

# Biocombustibles como alternativa de los combustibles fósiles: ¿solución integral o apenas un paliativo?

Roberto E. Cunningham

*Director General del Instituto Argentino del Petróleo y del Gas*

El análisis de la producción de biocombustibles nos revela un caso típico de desarrollo de un producto como sustituto de otros ya instalados en el mercado.

Este estudio se inicia observando que, comparado con el caso general, el de los biocombustibles muestra la singularidad de que su producción involucra el consumo del tipo de producto que se pretende sustituir (combustible fósil). A ello se añade la enorme diversidad de rendimientos debida a la influencia del clima sobre los cultivos de origen. A continuación, se efectúa un análisis crítico del modo en que se emplea el concepto de Balance Energético Neto, observándose que, antes que sacar conclusiones basadas en un balance de cantidad de energía térmica, lo importante es aplicar un balance de cantidad de materia aplicado al recurso fósil involucrado.

Luego se calcula a nivel mundial el equivalente en biocombustible de los principales vegetales cultivados (que son su materia prima). Ello se efectúa para distintas regiones en todo el mundo, comparándose dicho volumen equivalente con el del combustible fósil consumido en la región.

Se observa que la capacidad de sustitución es muy pequeña y que el recurso biomásico de mayor volumen es la madera como fuente de etanol.

Finalmente, se describe el dramático cambio de escenario que provocará la irrupción de China, con su enorme tamaño y su continuo crecimiento, y su efecto sobre la civilización del petróleo que hasta ahora hemos construido.



## Introducción

De un tiempo a esta parte, el tema de los biocombustibles viene ocupando un creciente espacio en materia de artículos científicos y técnicos.

Como en cualquier producción industrial las áreas abordadas incluyen análisis y discusiones acerca de materias primas, procesos, tecnologías, características del producto, mercados, inversiones, costos, precios, etc.

La declinación, en cuanto a reservas, de los recursos fósiles y la cuestión ambiental son las dos principales fuerzas impulsoras que alientan esta tendencia.

Desde el punto de vista de gestión empresarial, todo esto se inscribe en el ámbito del desarrollo de un producto como probable sustituto de otro ya instalado en el mercado.

Hasta aquí, las similitudes con cualquier producción industrial son obvias.

Sin embargo, como gestión de desarrollo de un producto, los biocombustibles exhiben características singulares que, además, se extienden más allá del marco de la empresa, invadiendo políticas y mercados a nivel nacional e incluso internacional.

Para explicar esta singularidad, debemos tener en cuenta que todo proceso industrial requiere el consumo, entre otros insumos, de materias primas y de energía. A su vez, y he aquí lo importante para nuestro caso, la energía se genera a partir de una determinada fuente primaria. Si se trata de energía eléctrica, esas fuentes primarias pueden ser de origen hidráulico, eólico, nuclear, fotovoltaico, fósil, etc. En cambio, si se trata de energía térmica, la fuente primaria

más frecuente suele ser un combustible fósil. Nos encontramos entonces ante el hecho singular de que la generación del producto que se pretende fabricar (biocombustible) consume parte de aquel que se busca sustituir (combustible fósil). Obviamente esta singularidad representa al mismo tiempo una debilidad del proceso de producción.

Por otra parte, es necesario observar otra característica proveniente del hecho de que la materia prima de un biocombustible es un determinado recurso biomásico, más precisamente, vegetal. El clima aparece, de esta manera, como un factor determinante en relación con la productividad (por ejemplo, tonelada vegetal/ha y m<sup>3</sup> biocombustible/tonelada vegetal) de la materia prima específica del biocombustible (por ejemplo, azúcar, almidón, celulosa o un aceite vegetal).

Ello conduce a que tengamos un amplio espectro de variación del consumo específico de materia prima según la región geográfica que estemos considerando; por ejemplo, existe una gran diferencia entre el rendimiento de la caña de azúcar en Brasil y en Estados Unidos.

Obviamente, ello deriