el mismo efecto.

En otras palabras y como una conclusión muy importante: independientemente del poder calorífico, el litro de etanol anidro vale, en términos de energía útil, lo mismo que un litro de gasolina, cuando en mezclas hasta 10% en el derivado de petróleo. Resultados preliminares de pruebas piloto realizadas en Costa Rica, en 30 vehículos, corroboran esa conclusión, se ha observado que en general la mezcla con etanol mejoró el consumo de combustible por kilómetro transitado.

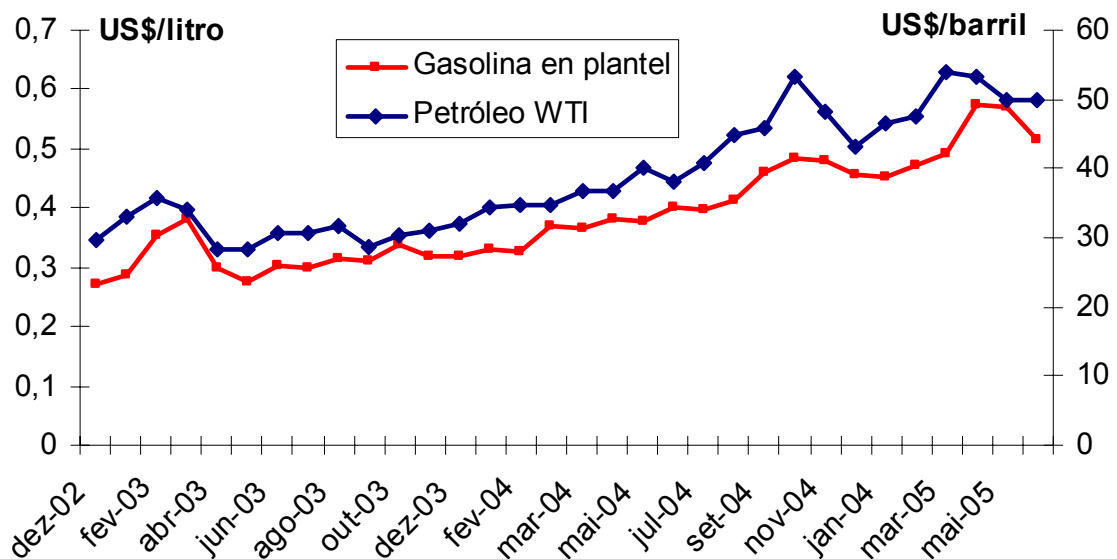


Figura 8. Precios del petróleo y de la gasolina súper en plantel en Costa Rica

De manera análoga al presentado para el precio de paridad en la producción de etanol, podrían ser agregados los costos asociados a las inversiones necesarias para la producción de la mezcla en las bases de distribución, no obstante estos costos de capital son relativamente pequeños y pueden ser desconsiderados. Seguramente la volatilidad de los precios de la gasolina introduce mayor incertidumbre en las

¹⁹ Ximena, C. (ECOPETROL), **Programa de Alcohol Carburante en Colombia**, ASOCAÑA, 2004

perspectivas de adopción del etanol que la contabilización no exhaustiva de los costos para evaluación de los precios de paridad. En la Figura 8 se presenta la evolución reciente de los precios del petróleo (WTI) y de la gasolina súper en plantel en Costa Rica, que en los últimos años ha variado entre 0,27 a 0,57 US\$/litro²⁰.

Una manera alternativa y bastante razonable para evaluar los precios de paridad del etanol es considerando como referencia el producto que el biocombustible busca sustituir, el MTBE. En este sentido, cabe notar que los oxigenantes son utilizados en diferentes contenidos para mejorar las características de la gasolina, principalmente el octanaje y reducir las emisiones, usualmente se definiendo un contenido mínimo de oxígeno en la mezcla de acuerdo con pautas ambientales. En Costa Rica se especifica un contenido de 2,8% de oxígeno (en peso) en la gasolina, que puede ser obtenido con 8% de etanol anidro como componente oxigenante. Como la molécula de etanol contiene en peso casi el doble de oxígeno que el MTBE, menores cantidades de etanol son necesarias para sustituir una determinada cantidad de MTBE y garantizar que el contenido de oxígeno de la gasolina esté atendido. El precio internacional del MTBE en 2005 osciló entre 65 a 70 US\$/barril y puesto en Costa Rica, vale aproximadamente unos 3 US\$/barril adicionales, o sea, entre 0,428 a 0,459 US\$/litro, un valor muy próximo al precio ex-tributos de la gasolina.

2.3. Síntesis comparativa

La figura abajo sintetiza los precios de paridad presentados en los párrafos anteriores, para productores y para las distribuidoras de combustibles, caso equivalente a los consumidores.

²⁰ Datos de RECOPE, 2005.

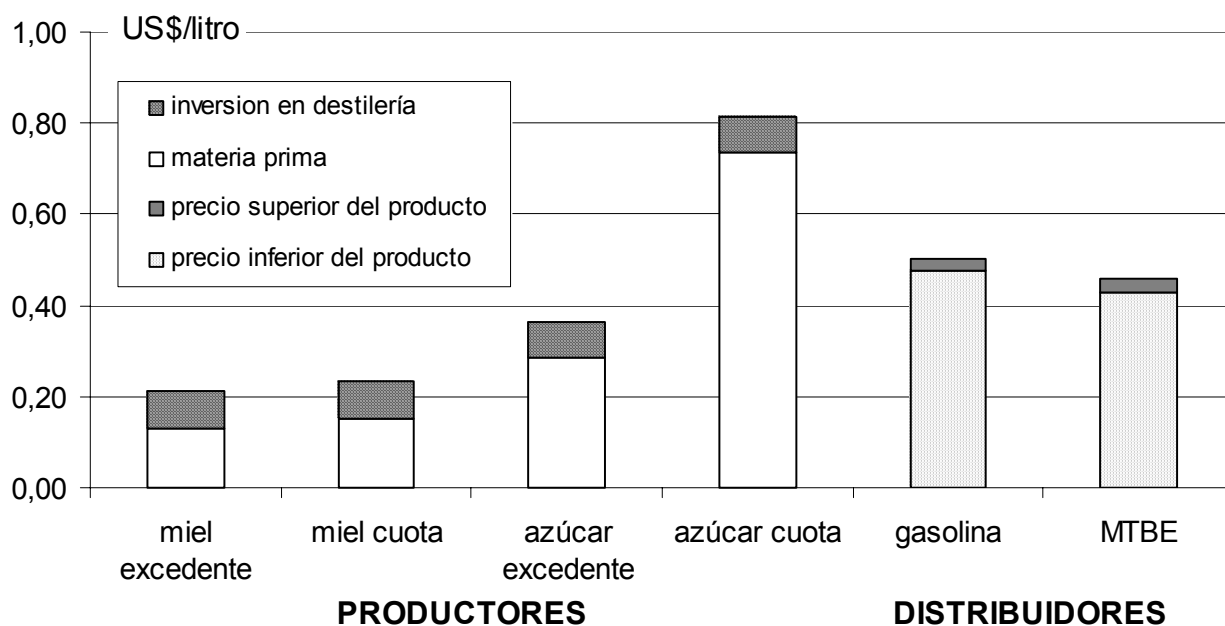


Figura 9. Síntesis de los precios de paridad para productores de etanol y distribuidores de combustibles, evaluados para Costa Rica en mediados de 2005

Para los productores de etanol, los precios de paridad son presentados para cuatro casos de productos azucareros, incluyendo o no los costos de capacidad estimados en 0,08 US\$/litro, un promedio de los valores presentados anteriormente. Así, en el caso de utilizar la capacidad instalada ya disponible en Costa Rica, 350 mil litros diarios (CATSA, 240 mil litros/día y Taboga, 120 mil litros/día, sin considerar la planta deshidratadora del terminal de Punta Morales) no se justifica incluir los costos para implementar la capacidad de producción y los costos de oportunidad se refieren solo a productos. Por otra parte, cuando se necesita instalar destilerías, esa parcela debe ser agregada. Los precios de paridad del etanol frente a los derivados de petróleo son presentados entre límites inferiores y superiores observados en el mercado, respectivamente los precios de la gasolina regular y súper y los extremos de precio del MTBE, conforme valores presentados en el tópico anterior.

Como se puede observar de esa figura, en las condiciones vigentes y a excepción de los precios de paridad del etanol frente al azúcar exportado en condiciones preferentes (cuota americana), hay un razonable espacio de negociación entre los precios de paridad para los productores de biocombustible y para las compañías distribuidoras,

confirmando que más allá de cualquier consideración de orden ambiental, estratégica, o energética, hay una clara y expresiva conveniencia económica para la introducción de etanol en la matriz energética de Costa Rica.

En dos situaciones límite, se puede ejemplificar las potencialidades del etanol en el cuadro actual y para uso en mezclas con la gasolina. En primer caso, en la hipótesis de que los ingenios no comercialicen miel y pasen a producir etanol para ser vendido a precios de gasolina, los ingresos correspondientes deben doblar para la agroindustria, sin impacto para los consumidores. En el otro extremo, caso las distribuidoras, también sin ninguna implicación para los consumidores, tengan el precio del etanol determinado en paridad con la miel producida en los ingenios como parte de la gasolina ofertada, tendrían una economía de costos de producto en casi 50% del volumen de etanol vendido como gasolina en el gasohol. Estos dos casos dan una dimensión de la renta que puede ser generada con la producción interna de un combustible a precios competitivos.

3. ESTIMACIONES DE LOS COSTOS DE PRODUCCIÓN DEL ETANOL

La determinación sistemática de los costos en la agroindustria cañera, que incluyen básicamente los costos de producción de la caña de azúcar y los costos de procesamiento de esa materia prima para producir el etanol, no es una tarea sencilla, debido a la variabilidad de situaciones (tecnologías y rutas de producción, nivel de integración con la producción azucarera), la amplitud de actividades agrícolas y industriales y sobre todo por la persistencia de procesos de formación de precios basados en costos suministrados por el propio mercado, que siempre tiende a elevar de forma importante los precios informados.

Los problemas en las estimaciones de costos para el etanol no se radican solo en la asimetría de informaciones y como también y fundamentalmente debido a simultaneidad de productos compartiendo materias primas y procesos comunes en la industria cañera. Además de etanol, los ingenios usualmente producen azúcar y energía eléctrica, imponiendo adoptar alguna regla arbitraria de distribución de costos. En estas condiciones los valores efectivamente practicados son difícilmente determinables exógenamente, sin embargo en el presente estudio se trató de buscar indicadores que permitiesen estimar los costos de la caña y de la producción del etanol carburante.

Los costos agrícolas de producción de la caña, presentados detalladamente en la Tabla 3 para siembra y manejo de una hectárea, suministrados por la Dirección de Investigación y Extensión en Caña de Azúcar (DIECA), ente vinculado a LAICA y se refieren a condiciones promedio observadas en la zona de Guanacaste, una de las principales regiones productoras de Costa Rica. No se incluyeron los costos financieros y el alquiler de la tierra. La tasa de cambio adoptada para la conversión de los valores presentados fue de 476,23 colones por dólar americano. A partir de estos costos y considerando un ciclo de cinco cortes sucesivos al establecimiento (un corte de la caña planta y cuatro cortes de caña soca²¹), antes de la reforma del cañaveral, con una

²¹ La primera cosecha de caña se llama "cana planta", las cosechas sucesivas se denominan "cana soca".

productividad promedio de 85 toneladas métricas por hectárea, resulta un costo de la caña de azúcar de 17,35 US\$ por tonelada. En caso de que se adopte un ciclo productivo de cuatro cortes sucesivos, caso menos frecuente, el costo agrícola se incrementa de forma importante, llegando a 21,68 US\$ por tonelada. Estos resultados pueden ser considerados elevados en comparación a niveles de precios de la caña en Brasil, adonde se observan precios de la caña alrededor de la mitad de estos valores, aproximadamente 10 US\$ por tonelada.

Tabla 3. Costos unitarios de producción de caña estimados para Costa Rica

Etapa productiva	Costo unitario (US\$/ha)	
Establecimiento del cañaveral		1186,91
preparación del terreno	627,01	
semilla (corta, alza y acarreo)	343,09	
Siembra	146,99	
Fertilización	69,82	
Primer corte		1219,56
control de malezas	127,29	
Aporca	25,20	
Fertilización	192,13	
control de plagas	42,16	
riego y drenaje	111,41	
mantenimiento finca	54,96	
Cosecha	666,40	
Segundo e otros cortes		1241,55
Remanga	21,99	
Fertilización	192,13	
control de malezas	127,29	
control de plagas	42,16	
riego y drenaje	111,41	
Aporca	25,20	
mantenimiento finca	54,96	
Cosecha	666,40	

Fuente: DIECA/LAICA, 2005

Asumiendo los costos estimados para la caña con cinco cortes (17,35 US\$ por tonelada) y una producción de etanol directo de jugo de caña, cuando la materia prima

es totalmente destinada a producción de biocombustible, con productividades de 85 toneladas de caña por ha y 75 litros de etanol por tonelada de caña, resulta que el costo de la materia prima (caña de azúcar) en el etanol corresponde a 0,231 US\$/litro. Considerando la situación observada en Brasil, adonde los costos de la materia prima corresponden a 40% de los costos totales del etanol²², resulta para ese biocombustible en Costa Rica un costo estimado de aproximadamente 0,577 US\$/litro, siempre bajo los supuestos indicados. Ciertamente que se trata de un costo bastante elevado, más que el doble de los costos identificados en Brasil, indicando en un sentido la necesidad de se comprender por qué los costos son así elevados y en otra dirección apuntando el amplio espacio para perfeccionamiento de la agroindustria cañera en Costa Rica en el sentido de reducir sus costos y ampliar su eficiencia. Sin embargo, se debe observar que, frente a costos elevados de producción de caña, se puede esperar una participación más alta de la materia prima en el costo total. Como un ejemplo, en caso que la fracción de la materia prima corresponda a 50%, el costo del etanol podría ser aproximadamente 0,462 US\$/litro, que aún puede ser considerado elevado pero ya resulta inferior a los actuales precios internacionales de la gasolina.

Una alternativa a abordaje anterior para estimar el costo del etanol sería agregar al costo unitario de la materia prima, estimado arriba como 0,231 US\$/litro, los costos de procesamiento en extracción y destilería, evaluados en Brasil como aproximadamente 0,075 US\$/litro, resultando un costo total de aproximadamente 0,306 US\$/litro, que es generalmente considerado irrealista por los productores de Costa Rica.

Además, es esencial remarcar que las evaluaciones anteriores asumen la producción de etanol directamente a partir de la caña, rota productiva todavía no considerada para Costa Rica, adonde se pretende mayormente utilizar las mieles residuales de proceso, complementada con jugo de caña, contexto adonde se logran expresivas economías de escala, una importante flexibilidad productiva y consecuentemente costos más bajos.

Es oportuno en los aspectos de costo, agregar dos comentarios de un estudioso de la industria azucarera centroamericana, Chaves Solera. Al analizar la cuestión de los

²² Macedo, I.C., Horta Nogueira, L.A., **Biocombustíveis**, Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República, Brasília, 2005

precios del alcohol para su introducción en el mercado de combustibles de Costa Rica, reforzando la dificultad de conocer valores consistentes de costo para el etanol, dijo que “este resulta ser uno de los puntos más álgidos de cualquier iniciativa de esta naturaleza que se pretenda desarrollar, la cual no es sin embargo exclusiva del país, puesto que otras naciones donde se han adoptado programas con biocombustibles similares también han surgido diferencia entre las partes. La dificultad surge fundamentalmente porque en la definición del precio a pagar por el etanol intermedian varios actores (públicos y privados, institucionales e individuales), y están involucrados además asuntos de índole económica, social, técnica y de infraestructura, que son determinantes”²³. En un reciente trabajo, este mismo investigador presentó una revisión de costos de producción de etanol de caña de azúcar, que muestra una gran dispersión entre los países:

“Según Echeverri (2003), en Colombia los costos de producción del alcohol obtenidos a partir de la caña de azúcar se estiman entre 0,27 y 0,30 US\$/litro. Bonomi (2003) reporta para el caso de Brasil, costos de producción entre 0,20 y 0,19 US\$/litro. Cala (2003) señala que en el caso de Colombia, se estiman costos de producción variando entre US\$ 0,24 y 0,30 US\$/litro. En otros países se reportan (LMC, 2003) como promedio para el periodo 1998-2001, costos de producción muy variables para el alcohol, como acontece en Australia (0,145 US\$/litro), Brasil (0,222 US\$/litro), Francia (0,386 US\$/litro), India (0,261 US\$/litro), México (0,185 US\$/litro), Tailandia (0,152 US\$/litro), USA (0,231 a 0,286 US\$/litro)”²⁴.

Vale observar que todos esos valores son significativamente inferiores a los estimados para Costa Rica anteriormente, que estarían más próximos de los niveles de costo estimados para el etanol de maíz en EUA, alrededor de 0,43 US\$/litro²⁵.

En Costa Rica se ha estudiado con interés la potencialidad del sorgo como materia prima para fabricación de etanol, cultivo que podría utilizar tierras complementares a la caña y alargar el periodo productivo de los ingenios, además de ofrecer una alternativa de siembra para las actuales parcelas dedicadas a producción de arroz y que han

²³ Chaves Solera, M., citación en el XV Congreso de ATACORI, Asociación de Técnicos Azucareros de Costa Rica, San José, septiembre de 2003

²⁴ Chaves Solera, M., **La Caña de Azúcar como materia prima para la Producción de Alcohol Carburante**, DIECA/LAICA, Costa Rica, 2004 (versión resumida)

presentado una merma en la rentabilidad²⁶. Estudios específicos han sido desarrollados sobre las tecnologías industriales, procurando explorar las alternativas de proceso y determinar los parámetros de diseño y operación²⁷. Evaluaciones detalladas de costo realizadas las condiciones de Costa Rica, incluyendo costos financieros, administrativos y alquiler de la tierra, apuntan que, para productividades entre 4 a 6 toneladas por hectárea, el costo sería respectivamente entre 0,183 a 0,158 US\$/kg, algo superiores a los precios internacionales. Asumiendo una productividad de 320 litros de etanol por tonelada de sorgo y considerando solamente el costo de la materia prima, los costos del etanol de sorgo estarían entre 0,572 a 0,493 US\$/litro, significativamente más caro que para la caña de azúcar. Eventualmente, posibilidades de integración productiva y diversificación podrán mejorar estos indicadores, que en su nivel actual no parecen recomendar la utilización del sorgo como materia prima para producir etanol.

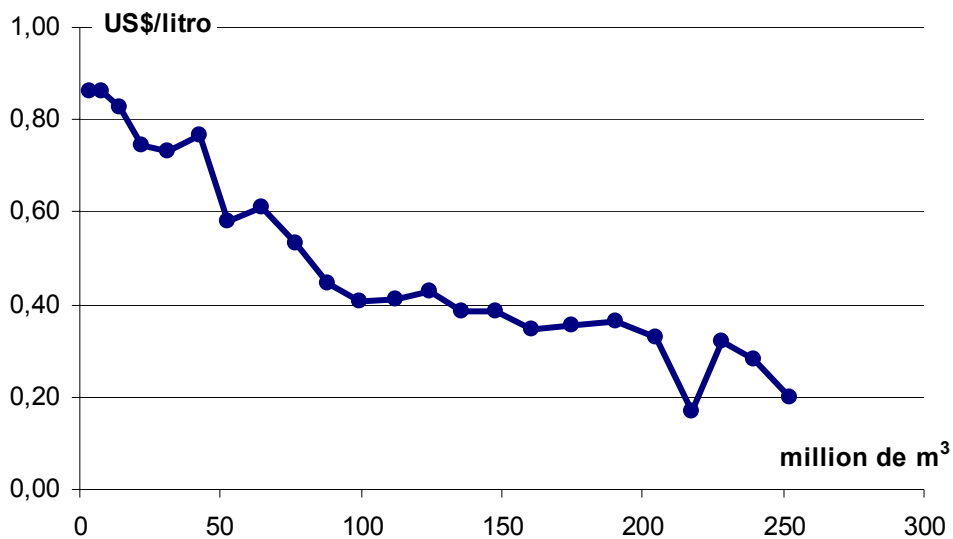


Figura 10. Evolución de los precios al productor de etanol (CIF) y la producción acumulada en Brasil, para el período 1980 a 2002.

Como una indicación del proceso de aprendizaje y la consecuente reducción de los costos en la agroindustrial del etanol en Brasil, la Figura 10 presenta como los precios

²⁵ Fulton, L. e Hodges, A.; **Biofuels for Transport: An International Perspective**; IEA / EET, 2004

²⁶ Material informativo de la Cooperativa de Productores Agroindustriales de Biocarburantes R.L.,

²⁷ Cubero Alpizar, M., **Diseño Conceptual de la Producción de Etanol utilizando Sorgo (*Sorghum bicolor*)**, Proyecto de Graduación, Escuela de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, Universidad de Costa Rica, 2005

pagados a los productores brasileños de etanol fueran bajando en las últimas dos décadas, mientras se incrementaba la producción acumulada de etanol en el país²⁸.

Evaluando este período y la reducción de costos observada en Brasil, un experto brasileño apunta como razones básicas los incrementos de 33% en la producción de caña por ha, elevación de 8% en el contenido de azúcares de la caña y incrementos de 14% en la conversión de sucrosa para etanol²⁹.

Finalmente, al mencionar los costos del etanol es preciso reconocer que los estudios y datos disponibles consideran solamente los costos económicos directos, sin incluir aspectos más amplios, como pueden ser los costos sociales y ambientales, que constituyen típicamente las externalidades positivas y negativas de este vector energético. Adelante los temas ambientales serán discutidos y cuantificados, sin embargo aún permanece como tarea por realizar una análisis económica amplia y incluyente del etanol combustible, que coloque en un mismo marco costos directos e indirectos, desagregados en sus impactos sobre los agentes económicos, gobierno y sociedad.

²⁸ Goldemberg, J., "The Evolution of Ethanol Costs in Brazil", **Energy Policy**, vol. 24, 1996 (actualizado)

²⁹ Macedo, I. C., Commercial Perspectives of Bioalcohol in Brazil, 1st. **World Conference on Biomass for Energy and Industry**, Sevilla, 2000

4. EVALUACIÓN DE LA FACTIBILIDAD DEL ETANOL COMO OXIGENANTE Y NECESIDAD DE SUBSIDIOS

Como ya se ha indicado anteriormente, para desarrollar el uso del etanol como combustible en mezclas con la gasolina en Costa Rica se impone tratar adecuadamente aspectos técnicos, económicos y ambientales. En el estudio realizado en 2003/2004 se trató de las cuestiones técnicas³⁰, que pueden ser consideradas superadas y considerando el escenario reciente, en los párrafos anteriores, se abordó las cuestiones económicas inmediatas, resultando un contexto favorable a adopción de etanol. No obstante, existen algunos puntos que deben ser comentados para fundamentar una estrategia consistente visando la progresiva introducción del etanol, en un marco de efectiva sostenibilidad. A continuación se discute la garantía del abastecimiento de etanol, se efectúan consideraciones sobre importaciones, se presenta una visión de los mecanismos de soporte a agroindustria cañera en el marco de la introducción del etanol y se concluye con una breve discusión sobre los modelos de formación de precios para el etanol.

4.1. Mecanismos para garantizar el suministro de etanol por la industria local y evitar riesgos de desabastecimiento

Aunque el etanol como un componente mejorador de la calidad de la gasolina se justifique por sí mismo, por sus ventajas ambientales, de desempeño de los motores y por su precio competitivo, tales ventajas se potencializan y se consolidan con la producción de estos biocombustibles por la industria local, generando renta y oportunidades de trabajo para el país. En este sentido, es bastante deseable que la industria local sea estimulada a producir etanol con eficiencia y competitividad, lo que seguramente redundará en beneficios también para otros productos de esa industria, como el azúcar y multiplicará las ventajas hacia otros sectores socio-económicos. Sin embargo, reconocer la importancia de que el etanol sea introducido en la matriz energética costarricense y buscar que ese combustible sea producido en ingenios del

³⁰ CEPAL, **Perspectivas de un Programa de Biocombustibles en América Central**, (preparado por Horta Nogueira, L.A.), Proyecto CEPAL/GTZ Uso Sustentable de Hidrocarburos, México, 2004

país no implica que se necesiten de mecanismos para garantizar el suministro y que existan riesgos de desabastecimiento. Los principales argumentos que fundamentan esta visión son:

1. Actualmente, cuando depende mayormente de combustibles importados, sea como productos prontos para consumo o crudo para refinar, Costa Rica no dispone de un sistema totalmente seguro de mitigación de riesgos de desabastecimiento de combustibles. Entre otros motivos, es antieconómico o poco justificable el mantenimiento de reservas estratégicas. Se espera que al consumir un biocombustible nacional, los costarricenses obtengan ventajas ambientales, económicas y promuevan la dinamización de su agroindustria, reduciendo las importaciones, pero difícilmente se podría asegurar el abastecimiento interno, de la misma forma que RECOPE no puede de manera absoluta afirmar que garantiza la provisión de combustibles al país.
2. La adopción de etanol como oxigenante en la gasolina es para sustituir el MTBE (producto con riesgos ambientales y crecientemente prohibido en todo el mundo), en contenidos que podrán variar según las disponibilidades y interés del país. En una eventualidad de no disponer de etanol nacional, se podría importar el producto (tema discutido en el próximo tópico) o reevaluar la especificación de las gasolinas en Costa Rica. Muy probablemente situaciones de desabastecimiento de etanol, si ocurrieren, deberán ser episódicas y transitorias. El etanol es un producto renovable y posible de ser producido en grandes cantidades en el país, no existiendo motivos para acreditar que podrá faltar para Costa Rica. Si faltar, no es un problema grave o insuperable.
3. Una posibilidad real y que eventualmente estará asociada a un riesgo de desabastecimiento de etanol combustible para los costarricenses se prenda a configuraciones particulares de los mercados internacionales, con altos precios de los productos azucareros y del etanol en los mercados importadores o bajos precios de la gasolina, imponiendo pérdidas reales o potenciales a los productores. Situaciones así prácticamente no han ocurrido en los últimos años, tampoco son previstas en mediano plazo, aún que puedan ocurrir. Además, y muy importante de tener en cuenta, siempre que

ocurra una situación de falta potencial de etanol en el mercado interno por una fuerte ventaja de los precios internacionales de los productos de la caña debe significar que el país está recibiendo más divisas por sus productos, correspondiendo a recursos que podrán significar a importación del etanol o otros combustibles con ventajas. En ese sentido es interesante mencionar que Brasil, en función de los altos precios del azúcar observados en fines de los años ochenta, importó volúmenes importantes de etanol de Europa y África entre 1990 y 1996, para cubrir más de 10% de su demanda interna, con economía de divisas y ventajas económicas para el país.

En síntesis, aunque no se pueda afirmar que Costa Rica tendrá plena seguridad de suministro al adoptar un combustible producido localmente, seguramente deberá ampliar su nivel de autoabastecimiento y reducir su fuerte dependencia energética. El etanol crecientemente es comercializado internacionalmente y frente a eventualidades de falta de producto (inclusive por interés del país), hay siempre la posibilidad de importación, actividad suficientemente conocida en el país, como se comenta a seguir.

4.2. Consideraciones sobre importaciones de etanol

El etanol combustible para uso vehicular puro o en mezclas con gasolina es un hecho en muchos países. La Figura 11 presenta como la demanda mundial de ese combustible ha evolucionado y como las perspectivas son prometedoras, especialmente en los países desarrollados. Para atender la demanda actual de etanol, se estima que el comercio internacional de etanol ya sea superior a 2 mil millones de dólares³¹.

Con el crecimiento de la comercialización internacional de etanol, se consolida la formación de precios de forma independiente y surgen los mercados futuros, como existen para otros combustibles, con informaciones regulares sobre precios de referencia, precios de paridad y stocks de los diferentes productos³². Bajo tales condiciones, la eventual importación de etanol por Costa Rica para atender su

³¹ Berg, C., **World Fuel Ethanol: Analysis and Outlook**, F.O. Licht, Kent, 2004

³² Vease por ejemplo: **Fuel Ethanol & Biodiesel Report** (Pricing, News and Analysis for Buying and Supplying Ethanol-Blended Fuel and Biodiesel), OPIS (Oil Price Information Service), Rockville

demanda interna no debe ser considerada como un proceso especial o distinto de lo practicado usualmente para el suministro de su mercado de combustibles.

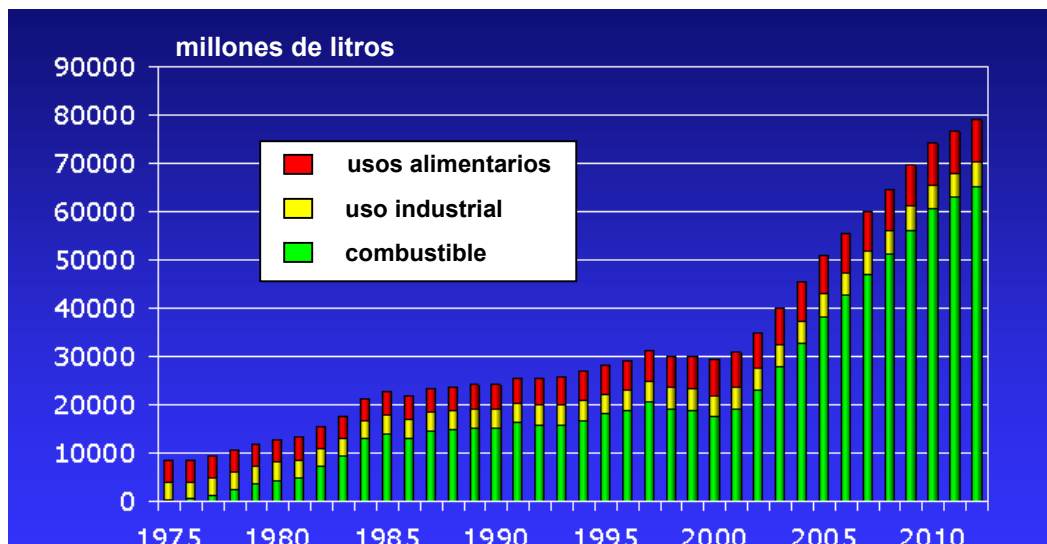


Figura 11. Producción mundial de etanol, realizada y prevista

La importación y exportación de etanol para fines combustibles en Costa Rica es una realidad desde los años ochenta. Básicamente a partir de Francia, Reino Unido, Guatemala, Nicaragua y Brasil, la industria alcohólica costarricense importó en la zafra 2003/2004 más de 11,8 millones de litros de etanol, exportando en este mismo año 18,9 millones de litros, según datos suministrados por LAICA³³. Esa actividad ha crecido de forma sustentada: en los meses de enero a mayo de 2005, la exportación de etanol de Costa Rica para Estados Unidos y Holanda ascendió a 44,9 millones de litros, según informaciones de los servicios internacionales de monitoreo de los mercados de etanol³⁴. Estas operaciones son realizadas en las facilidades de la Terminal Portuaria de Punta Morales, operada por la Liga Agrícola Industrial de la Caña de Azúcar, LAICA, preparada para importar etanol y exportar azúcar, melazas y etanol. El muelle de este terminal acepta buques con hasta 30.000 toneladas métricas, longitud máxima de 109 metros y ancho máximo de 25 metros, los 8 tanques existentes para etanol almacenan más de 30 millones de litros de etanol y cuenta con una planta deshidratadora de etanol, con capacidad para procesar 380 mil litros diarios de combustible. La Figura 12

³³ LAICA, **Informe Estadístico 2003-2004**, Liga Agrícola Industrial de la Caña de Azúcar, San José, 2005

³⁴ F.O.Licht, **World Ethanol & Biofuels Report**, Vol.3 , No.22, July, 2005

presenta los volúmenes de etanol exportado por Costa Rica en los últimos años, conforme datos estadísticos suministrados por LAICA³⁵.

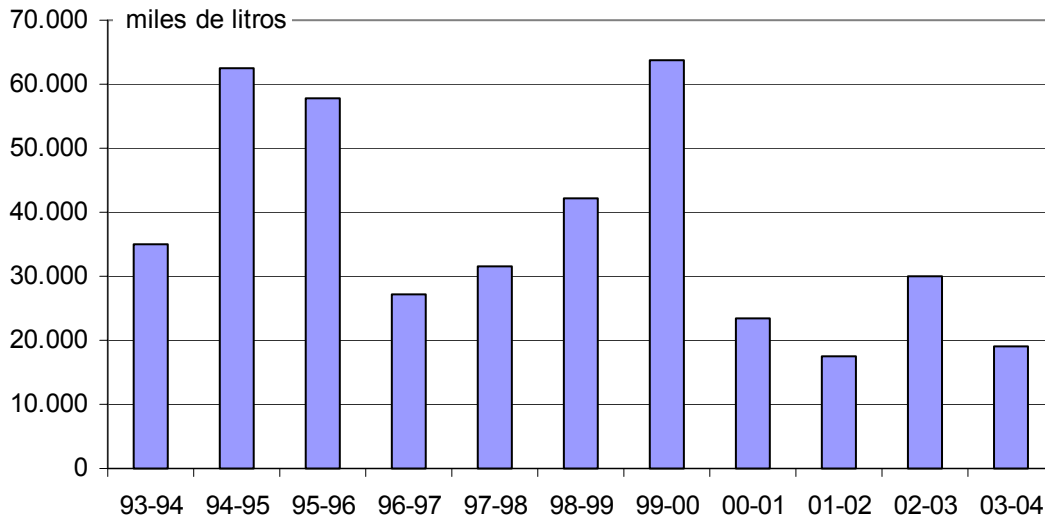


Figura 12. Exportación de etanol por Costa Rica en las últimas zafras

Como complemento a lo expuesto sobre las facilidades para importación y exportación de etanol, cabe recordar que Costa Rica importa gran parte de sus combustibles y dispone de instalaciones y terminales para combustibles, que eventualmente también podrán ser empleados para etanol. La experiencia brasileña de transporte de etanol en poliductos y almacenamiento en bases y planteles de combustibles por Petrobras y otras compañías es de conocimiento de RECOPE.

De esa manera, considerando que la demanda interna prevista podrá ser atendida por la producción de los ingenios del país, se puede afirmar que Costa Rica presenta facilidades adecuadas para eventualmente importar etanol para complementar la producción local, caso necesario. Existe un mercado internacional de ese combustible y como comentado en el tópico anterior, la decisión de usar etanol importado debe configurarse en contextos particulares de precios, siempre y evidentemente considerando los intereses del país.

³⁵ LAICA, **Informe Estadístico 2003-2004**, Liga Agrícola Industrial de la Caña de Azúcar, San José,

4.3. Discusión sobre subsidios para apoyar el etanol

La necesidad de subsidiar la producción y/o la utilización de etanol se justifica frente a básicamente dos situaciones:

1. Los precios aceptables para el etanol por el mercado de combustibles son inferiores a los precios mínimos presentados por los ingenios, imponiendo que sea cubierta la diferencia (productor-consumidor). Sería una situación básicamente decurrente de bajos precios del petróleo, relativamente a los precios del etanol.
2. Los precios de venta del etanol a los productores no remuneran los ingenios comparativamente a otros productos alternativos, como el azúcar o la melazas. Este contexto puede surgir como reflejo de altos precios del azúcar, en comparación a los precios del etanol.

En los niveles corrientes de precios, como observado en el tópico sobre seguridad de suministro, ambas situaciones no son observadas en los últimos años, cuando se asume la producción de etanol complementar al azúcar y los precios de la gasolina practicados en los terminales costarricenses. Corroborando esta visión, un estudio realizado en Costa Rica efectuó un análisis de regresión de los precios locales de la gasolina y del petróleo (WTI) entre diciembre de 2002 y mayo de 2005, considerando una banda de precios del etanol entre 0,361 US\$/litro y 0,413 US\$/litro, estimando que para precios del petróleo inferiores a 37,5 US\$/barril resultaría una gasolina más barata que el etanol y arriba de 45 US\$/barril, habría ventajas económicas por el empleo del etanol frente a los precios de gasolina³⁶.

El comportamiento del etanol en las mezclas con gasolina produce dos efectos principales, elevación del octanaje e incremento de la presión de vapor, que pueden ser de interés en relación a los precios. Con relación al octanaje, la mejora que el etanol induce en la gasolina depende de la composición de la gasolina-base, generalmente afectando más el RON (Research Octane Number) que el MON (Motor Octane Number), pero implicando claramente que la gasolina-base puede ser un producto de

precio inferior, que llega a cumplir las especificaciones solo con la adición de etanol. Como regla general, cuando más baja la calidad de la gasolina base, más sensible es el efecto del etanol³⁷.

Cuanto a la presión de vapor, se trata de un parámetro que debe ser especificado adecuadamente para permitir partidas a frío sin problemas y al mismo tiempo, sin excesiva volatilidad de la gasolina y consecuente elevación de las emisiones evaporativas. La presencia de etanol tiende a aumentar la presión de vapor de la mezcla, con un máximo para 5% de etanol, reduciéndose después lentamente en la medida en que crece el contenido de alcohol. Así, típicamente, para 5% de etanol la presión de vapor sube 7 kPa y para 10%, sube 6,5 kPa³⁸. Este efecto impone un ajuste en la composición de la gasolina base, que debe presentar un contenido más bajo de fracciones livianas. Usualmente las gasolinas con fracciones más pesadas son de menor calidad y de menor precio. Es por eso que, para las condiciones brasileñas, se estima para las gasolinas base que podrían ser adoptadas para formular gasohol, un precio en el mercado americano alrededor de 10% menos que el precio de una gasolina ya especificada³⁹. Sin embargo, es importante reconocer que intervienen otros efectos, como las escalas de producción, las facilidades y condiciones disponibles para producir, transportar y almacenar la gasolina base requerida, que frente a volúmenes muy reducidos de consumo, pueden llevar a pequeñas reducciones o mismo alguna elevación en el precio de la gasolina base. En el presente estudio no se consideró el efecto de la reducción del precio de la gasolina base por la posibilidad de adición de etanol.

Para ayudar la definición de las situaciones en que los subsidios pueden ser necesarios, se preparó una hoja de cálculo, utilizando datos de demanda de combustibles, disponibilidad de caña y productos azucareros y coeficientes de

³⁶ Estos valores son estimativas preliminares de estudio preparado por la Comisión de Etanol Anidro, del Gobierno de Costa Rica, 2005.

³⁷ Para más detalles ver CEPAL, **Perspectivas de un Programa de Biocombustibles en América Central**, (preparado por Horta Nogueira, L.A.), Proyecto CEPAL/GTZ Uso Sustentable de Hidrocarburos, México, 2004

³⁸ Furey, R.L., Volatility Characteristics of Gasoline-Alcohol and Gasoline-Ether Fuel Blends, **SAE Paper 852116**, 1985

³⁹ Informaciones prestadas por Costa, G.C., Superintendência de Estudos Estratégicos, Agência Nacional do Petróleo, Rio de Janeiro, 2003.

conversión hacia etanol, básicamente los mismos de las páginas anteriores. Para el escenario de referencia, basado en datos de la zafra 2003/2004, resumido en las próximas tablas, resultó las curvas de costos de paridad y precios presentadas en la Figura 13, que confirma las observaciones anteriores sobre la presente atractividad del etanol. Esa hoja de cálculo, “Modelo de precios y costos para etanol” será entregada al MINAE por el autor del presente informe, como un recurso analítico para explorar escenarios de precios y costos de interés para el etanol.

Tabla 4. Escenario para estudio sobre subsidios para etanol en Costa Rica

Datos generales		
Consumo de gasolina	901.000	miles litro
Capacidad instalada de producción de etanol	43.200	miles litro/año
Área utilizada para cultivar caña	49.000	ha
Producción de caña	3.959.000	t caña
Producción de melazas	154.180	t melaza
Producción de azúcar	400.454	t azúcar
Consumo interno	205.277	t azúcar
Cuota vendida a precios preferentes	15.796	t azúcar
Exportación a precios no preferentes	179.381	t azúcar
Exportación de melazas	40.011	t melaza
Parámetros agroindustriales		
Contenido de azúcar en la caña	15	% POL
Productividad industrial de azúcar	118	kg azúcar/ t caña
Productividad de etanol directo de cana	80	litro/t caña
Contenido de azúcar en la melaza	56	%
Equivalencia melaza/etanol	0,366	litro/kg melaza
Equivalencia azúcar/etanol	0,654	litro/kg azúcar
Precios y costos		
Precio del etanol	0,35	US\$/litro
Precio de la gasolina	0,45	US\$/litro
Precio del azúcar contrato cuota	0,44	US\$/kg azúcar
Precio del azúcar excedente	0,17	US\$/kg azúcar
Costo de la caña de azúcar	17	US\$/t caña
Precio de la melaza contrato cuota	0,05	US\$/kg melaza
Precio de la melaza excedente	0,04	US\$/kg melaza
Variables para estudio		
Contenido de etanol en la gasolina	8	%
Fracción disponible de las melazas	100	%
Participación del costo da cana en el etanol	50	%

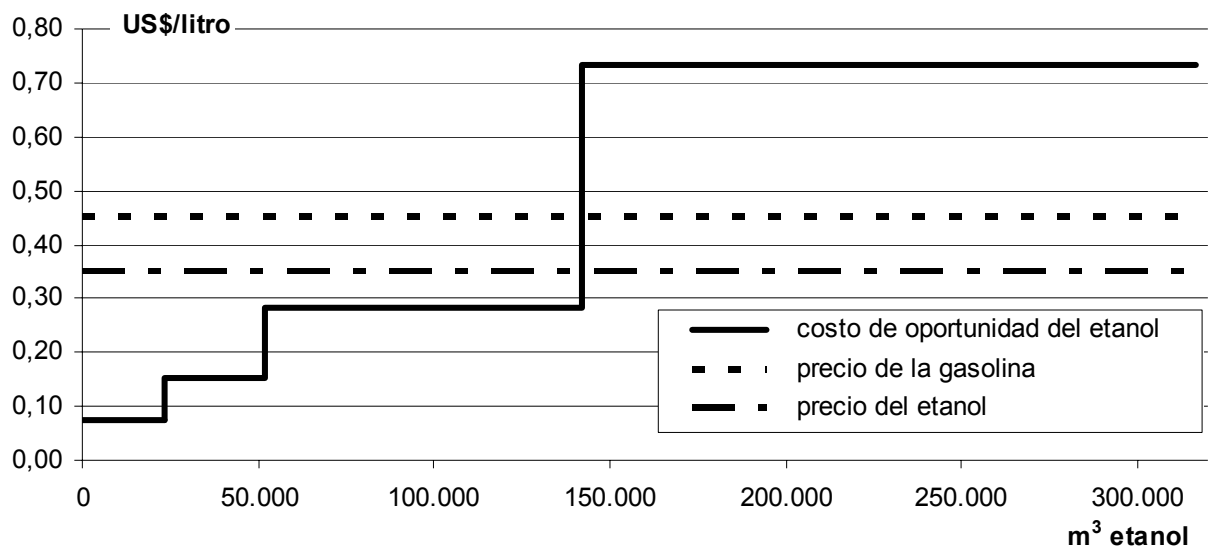


Figura 13. Resultados del estudio sobre subsidios para etanol en Costa Rica

Según esa evaluación, adonde se adoptó para el mercado interno de azúcar las condiciones de precio referentes a mercado externo con cuotas preferentes, para un gasohol con 8% de etanol se requiere anualmente en Costa Rica cerca de 72 millones de litros de etanol, siendo que 72% de ese volumen podría ser producido utilizando melazas resultantes del proceso productivo, sin implicar en incrementar la superficie sembrada en caña. De acuerdo a los resultados anteriores, la producción de etanol solamente no presenta rentabilidad más interesante que la producción de azúcar para exportación a precios de cuota preferente a Estados Unidos. Para los demás productos azucareros evaluados, en las condiciones estudiadas, es comparativamente más rentable producir etanol. Por su vez, hasta el volumen demandado, el precio asumido para el etanol es más alto que el costo de producción estimado para el biocombustible y más bajo que los precios corrientes de la gasolina. En la figura anterior, la línea creciente de costos de oportunidad presenta escalones respectivamente asociados a utilización de miel excedente, miel cuota, azúcar excedente y azúcar cuota como referencia de los precios, considerando adicionalmente los volúmenes disponibles. La máxima producción de etanol en Costa Rica, evidentemente un ejercicio de análisis asumiendo el uso del total de caña disponible, llegaría a casi 317 millones de litros anuales.

No obstante se reconocer que existen presentemente claras condiciones de economicidad que favorecen el etanol, cabe observar que frente a una retracción de ese cuadro favorable se podrá poner en pauta la necesidad de subsidios, para solventar una o ambas de las situaciones presentadas arriba. En ese sentido, caben algunas observaciones de carácter estratégico:

- a. Teniendo en cuenta la visión de muchos analistas del mercado petrolero, se considera que, más allá de fluctuaciones ocasionales de precios, no exista una posibilidad de reducción importante y duradera de los precios internacionales del petróleo, a niveles inferiores a los 30 US\$/barril, considerado el “breakeven point” para el etanol de caña de azúcar, sin incluir costos de capital en las plantas productoras. De esa manera se asume de baja posibilidad un escenario de bajos precios de petróleo a imponer subsidios al etanol.
- b. El mercado internacional de etanol y particularmente el mercado americano presenta una tendencia importante de crecimiento de la demanda, que eventualmente promoverá precios internacionales atractivos para los productores de este biocombustible, que a su vez podrán desinteresarse por el suministro del mercado interno. Súmese a esto el importante cambio que se diseña en el mercado internacional del azúcar, a raíz de deliberaciones de la OMC, que tienden a reducir la producción subsidiada de azúcar por los países desarrollados, especialmente Europa y contrarrestando una tendencia histórica de queda de los precios del edulcorante natural, promover la recuperación de los precios de este producto, como ha sido observada en la alza de los últimos meses. Tratase de un escenario más factible, adonde los ingenios fundamentalmente pedirán subsidios no para cubrir costos reales de producción, pero para cubrir pérdidas potenciales o costos de oportunidad de exportar etanol o azúcar.
- c. La eventual adopción de mecanismos intervencionistas de soporte en el mercado de etanol debe ser vista con mucha cautela, por toda la compleja problemática asociada a introducción y mantenimiento de subsidios. Efectivamente hay mecanismos de soporte más eficientes y que deben ser prioritariamente considerados, por no generar dependencia de los agentes económicos, por permitir la adecuada señal de los precios de la energía y

principalmente por permitir mejor seguimiento por el gobierno y la generación de estímulos a producción y a productividad.

- d. Los subsidios a los productores son solo un tipo entre una gama de mecanismos de soporte de la producción del etanol combustible, como se verá en el próximo tópico.

Es importante hacer hincapié en la amplia ventana de oportunidad que hay en el presente contexto energético y agroindustrial de Costa Rica para la introducción del etanol en la matriz energética. Bajo los actuales precios, libremente determinados o en paridad frente a los precios internacionales alternativos o concurrentes, el etanol es económicamente factible, incluyendo la remuneración de los costos fijos de inversión. En caso de que se logre introducir este biocombustible bajo estas condiciones y consolidar el aparato productivo agroindustrial y la infraestructura logística requerida, frente a una eventualidad de reducción de la atractividad, luego de la amortización de las inversiones, la evaluación de la continuidad del empleo del etanol se dará en términos de costos operacionales, lo que evidentemente favorece el biocombustible.

4.4. Mecanismos de soporte a agroindustria del etanol

El Estado puede y debe cumplir un rol importante en la promoción del etanol como un vector energético, por su amplio conjunto de ventajas ya comentado. Sin embargo, es necesario evaluar con cautela como deben ser definidos e implementados los mecanismos de soporte, de manera a generar la necesaria sostenibilidad del negocio empresarial productivo de etanol y efectivamente beneficiar la sociedad, no solamente con un combustible renovable y ambientalmente más adecuado, sino también como un combustible producido de modo eficiente y a costos competitivos. Es por eso que entre los mecanismos de fomento cabe ver con atención aquellos relacionados con la agroindustria, exactamente adonde se pueden lograr resultados importantes de productividad, imprescindibles para la efectiva factibilidad del uso de ese biocombustible.

Adelante se comentarán los siguientes mecanismos que pueden ser adoptados para estimular y consolidar un programa de utilización de etanol en Costa Rica: obligación de mezcla con etanol, información a los consumidores, investigación y desarrollo en

temas agroindustriales y subsidios a los productores. Naturalmente que estos temas están muy asociados al incremento de la renta en la cadena agroindustrial, siendo recomendable buscar entender como esa renta se genera y es apropiada por los diversos agentes, desde la producción de caña hasta la venta de combustible, incluyendo evidentemente la sociedad y el gobierno. Estudios de ese tipo podrán ayudar a componer una política agraria clara y consistente en el marco de la producción de biocombustibles.

El principal y seguramente esencial mecanismo de apoyo a agroindustria alcoholera de un país, es la definición de especificaciones de combustibles que contengan de forma clara y bien definida, la exigencia de contenidos mínimos de etanol en la gasolina. Esta obligación crea un mercado firme y básicamente bien conocido, que será siempre un mercado preferente de los productores locales para su etanol, con fletes reducidos y costos de transacción relativamente más bajos que la exportación. Por supuesto que la definición de una especificación de gasolina incluyendo obligatoriamente el etanol como oxigenante y mejorador del octanaje impone una especificación del etanol para la mezcla, que efectivamente permita potencializar los beneficios del etanol en los motores, reduciendo las emisiones y dentro de las posibilidades de los ingenios y de las refinerías. Típicamente establecer la especificación técnica de los combustibles es una responsabilidad del Estado.

Otra forma relevante de actuación estatal para promover el etanol es informando a los consumidores y los medios de comunicación, para que progresivamente y de forma consistente, el mercado se consolide sin imposiciones y preconceptos. Como mencionado en la Introducción de ese estudio, en Costa Rica ya hubo intentos de introducción de etanol en los años ochenta que tuvieron dificultades en parte por brindar a comunicación social la debida importancia. Exactamente por eso es indispensable que el Estado promueva, juntamente con instituciones privadas interesadas en el tema, un programa de esclarecimiento de consumidores y ciudadanos, con mensajes sobre las bases y objetivos, ventajas y implicaciones de la adopción por el país de la mezcla combustible con etanol y como se puede de forma expedita, conferir el contenido de biocombustible en el gasohol. Ese trabajo requiere recursos, planificación y personal especializado, para creativamente lanzar mano de

diferentes medios, impresos y televisivos, con el claro propósito de informar y respetar el derecho de los consumidores. En Brasil, cuando hubo la introducción del etanol puro como combustible en los años setenta, obtuve gran visibilidad y penetración las caravanas de vehículos (con previa divulgación y recorriendo todo el territorio del país) y una programación de charlas en las escuelas de ingeniería. Es interesante y importante que las personas se sientan valorizadas y que la adopción del etanol atiende al interés del país.

El apoyo al desarrollo tecnológico agroindustrial asociado a producción de etanol es también una manera efectiva del Estado actuar a favor de la promoción de este combustible. La investigación de variedades cañeras, la optimización de las actividades agroindustriales y el reciclaje de residuos como la torta de filtro y la viñaza son ejemplos de temas en que el conocimiento aplicado puede resultar incrementos expresivos de productividad. En Costa Rica LAICA ya cuenta con una activa área dedicada al desenvolvimiento de técnicas y métodos en la industria azucarera, particularmente en temas agrícolas, la Dirección de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar (DIECA), debiendo mencionarse también ATACORI, la Asociación de Técnicos Azucareros de Costa Rica, que promueve regularmente encuentros y seminarios técnicos sobre temas azucareros. Sin embargo es oportuno estimular y valorizar aún más esas actividades, inclusive de forma estimular estudios de los aspectos de utilización, logística y medio ambiente, que permitirán que el etanol expanda sosteniblemente en el mercado costarricense. Un de los temas de investigación tecnológica que debe ser adecuadamente promovido es el monitoreo de la calidad de los combustibles y el seguimiento sistemático y científico del efectivo contenido de etanol en la gasolina comercializada.

Los subsidios directos a los productores deben ser considerados como un instrumento de muy baja eficiencia para promover la sostenibilidad de la producción alcohólica y en las presentes condiciones de precios no parecen efectivamente necesarios, sin embargo pueden llegar a ser requeridos por la agroindustria en el futuro, en la eventualidad de cambios de los precios. Seguramente hay alternativas a los subsidios y en el ámbito de los mecanismos de carácter financiero, deben ser evaluadas como más oportunas:

- a. La posibilidad de ofrecer créditos más blandos a los ingenios y demás inversionistas interesados en ampliar la capacidad de producción de etanol en Costa Rica, utilizando recursos del país o de los organismos multilaterales de crédito.
- b. La adopción de estructuras tributarias diferenciadas entre los combustibles, que tengan en cuenta las implicaciones ambientales y el interés del país en la generación de empleo, reducción de dependencia energética y ahorro de divisas, que tienden a favorecer el etanol. Este tipo de soporte no necesariamente distorsiona los precios y puede ser considerado como una renuncia fiscal en el marco de una política energética, ambiental e industrial activa. Para la evaluación de los valores unitarios de subsidios requeridos y los montos totales en distintos escenarios de precios, la hoja de cálculo referida en el tópico anterior puede ser una útil herramienta de simulación.

4.5. Alternativas de modelos de formación de precios para el etanol

El presente tópico retoma la discusión de los precios del etanol en un marco más conceptual, buscando ofrecer una reflexión sobre como el Gobierno podría actuar con relación a los precios del biocombustible. De conformidad con lo analizado anteriormente, las condiciones presentes del mercado de productos azucareros y de derivados de petróleo hacen la atractiva la perspectiva de utilización del etanol sin necesidad de subsidios. No obstante, este escenario puede cambiar y permanece abierta la cuestión de los precios y del rol del Estado, que podría pretender definir los precios para el etanol en el mercado, con base a costos. De hecho, como presentado, el establecimiento de los precios del etanol carburante y como consecuencia del gasohol, basado en estimativas de costos agroindustriales es bastante problemático porque la industria sucroalcoholera comparte equipos, sistemas entre distintos productos y puede llegar al etanol por diferentes rutas. Así, además de las asimetrías de información entre los productores y el Gobierno, la multiplicidad de alternativas productivas hace imposible una estimativa de costo absolutamente justa e correcta, que fundamente la definición exógena de los precios. En pocas palabras, no hay valores únicos de costos de producción de etanol.

Ese tema remete a los modelos de definición de precios, esencialmente por el mercado y por el Gobierno, como sintetizado en la Figura 14, presentada más como tentativa de organizar y ayudar el análisis de las posibilidades de que un intento de agotar las amplias alternativas. Naturalmente que la fijación de los precios por los agentes del mercado se dará buscando maximizar sus ingresos y por lo tanto, como se indico en los párrafos anteriores, podrá darse una situación potencial de desabastecimiento caso los precios de otros productos que compitan por la misma materia prima sean más atractivos y no se pueda dar al etanol comercializado en el país el precio de oportunidad. Nuevamente se puede mencionar la posibilidad de desarrollar simulaciones a través de la hoja de cálculo fornecida, que permite estimar ganancias relativas e absolutas frente a los diferentes contextos de precios.

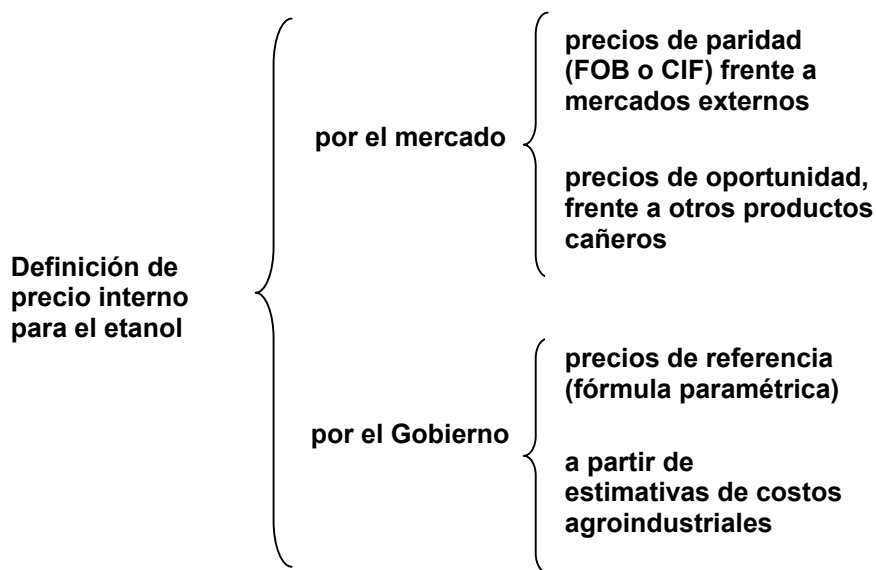


Figura 14. Alternativas para definición de precios del etanol

En cuanto a los precios de paridad, en el contexto de un potencial de exportación, cabe observar que el arbitraje posible entre los mercados interno e externo debe llevar, en la ausencia de distorsiones, a precios inferiores que los precios de mercados importadores, o sea, debe conducir a precios de paridad tipo FOB. Mercados de este tipo imponen, sobre todo frente a oligopolios y oligopsonios, el monitoreo cercano de las prácticas de mercado y comercialización para lograr la deseable eficiencia y reducir

al máximo la utilización de procedimientos anticompetitivos. Tales distorsiones, además de transferir rentas oligopólicas, resultan en pérdidas directas para el consumidor. No obstante, al dejar los precios por cuenta de los agentes del mercado se reducen en mucho los riesgos de ineficiencias productivas y frente a las condiciones vigentes, significa un estímulo a las inversiones. Como observado, los riesgos de falta de producto se mitigan con la posibilidad de complementar la demanda interna con producto importado.

Además de consideraciones sobre eventuales discontinuidades de suministro, eventualmente la percepción de riesgos cuanto al correcto funcionamiento de los mercados, la presencia de barreras importantes a la entrada (y salida) de agentes, el hecho de que los mercados de referencia pueden estar distorsionados⁴⁰ y la alta exposición a volatilidades de los mercados de petróleo y de azúcar, puede restringir en interés en no intervenir en la libre formación de los precios. Así, tanto los agentes de mercado como los entes públicos, por sus objetivos económicos como estratégicos, podrán preferir una intervención directa del Gobierno en la definición de los precios. En este caso, son posibles la utilización de fórmulas de referencia (a partir de otros mercados y/o otros productos) o la estimativa de los costos de producción y la formación del precio al nivel de productor considerando una margen de rentabilidad.

Es oportuno reiterar aquí que la multiplicidad de productos en la agroindustria cañera prácticamente imposibilita la definición endógena de los precios del etanol, o sea, con base a costos de producción. En Caso de que persista la necesidad de establecer o fijar precios para el etanol, considerando los costos locales probablemente elevados, independientemente de los riesgos de pérdidas económicas y problemas de desabastecimiento, las opciones comúnmente sugeridas suelen ser esencialmente dos alternativas: determinar el precio del etanol como una función directa del precio de la gasolina o como una función del precio del azúcar. Cabe comentar que ambos mecanismos no inducen la eficiencia agroindustrial y podrán implicar en costos más elevados de producción, conectando el etanol a mercados bastante diferentes y eventualmente requiriendo algún soporte. Siempre que sean adoptados, tales subsidios

o mecanismos de soporte deberán deseablemente prever mecanismos de progresiva reducción y estar conectados a programas de mejoras de las prácticas agrícolas y procesamiento industrial.

Como ya se ha mencionado, no intervenir en los precios no debe significar no monitorear su comportamiento y su evolución, en corto y mediano plazo. De acuerdo con los valores estudiados para Costa Rica, no parece que los precios de la gasolina en las estaciones de servicio del país sufran variaciones significativas a partir de la adicción de etanol. Eventualmente los precios de la gasolina base puedan ser algo diferentes, los costos de la cadena logística pueden igualmente ser un poco diferentes, pero realmente no existen razones para imaginar que estos efectos sean muy importantes y permanentes.

Para el seguimiento de los precios del etanol y su eventual regulación, inclusive considerando la existencia en Costa Rica de un ente como la Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos, se recomienda el acompañamiento cercano de los mercados internacionales de gasolina, etanol y azúcar, que ofrecen las referencias necesarias para establecer los niveles de rentabilidad y mismo, en contextos desfavorables (que no se observan en la actualidad), determinar los niveles de renuncia fiscal o mismo de subsidios eventualmente requeridos. Se debería considerar la tributación diferenciada o renuncia fiscal no necesariamente como un subsidio, pero si una política tributaria activa, en un marco de políticas públicas visando objetivos de desarrollo socio-económico y siempre que los precios al consumidor representen costos de producción y logística, tasas y márgenes de comercialización.

4.6. Comentarios sobre regulación de precios del etanol

El mercado de combustibles de Costa Rica se organiza con fuerte presencia del Estado, adoptando la definición de los precios para los derivados de petróleo mediante una fórmula de paridad (“fórmula automática”) frente a los precios internacionales. La introducción del etanol debería, en la extensión posible, respetar ese contexto.

⁴⁰ El mercado americano sería distorsionado por las barreras y los pesados subsidios necesarios para hacer viable la producción de etanol de maíz y el mercado brasileño no sería replicable por las escalas

Además, aún que se considere que la adopción del etanol podría ser una oportunidad para, por lo menos para una fracción del mercado, adoptar prácticas más libres de formación de precios, eventualmente la legislación vigente para precios de hidrocarburos no autoriza esa posibilidad y obligue la regulación de precios para el gasohol y por ende el etanol. Así, se comentan en los párrafos siguientes algunas líneas de acción en la regulación de precios del etanol, aplicando los temas del tópico anterior.

Frente a la necesidad u obligación de determinar precios para el etanol, una primera posibilidad sería procurar una relación directa con los precios del azúcar, como expuesto anteriormente en la ecuación (2) o con los precios de la caña, conforme sugerido en el tópico anterior. En ese sentido se debe observar que en Costa Rica la industria cañera presenta una dinámica de precios condicionada por los precios internacionales, inclusive los productores independientes de caña cobran precios ajustados en función de las cantidades producidas y de los precios de los mercados internacionales como cuotas y excedentes. Así, intentar fijar un precio para el etanol basado en el precio de la caña a los productores costarricenses, implica en verdad en conectar los precios del etanol a los precios de las bolsas internacionales del azúcar. Esto es aparentemente tan poco razonable como fijar los precios del etanol en paridad a la gasolina.

Se recomienda que, frente a la necesidad de establecer precios para el etanol, se utilice como referencia el precio del mercado más próximo, como puede ser el mercado americano, base FOB Costa Rica, considerando su posición exportadora exactamente para ese mercado. Una retrospectiva de estos precios fue presentada en la Figura 5. Otra posibilidad sería establecer los precios con base en los precios internacionales del propio etanol. El volumen comercializado entre los países asume cada vez más importancia y así, bajo la misma lógica que preside la “fórmula automática”, sería posible concebir una relación entre los precios exógenos y los precios internos del etanol, inclusive pudiendo incorporar una banda de tolerancia, de forma bastante similar a la actualmente utilizada para los derivados de petróleo. Apenas como una referencia, estos precios estarían hoy alrededor de 0,35 US\$/litro (sin tributos), por lo

y productividades.

tanto inferiores a la gasolina, como extensamente comentado en las páginas anteriores. La Figura 14 presenta la evolución en los últimos años de los precios del etanol en el mercado americano y mundial, evidenciando las diferencias de tendencias entre los dos mercados.

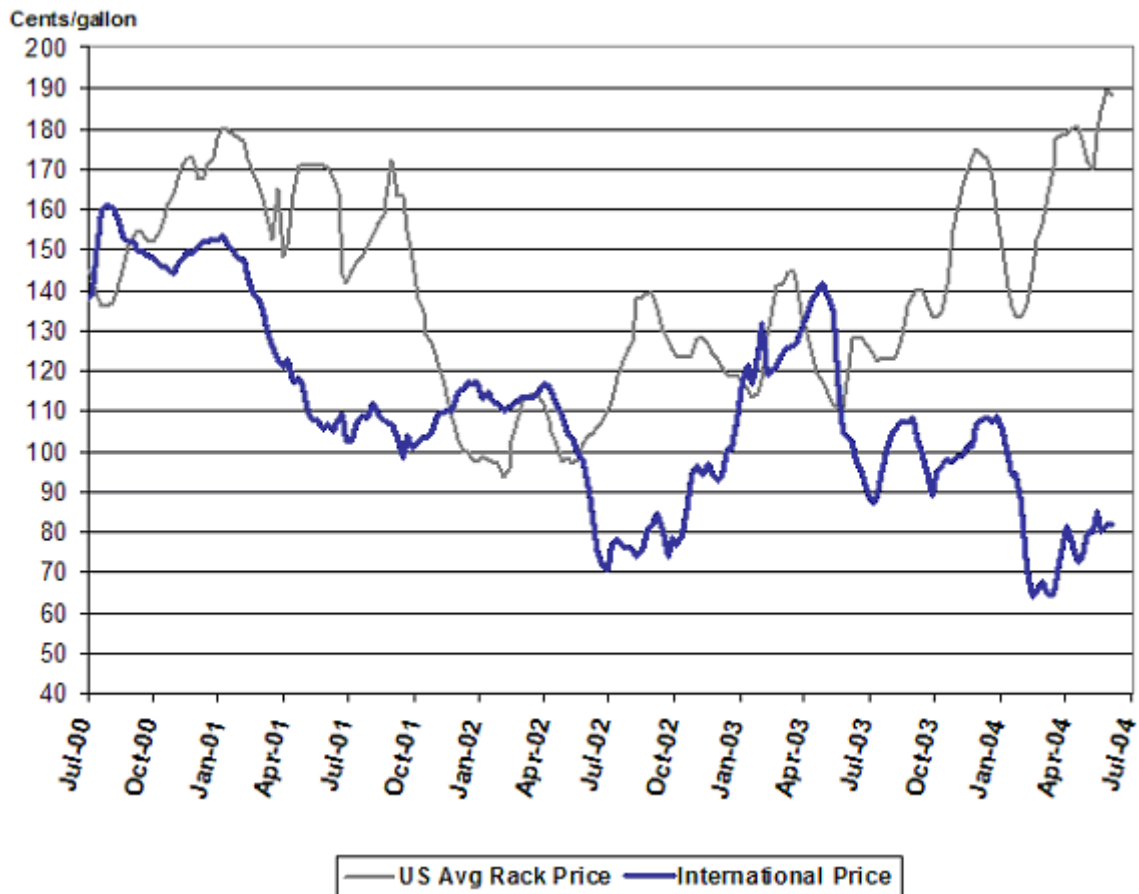


Figura 15. Precios del etanol en el mercado americano y mundial⁴¹

Caso se considere la fijación de los precios del etanol a niveles más altos que los mercados de referencia, visando ampliar la atraktividad y ofrecer una protección para los productores costarricenses de ese biocombustible, es oportuno establecer un compromiso prioritario o garantía de suministro al mercado interno. Bajo este tipo de compromiso, cuando los precios internacionales estuvieren bajos, los productores aseguran sus ganancias, mientras cuando los precios sean elevados, los productores deben suministrar combustibles a los precios fijados. Esta garantía de suministro a precios fijos puede ser arriesgada, pero es la mínima contrapartida para compensar la

⁴¹ F.O. Licht, **World Ethanol & Biofuel Report**, varios números, disponibles en www.agra-net.com

sociedad por conceder a los productores una garantía de mercado a precios estables, contexto que típicamente no existe en los mercados azucareros y de combustibles.

Algunos puntos merecen una reflexión adicional cuanto a la fijación de precios. Primeramente, el tema de los tributos. La fuerte evidencia de una oportunidad económica para introducir etanol en la gasolina de Costa Rica, indica también la oportunidad de establecer impuestos similares a la gasolina, lo que implica definir a quienes y en que punto de la cadena productiva se cobrarán tributos. Ese punto es importante inclusive por que en los mercados de combustibles, la atraktividad diferencial muy elevada en productos similares, induce casi siempre a fraudes y procedimientos ilícitos. Otro aspecto que debe ser ponderado se refiere a posición de la RECOPE en este mercado, es que al fijarse un precio de etanol para los productores, por ejemplo, referido a los mercados internacionales FOB Puerto Morales, aparentemente se elimina la posibilidad de negociación entre la empresa petrolera y los productores locales.

Así, en el debate de establecer o no en Costa Rica una paridad del precio del etanol con los precios internacionales, es una cuestión de fondo y es: como y para qué el Estado pretende manejar las eventuales diferencias expresivas de precios entre los mercados internos y externos. Eso significa que, siempre existiendo entre consumidores e productores un desequilibrio de precios promovido por el Estado, cómo armonizar esos conflictos y promover el efectivo desarrollo de la potencialidad local?

4.7. Proyecciones de demanda de etanol para Costa Rica

Es interesante estimar la evolución del mercado de etanol en Costa Rica en los próximos años, como consecuencia de la utilización de mezclas de ese biocombustible con gasolina. Tal consumo depende de la evolución de la economía y de la expansión de la flota vehicular con motores Otto, como también dependen de las determinaciones de gobierno para emplearse el etanol y los contenidos adoptados. Para calcular el mercado futuro de etanol combustible en los próximos diez años, asumiendo que el contenido de etanol a ser adoptado en la mezcla será de 10% en todas las gasolinas, regular y súper, la demanda de etanol puede ser dada como una función directa de la

demanda futura de gasolina, a ser estimada con base en la demanda en 2005, en 900 millones de litros, y una tasa anual de crecimiento de la demanda.

En los quinquenios 1990/1995, 1995/2000 y 2000/2005 las tasas de crecimiento anual de la demanda de gasolina fueran respectivamente 13,6%, 5,3% y 3,6%, un progresivo decremento en la tasa de expansión⁴² que señala no solo una cierta saturación del parque vehicular, como también la adopción de vehículos más eficientes y patrones de consumo más eficientes. Una evaluación de RECOPE estimó para el año 2010 una tasa de crecimiento anual de 2,8% para el mercado de gasolina⁴³. Vale observar que en 2003 la flota de vehículos livianos de Costa Rica era de aproximadamente de casi 626 mil automotores, proporcionalmente la más grande de América Central, correspondiendo a cerca de 6,4 personas por vehículo⁴⁴ y con cada vehículo costarricense consumiendo anualmente alrededor de 1350 litros de gasolina.

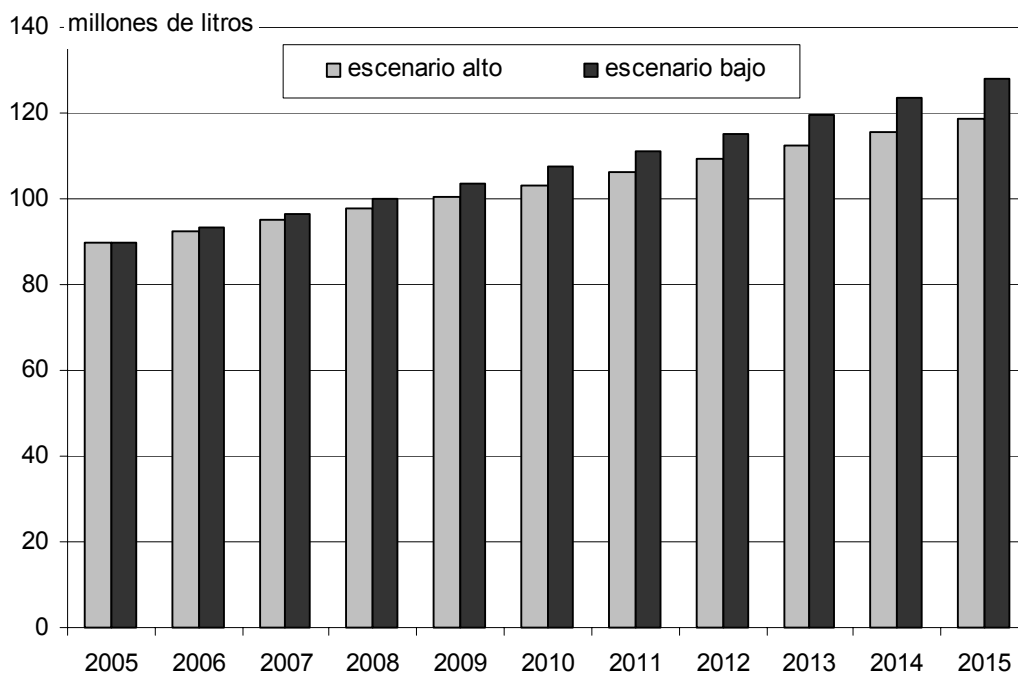


Figura 16. Evolución de la demanda de etanol en Costa Rica

⁴² Los valores para 1990 a 2000 fueron tomados de CEPAL, **Istmo Centroamericano: Estadísticas de hidrocarburos 2002**, México, 2003 y para el período hasta 2005 se adoptaron estimativas de RECOPE.

⁴³ Chaves Solera, M., **La Caña de Azúcar como materia prima para la Producción de Alcohol Carburante**, DIECA/LAICA, Costa Rica, 2004 (versión resumida)

⁴⁴ CEPAL, **Perspectivas de un Programa de Biocombustibles en América Central**, (preparado por Horta Nogueira, L.A.), Proyecto CEPAL/GTZ Uso Sustentable de Hidrocarburos, México, 2004

Frente a esos datos, se establecieron dos escenarios para expansión de la demanda de gasolina para los próximos años: a) alto, asumiendo una tasa de crecimiento anual de 2,8%, resultado de políticas de uso racional de combustibles y b) bajo, con una tasa de 3,6%, reproduciendo la tasa observada en los últimos años. Para esas condiciones se elaboró el gráfico de la Figura 16, según el cual la demanda de etanol en Costa Rica deberá estar entre 118,6 a 128,2 millones de litros en 2015. Recuerde-se que la actual capacidad instalada de producción de etanol en Costa Rica estaría alrededor de 43 millones de litros.

5. ASPECTOS AMBIENTALES

La producción y utilización de etanol de caña de azúcar como vector energético para transporte presenta relevantes implicaciones ambientales, de ámbito local y global, que deben ser señaladas, buscando reforzar los impactos positivos y atenuar los efectos negativos o indeseables. A seguir se presenta una compilación de estos nexos ambientales, subdivididos en impactos en la producción agroindustrial y impactos en la utilización automotriz, asociados a emisión de gases de impacto local. Además, se incluye una apreciación del uso de biocombustibles renovables en el marco del Protocolo de Kyoto.

5.1. Impactos ambientales en la producción agroindustrial

La producción de caña de azúcar, como cualquier cultivo extensivo, puede impactar de forma importante el medio ambiente, sea por ocupar largas extensiones de tierra, sea por asociarse a una elevada productividad y consecuentemente promover una alta exportación de nutrientes del suelo, que cumulativamente podría reducir de forma irreversible la fertilidad de las tierras cultivadas. En el medio físico, las actividades de los ingenios afectan las disponibilidades hídricas, pueden promover procesos erosivos, pueden provocar contaminación por fertilizantes y agroquímicos, pueden causar problemas de contaminación a través de la disposición inadecuada de la vinaza (un residuo obligatorio de las destilerías, producido a razones de 14 a 16 litros por litro de etanol) y pueden también provocar contaminación atmosférica, debido a quema de los cañaverales, quema del bagazo en las calderas y circulación de vehículos para transporte de caña y etanol. Al medio biótico, la producción de caña y etanol puede afectar la cobertura vegetal natural, alterar la dinámica de las comunidades faunísticas, en virtud de los cambios de hábitat y reducir la biodiversidad, debido a mono cultura de la caña.

En gran medida y en la mayor parte de los casos, los impactos ambientales mencionados no son inevitables y pueden ser ademadamente mitigados, como se procura comentar adelante. Además, el cultivo de la caña es practicado hace siglos y

en largas áreas en Costa Rica, con razonable conocimiento del efecto de las practicas agrícolas de esa cultura, sin observarse una reducción sensible de la productividad. Un punto importante a favor de la caña es que, comparativamente a otras culturas de interés comercial, esa cultura presenta una baja demanda de pesticidas, herbicidas, fertilizantes, el uso de riego no es muy difundido y es común la reciclaje de residuos agroindustriales, particularmente cuando se produce etanol. La caña no es exactamente un cultivo anual, pero con cerca de cinco cortes anuales sucesivos, que contribuye para reducir la erosión y la compactación de los suelos, comparativamente a diversos otros cultivos anuales.

En Brasil la importancia de la agroindustria cañera ha impuesto una mayor atención a los temas ambientales, con resultados bastante interesantes. En ese país es una práctica corriente de la industria alcoholera el reciclo de la torta de filtro (cachaza) y el empleo de la vinaza para fertilización asociada al riego, que reduce en mucho la necesidad de aportes adicionales de macro-nutrientes, en particular del potasio, como muestra la Tabla 5⁴⁵. Es notable constatar que en 1977 el uso de fertilizantes en los cultivos de caña brasileños era comparable a los observados en cultivos de soya y maíz, pero con la optimización del uso de residuos, la demanda de fertilizantes minerales externos se ha reducido de forma expresiva⁴⁶. En la esencia de la bioenergía, por la fotosíntesis se producen hidratos de carbono, compuestos de hidrógeno, carbono y oxígeno, los mismos elementos que constituyen el etanol, permitiendo el reciclaje de nutrientes para el suelo como esquematiza la Figura 17.

Tabla 5. Exportación y reciclaje de macronutrientes en la agroindustria del etanol

Macro nutriente	Flujo anual de nutrientes (kg/ha)	
	Pérdidas con tallos y hojas	Reciclaje con torta de filtro y viñaza
Nitrógeno (N)	67,6	21,2
Fósforo (P)	10,5	4,2
Potasio (K)	82,1	70,6

⁴⁵ Nogueira, L.A.H., **Análise do Consumo de Energia na Produção de Álcool de Cana de Açúcar**, Tese de Doutorado, Universidade de Campinas, 1987

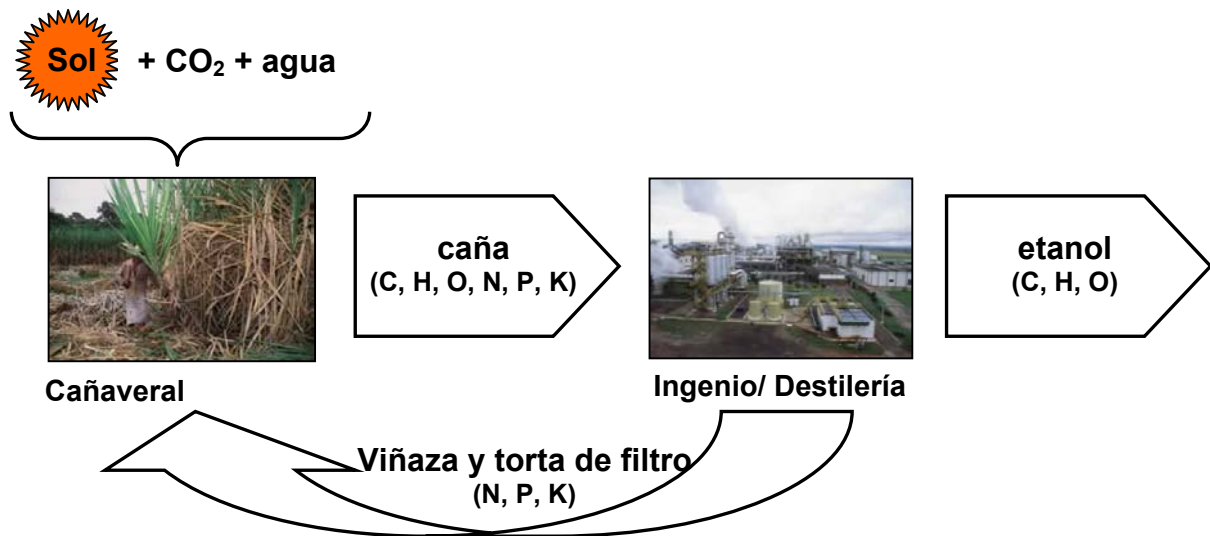


Figura 17. Reciclaje de nutrientes en la agroindustria del etanol

En las condiciones brasileñas, el reciclo de la vinaza, un residuo líquido con sólidos totales típicamente entre 7 y 12% y una fracción de materia orgánica de 4 a 8%, ha sido extensamente analizado y evaluado en términos de los impactos sobre el suelo, en particular cuanto a contaminación de la capa freática y salinización, resultando que mismo en terrenos que estuvieran bajo 30 años de continua aplicación de vinaza, se ha conservado la fertilidad. Es importante observar que la utilización de vinaza en los suelos volcánicos de Costa Rica no es una tecnología muy conocida y debe ser conducida bajo un cuidadoso seguimiento. Si en función de las condiciones locales, no se recomendar el reciclaje de la vinaza, otros caminos pueden ser adoptados, como la biodigestión, la biocompostaje y la concentración. La biodigestión anaerobia, que reduce de forma importante el potencial contaminante (básicamente como demanda de oxígeno) de la vinaza y además, permite obtener gas combustible (biogás), a razón de aproximadamente 0,4 m³ de biogás para cada litro de etanol producido a partir de melazas. De toda manera, directamente o después de tratado por biodigestión, la reciclaje de la vinaza y otros residuos de producción de etanol pueden reducir bastante la demanda de fertilizantes minerales adoptados para compensar la exportación de nutrientes del suelo.

⁴⁶ Comunicación de J. Donzelli; Centro de Tecnología Copersucar, 2002

Otro ejemplo de cómo prácticas conservacionistas pueden ser aplicadas con suceso en la producción cañera es la reducción del uso de insecticidas, actualmente en niveles de 0,36 kg/ha, casi un tercio del valor consumido en cultivos de soya. De hecho, en la actualidad, en los cañaverales de Brasil la principal plaga predadora de los tallos, la broca, es controlada casi únicamente por métodos biológicos, que ha logrado reducir el ataque de este insecto de 10-11% para 2-3% de las áreas cultivadas, entre 1980 e 2000.

El agua es un insumo muy importante en los ingenios y su uso debe ser realizado de manera eficiente, de modo a preservar los recursos hídricos, frecuentemente bajo fuerte presión de demanda. En una muestra de 36 ingenios brasileños, procesando un total de 60 millones de toneladas de caña, en 1997 el consumo medio fue de 5 m³ de agua captada por tonelada de cana procesada⁴⁷. Como hay una grande variación de ese consumo específico entre los ingenios, de 0,7 a 20,0 m³ por tonelada de cana, se entiende que un programa de reducción de uso de agua, basado esencialmente en la optimización de procesos y reutilización interna, que puede reducir substancialmente el consumo específico. En Costa Rica existe una norma para vertidos y el estudio de impacto ambiental de ingenios también está reglamentado.

De una manera más restricta al Estado de São Paulo, que produce cerca de 60% de la caña brasileña, la Secretaría de Medio Ambiente ha consolidado los procesos de licenciamiento con evaluación del impacto ambiental de los ingenios cañeros y conseguido introducir en los últimos años dos importantes prácticas para la protección ambiental: a) la progresiva reducción, hasta la total eliminación en 2021, de la quema de la caña antes del corte, con evidentes beneficios en términos de emisiones atmosféricas⁴⁸ y b) la introducción de zonificación agrícola, clasificando las tierras cultivadas según su mejor aptitud y definiendo zonas protegidas y que deben ser reforestadas, particularmente las regiones con pendientes fuertes y los bosques en las orillas de los cursos de agua, que deben ser repoblados con árboles nativos. Procedimientos similares deben progresivamente ser implementados en todo el país.

⁴⁷ Macedo, I.C., Horta Nogueira, L.A., **Biocombustíveis**, Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República, Brasília, 2005

⁴⁸ En São Paulo actualmente 20% de la caña es cosechada sin quemar y fue firmado un protocolo con los ingenios, refrendado por una ley estadual, con el cronograma de la reducción de la quema previa a cosecha.

La reducción de la quema de la caña previamente al corte y la utilización parcial de las hojas y puntas (“barbojo”) para cobertura del suelo, puede mejorar en muchos aspectos la sostenibilidad de las actividades agrícolas para producción de caña. Estudios detallados en ingenios brasileños han mostrado que esta práctica significa, comparativamente a la cosecha de caña quemada: a) una reducción de la pérdida de suelo en procesos erosivos de 20,2 para 6,5 t/ha, cuando la tierra está desnuda, b) reducción de la compactación del suelo, c) expresivo incremento de la micro y macrofauna, en cerca de 10 veces los valores originales, d) recuperación parcial de los nutrientes exportados, particularmente del potasio y incremento de la materia orgánica del suelo, que después de 5 años llega a 1,5 toneladas por hectárea y un pronunciado efecto herbicida, que recomienda dejar entre 7,5 a 9 toneladas de paja por hectárea. Como una contrapartida de estos procedimientos de corte de la caña cruda y preparo mínimo, se tiene el mayor riesgo de incendios y el surgimiento de ataques de insectos antes desconocidos o minimizados por la quemada. El más importante de esos predadores es el insecto *Mahanarva fimbriolata* (Homoptera: Cercopidae), pero que puede ser controlado con métodos biológicos con buenos resultados⁴⁹. La cosecha de caña cruda incrementa bastante las disponibilidades de biocombustible sólido producido, ampliando el potencial de generación de electricidad.

De modo sintético, la experiencia brasileña muestra como los impactos ambientales asociados a la producción de etanol pueden ser controlados o mitigados de forma consistente, desde que el Estado actúe de forma clara, colocando límites y estableciendo metas factibles. Es relevante remarcar también que en Brasil ese desarrollo hacia la sostenibilidad solo fue posible con el fomento de nuevas tecnologías, un punto a ser priorizado en la introducción del etanol energético, conforme anteriormente señalado. Mediante la agregación de conocimiento y técnicas, procedimientos como el control biológico y el reciclaje de residuos valorizaran ambientalmente la opción del etanol energético y convirtieran en sucesos situaciones de efectivo riesgo ambiental. Ciertamente que procesos similares deben y pueden pasar en Costa Rica, pero los modelos no se replican sencillamente y es crucial que se

⁴⁹ Hassuani, S.J., Lima Verde Leal, M.R., Macedo, I.C., **Biomass power generation (Sugar cane bagasse and trash)**, PNUD/CTC, Piracicaba, 2005

reconozca el rol determinante de la investigación tecnológica y básica como substrato para un programa de etanol combustible robusto ambientalmente, en especial en los aspectos agroindustriales.

Una última y relevante observación sobre los impactos ambientales en la producción de etanol en el contexto costarricense se refiere al nivel pretendido de consumo interno, alrededor de 90 millones de litros anuales, que podrían ser producidos en grande parte a partir de las melazas inevitablemente resultantes de la producción nacional de azúcar y complementariamente con jugo directo. De esa manera, los impactos asociados a producción de caña deben ser evaluados como incrementales frente a actuales actividades de la industria cañera del país, mientras pasa a ser la producción de etanol el foco de las cuestiones ambientales, con la problemática de la vinaza a requerir mayor atención para su adecuada solución.

5.2. Impactos ambientales locales en la utilización de etanol

En su comienzo, el uso del etanol combustible se justificaba esencialmente por sustituir derivados de petróleo, pero a partir de los años ochenta las bondades ambientales de ese biocombustible también pasaran a ser resaltadas y valorizadas. Las buenas características del etanol cuanto a emisiones atmosféricas derivan de presentar baja toxicidad, comparativamente a los derivados de petróleo y contener 34,7% de oxígeno, exigiendo menor cantidad de aire para combustión, consecuentemente produciendo menor volumen de gases y reduciendo las emisiones de precursores de “smog” fotoquímico. Además, el etanol es biodegradable, no presenta azufre, aromáticos y como se trata de una molécula única, con bajo contenido de carbono, casi no produce particulados. La presencia de etanol en la gasolina, permite sustituir aditivos para elevar el octanaje como MTBE, ETBE, plomo e otros, que presentan problemas de uso y emisiones indeseables. Exactamente debido a mezcla de etanol en la gasolina, fue posible en 1991 eliminar totalmente el uso de plomo en todas las gasolinas brasileñas, regular y súper.

El impacto del etanol sobre las emisiones de los motores puede ser determinado mediante testes realizados con combustible puro o en mezclas. Ensayos realizados por

la Compañía de Tecnología de Saneamiento Ambiental de São Paulo con todos modelos producidos en Brasil en 2001, llevaran as siguientes medias, para el ciclo de teste US FTP-75: monóxido de carbono: 0,66 g/km; hidrocarburos: 0,15 g/km; óxidos de nitrógeno: 0,08 g/km; aldehídos: 0,017 g/km. Las emisiones evaporativas (U.S. Shed test) fueran 1,3 g/km, sin la necesidad de uso de canisters de carbono activado⁵⁰.

Una visión de la evolución del promedio de las emisiones vehiculares en los modelos nuevos en Brasil es presentada en la Figura 18, para gasolina (hasta 1980), etanol hidratado puro y gasohol con 22% de etanol (la especificación standard del gasohol para pruebas de emisiones según las normas brasileñas).

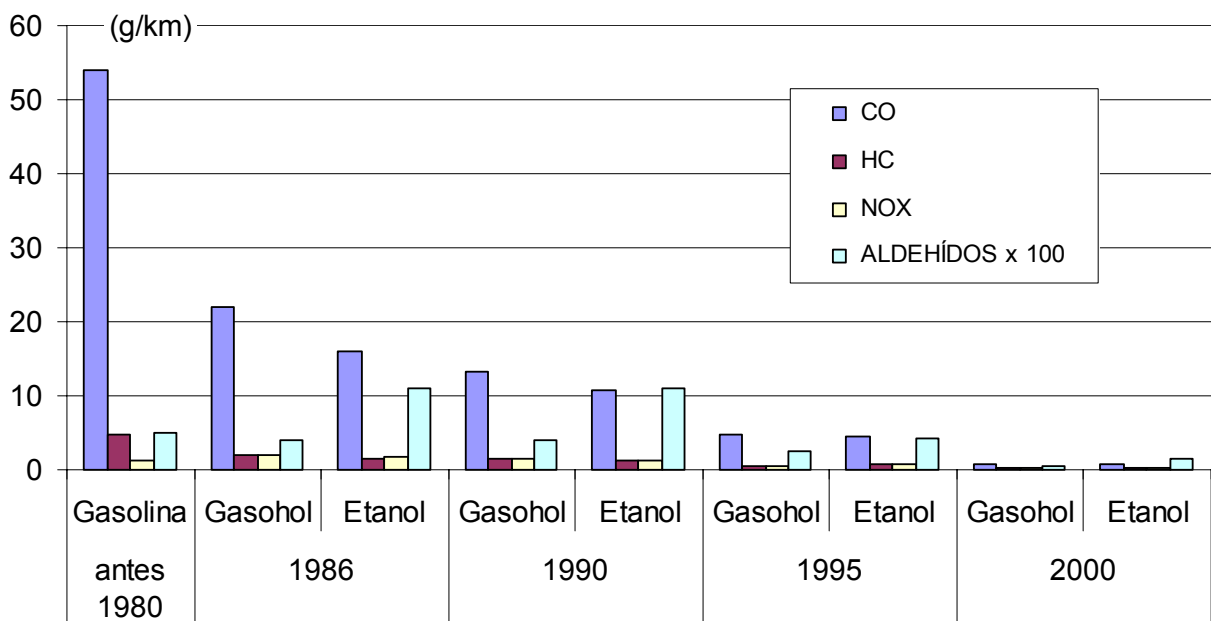


Figura 18. Evolución de las emisiones medidas en vehículos nuevos en Brasil

La diferencia entre las emisiones observadas en 1980, para la gasolina, y las emisiones del gasohol en 1986 se deben esencialmente a presencia de etanol en la gasolina. Las columnas de esa figura dejan evidente como en función de la progresiva restricción de emisiones y de la evolución tecnológica de los motores, hubo una notable reducción de la emisión en los motores y como de una manera general la adición de etanol contribuye para reducir la emisión para prácticamente todos los contaminantes evaluados. La excepción fueran los aldehídos (escala ampliada cien veces), que

⁵⁰ Informado por Alfred Schwarz, (UNICA), 2004

tienden a elevarse con la presencia del etanol, pero se mantienen dentro de los límites permisibles (emisión inferior a 0,03 g/km en 1997)⁵¹.

En una evaluación para la introducción de gasohol en Canadá, a partir de diversos estudios sobre emisiones vehiculares, se estimó⁵²:

- a. Una reducción de las emisiones de monóxido de carbono e hidrocarburos. Motores modernos, con inyección de combustible, “closed loop”, “adaptive learning”, catalizadores de tres vías, presentan menores reducciones, mientras motores antiguos, carburados, catalizadores por oxidación y mal regulados, muestran impactos más importantes.
- b. El efecto sobre las emisiones de óxidos de nitrógeno (NOx) fueran poco definido, variando entre un incremento de 0,47 gramas por milla a una reducción de 0,43 gramas por milla.
- c. Las emisiones de etanol fueran estimadas en 0,0065 gramas de alcohol por milla, valor que representa una pequeña fracción de la emisión típica de hidrocarburos.
- d. Las emisiones de acetaldehídos fueran más altas que para gasolina pura, sin embargo los catalizadores son muy eficientes para minimizar esos contaminantes.
- e. Las mezclas con etanol reducen las emisiones de aromáticos, como benceno y productos tóxicos como 1,3-butadieno.

En síntesis se puede afirmar que la adición de etanol promueve afirmar que la adición de 10% de etanol a gasolina reduce las emisiones de contaminantes atmosféricos de forma sensible. El incremento observado de las emisiones de aldehídos es posible de ser mitigado por sistemas normales de control, como catalizadores.

⁵¹ MMA, LIMA/COPPE/UFRJ, **Avaliação do PROCONVE - Programa de Controle de Emissões Veiculares**, Rio de Janeiro, 2005

⁵² 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

La estimativa cuantitativa y detallada de los beneficios de la adopción de mezclas gasolina/etanol en Costa Rica depende de un conjunto de informaciones no totalmente disponible, considerando básicamente el perfil de la flota vehicular y el nivel de utilización de combustible por grupo (modelo/año). No obstante, es cierto afirmar que Costa Rica pasará a tener un aire más limpio se empezar a usar etanol.

5.3. Impactos ambientales globales en la utilización de etanol

Los vectores energéticos de la caña de azúcar, el etanol y el bagazo pueden contribuir de manera importante para la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, a partir de la sustitución de combustibles fósiles, respectivamente gasolina y fuel oil. Mientras los productos de combustión de combustibles fósiles agregan dióxido de carbono a atmósfera, en la quema de biocombustibles como etanol el dióxido de carbono producido debe ser absorbido en el proceso fotosintético de producción de la materia prima de esos combustibles. En ese sentido, interesa determinar cual es el real impacto de los biocombustibles.

Para evaluar con seguridad la contribución de los biocombustibles es preciso conocer el uso de combustibles en el proceso agroindustrial. En las actividades de plantío, cosecha, transporte y procesamiento de la caña son consumidos derivados de petróleo y energía eléctrica, debiendo ser analizado el completo ciclo productivo, según la metodología conocida como análisis de ciclo de vida (LCA, Life Cycle Analysis), con el cómputo de todas las formas directas y indirectas de demanda y producción de energía asociadas a esa agroindustria. Este tipo de evaluación fue realizado para la agroindustria cañera en Brasil en 1985⁵³ y posteriormente actualizado y consolidado⁵⁴, en un trabajo que puede servir como referencia para Costa Rica, cuya tecnología cañera presenta procedimientos y rendimientos bastante similares.

⁵³ Macedo, I. C., Nogueira, L. A. H., "Balanço de energia na produção de cana-de-açúcar e álcool nas Usinas Cooperadas", **Boletim Técnico Copersucar**, BTC nº 31/85, Julho 1985

⁵⁴ Macedo, I. C.; Leal, M. R. L. V.; Silva, J. E.; **Emissões de gases de efeito estufa (GEE) na produção e uso de etanol no Brasil: situação atual (2002)**, SMA – Secretaria do Meio Ambiente de S. Paulo, S. Paulo, 2004

En ese balance energético fueran considerados tres niveles de flujos energéticos, para incluir todos los procesos energéticos relevantes:

- Nivel 1 – Considerase únicamente los combustibles consumidos o la energía eléctrica adquirida (insumos energéticos directos).
- Nivel 2 – Agréguese la energía necesaria para la producción de insumos agrícolas o para el proceso industrial (fertilizantes, calcáreo, mudas, ácido sulfúrico, lubricantes, etc.).
- Nivel 3 – Agréguese la energía necesaria para la producción y mantenimiento de equipos (agrícolas e industriales) e instalaciones.

Estos flujos de energía fueran evaluados para dos escenarios: Escenario 1 para valores medios de consumo de energía e insumos, mientras en el Escenario 2 se adoptan los mejores valores practicados (valores mínimos de consumo y uso de las mejores tecnologías existentes). Incorporando todos flujos energéticos, una síntesis de los resultados para las plantas del Centro-Sur brasileño consta de la Tabla 6.

Tabla 6. Balance energético de la producción de etanol de caña de azúcar

Item	Flujos de energía (Mcal/t caña)	
	Escenario 1 valores medios	Escenario 2 mejores casos
consumo en la fase agrícola	48,21	45,86
consumo en la fase industrial	11,80	9,51
producción de etanol	459,10	490,10
producción de bagazo excedente	20,30	75,60
relación producción/consumo	8,3	10,2

Para determinar el balance total de gases de efecto invernadero, las emisiones fueran subdivididas en dos grupos: emisiones debidas al uso de energía fósil y emisiones asociadas a otras fuentes, no re-absorbidas pela fotosíntesis en el crecimiento de la caña (gases no CO₂ en la quema de la paja, descomposición de fertilizantes, etc.). Asumiendo los valores medios como representativos para Costa Rica, resulta para el primero grupo de emisiones 19,2 kg CO₂ equivalentes y para el segundo 12,6 kg CO₂ equivalentes, ambos por tonelada de caña procesada. El resultado neto de esa evaluación indica que, debido a sustitución de energía fósil por derivados de la caña, se dejan de lanzar 2,6 kg de CO₂ por litro de etanol anhidro producido. Esta importante

contribución del etanol para reducción de la emisión de gases de efecto invernadero es posible solo cuando se utiliza caña como materia prima, debido a alta relación entre la energía renovable producida y la energía fósil consumida. Mientras para la caña esta relación es 8,3 (en lo escenario para valores medios), para el etanol de maíz en EUA se estima que sea inferior a 1,4⁵⁵.

Considerando que para mezclar el 10% de etanol en la gasolina de Costa Rica la demanda de ese biocombustible deberá ser de 90 millones de litros de etanol anidro por año, se puede estimar una emisión evitada de 234 mil toneladas de CO₂ o 63,8 miles toneladas de carbono. Naturalmente que la agroindustria cañera presenta un potencial adicional importante para mitigar emisiones, a través del uso del bagazo y la generación de electricidad a partir de sistemas de cogeneración, pero que puede ser desarrollado tanto en la producción de etanol como de azúcar.

Considerando para una tonelada de carbono evitada un precio conservador de 5 dólares, en el ámbito del Protocolo de Kyoto y de los mecanismos de “carbon trade” puestos en vigencia, podrán ser obtenidos cerca de 320 miles de dólares cada año por el concepto de utilización de gasohol con 10% de etanol por los costarricenses. No se trata de un pago muy elevado, pero podrá ayudar a ampliar las ganancias de los ingenios. Cabe observar que la adopción de etanol combustible en Costa Rica es un proceso innovador que efectivamente se agrega al “baseline” existente cuando de la Información Nacional de Costa Rica a la Convención de Cambio Climático de las Naciones Unidas.

⁵⁵ Fulton, L. e Hodges, A.; **Biofuels for Transport: An International Perspective**; IEA / EET, 2004

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La evaluación de las perspectivas económicas para el etanol de cana de azúcar como combustible en Costa Rica fue desarrollada en el presente estudio a partir de los precios de paridad o indiferencia para productores y consumidores, respectivamente frente a alternativas de producción y otros vectores energéticos. En síntesis, resultó que, para los precios actuales de productos cañeros y de combustibles, la adopción de etanol se presenta atractiva para productores y usuarios, que podrán simultáneamente ampliar sus ganancias (productores) o gastar menos para atender su demanda energética (consumidores).

Para la mayor parte de los casos estudiados, en la presente configuración de precios no parece indicar la necesidad de mecanismos de soporte en los precios, como subsidios, ya que los precios practicados por exportadores costarricenses de etanol son inferiores por unidad de energía a los precios correspondientes a la gasolina “ex-impuestos” consumida en el país. Sin embargo, cabe al Estado un rol esencial de conductor y promotor del uso de ese biocombustible, creando las condiciones adecuadas para su utilización (obligación de uso, especificación, regulación, etc.) y proporcionando a los agentes económicos las perspectivas favorables de atractividad y bajo riesgo. Actualmente el aditivo antidetonante y oxigenante utilizado en Costa Rica es básicamente el MTBE, producto importado y en progresivo desuso en muchos países por sus potenciales impactos ambientales, que podrá ser remplazado totalmente pelo etanol nacional.

Los relevantes impactos macroeconómicos, como el efecto sobre la balanza de pagos y la generación de empleos ya fueran evaluados para Costa Rica en otros estudios recientes. Cabe observar que sería de real interés comprender a fondo y detalladamente la formación y distribución de la renta agroindustrial asociada al etanol, que podría utilizar un Modelo de Equilibrio General del sistema socio-económico, contabilizando los efectos inducidos y inductores sobre la actividad económica del país, además de los aspectos observados en las análisis de carácter macroeconómico. Este tema está más allá de los propósitos del presente estudio, pero se menciona como una

sugerencia para trabajos futuros de relevancia, inclusive como refuerzo a tomada de decisión.

Los costos de producción de etanol en Costa Rica pudieran ser conocidos de forma limitada, siempre a partir de indicaciones de productores y resultaran valores que están entre los costos más altos del mundo. Posiblemente los costos estudiados y las inferencias realizadas en este tema no reflejen la realidad predominante en los ingenios, indicada por los altos niveles de productividad agroindustrial observados en el país. Más allá de dificultades de levantamiento de datos, existen dificultades metodológicas inherentes e insuperables en estimativas de costos para industrias con múltiples productos como son los actuales ingenios. Realmente la determinación exacta los costos pierde un poco sentido cuando se observa que, independientemente de tener costos altos o bajos, Costa Rica es un exportador de etanol competitivo y de creciente importancia, practicando precios internacionales y sin subsidios. .

Sobre las perspectivas de evolución futura de los precios, conforme comentado en el párrafo anterior, es importante tener en cuenta la progresiva reducción de la producción europea de azúcar, asociada a las determinaciones de la OMC penalizando el régimen de subsidios en los países de la Comunidad Europea y el consecuente incremento de producción en diversos países asiáticos y de América Latina, frente a una evolución relativamente lenta del consumo, condicionantes contradictorios que hacen efectivamente muy difícil predecir cual podrá ser la tendencia predominante de los precios del producto edulcorante. De toda manera la tendencia de reducción del consumo de azúcar per capita en escala mundial es bastante clara, asociada a penetración de los edulcorantes sintéticos, que explica la posible merma de los precios en una perspectiva de largo plazo, en un cuadro de excedentes estructurales de oferta y de reducción de la importancia relativa de la fracción del mercado internacional que es comercializada a precios preferentes. Por eso, más allá que cualquier factor energético o ambiental, hay razones de fondo importantes y estratégicas para buscar la diversificación productiva en la agroindustria azucarera.

Ya para el mercado internacional petrolero se apunta como más evidente una convergencia de factores de alza de precios, señalizando que los actuales precios del

crudo, arriba de 50 dólares el barril, deben permanecer en estos niveles por algunos años, por lo menos. La fuerte inflación de los costos directos y indirectos en las actividades del “downstream” a partir de 2001, que prácticamente doblaran en los costos de producción en últimos cinco años, entre otras causas como una consecuencia del significativo incremento del precio del acero, la permanencia de elevadas tasas de crecimiento de la demanda de derivados, particularmente en los mercados asiáticos, la relativa limitación de reservas de fácil acceso, la estrangulación de la capacidad de refino, son relevantes factores que se suman a un complejo cuadro de concentración de reservas en países políticamente sensibles y con una creciente adopción de condicionantes de carácter ambiental que exigen productos menos agresivos y menos contaminantes, imponiendo como resultado la estabilización de los precios internacionales del petróleo a niveles más altos comparativamente a las décadas anteriores⁵⁶.

Naturalmente que las condiciones vigentes de atractividad económica pueden cambiar en el futuro, sea por una reducción expresiva de los precios del petróleo, debajo de los 35 dólares el barril o por un incremento importante y permanente de los precios del azúcar o de las melazas. Aún que estos escenarios no parezcan muy factibles, es casi imposible pretender una absoluta seguridad en las proyecciones de precios de commodities, como es el caso, para definir de forma irrevocable la economicidad del etanol. Igualmente importante en ese tipo de discusión, de manera tan relevante como los parámetros económicos, es preciso observar que la adopción de ese biocombustible como componente en la gasolina se justifica también por sus efectos ambientales y sobre el desarrollo local. En ese sentido, la determinación consistente y suficientemente detallada de las externalidades podría brindar al análisis económica una dimensión nueva, de real validez para el decidor público y para el diseño de políticas energéticas relacionadas a los biocombustibles.

Las implicaciones ambientales asociadas a adopción del etanol como oxigenante en mezclas combustibles para motores de ciclo Otto son suficientemente conocidas y recomiendan que se brinde atención principalmente para la fase agroindustrial. Es muy

⁵⁶ Hoyos, C.; Catan, T. (Financial Times), “Setor de petróleo enfrenta alta de custos”, Caderno Econômico, **Folha de São Paulo**, 4/9/2005

importante que sea fomentado el uso de prácticas conservacionistas, como control biológico de plagas, y la adecuada gestión de residuos como la vinaza y torta de filtro (cachaza). Existen en la actualidad tecnologías apropiadas disponibles para hacer la producción de etanol bastante aceptable, casi siempre con un alto nivel de reciclaje que permite reducir la demanda de fertilizantes minerales, bastante costosos y con significativo impacto ambiental en su producción y utilización.

Con relación a las emisiones de gases de impacto local, el uso de mezclas de gasolina con etanol permite reducir de manera efectiva la contaminación causada por los vehículos a gasolina, particularmente para motores más antiguos. La posibilidad de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero a través del uso de etanol permite que programas de introducción de ese biocombustible eventualmente accedan a fondos y recursos en el ámbito del Mecanismo de Desarrollo Limpio, conforme establecido en el Protocolo de Kyoto; sin entretanto este aporte significar un cambio decisivo en la economicidad.

Efectivamente, considerados todos los efectos e impactos, se puede afirmar que la sustitución parcial de combustible fósil por ese biocombustible, como el caso del gasohol, presenta una gama beneficios que claramente supera los problemas e impactos indeseables, siempre y cuando la temática ambiental reciba la adecuada atención. Además, es interesante observar que en Costa Rica la producción de etanol podrá basarse en el uso de las melazas disponibles en la producción de azúcar, sin implicar en expansión significativa de la superficie actualmente plantada en caña.

Concluyendo, es crucial tener en cuenta el proceso de introducción del etanol en la matriz energética, para hacerlo realmente sostenible. En ese sentido, es imperativo implementar las acciones de forma progresiva, planificada, comprometiendo todos los agentes involucrados con la producción y uso del biocombustible, en especial valorizando la información a todos los interesados, entre ellos y principalmente a los consumidores. Realmente este combustible deberá y podrá aportar ventajas importantes económicas y ambientales, no pareciendo existir razones que impidan que Costa Rica lo utilice.

El Proyecto Aire Limpio San José es un esfuerzo interinstitucional en el que participan además del MOPT y GTZ (Cooperación Alemana), el Ministerio de Salud , MINAE, MEP, la Defensoría de los Habitantes, ARESEP, la CCSS, el INA, la Municipalidad de San José, la UNA, la UCR, CONADECO, el Colegio de Periodistas, RITEVE SyC y SwissContact.

" La Plataforma Interministerial del Proyecto Aire Limpio San José agradece la iniciativa y cooperación brindada por la Dirección Sectorial de Energía (DSE), que hicieron posible la realización de este estudio".



gtz

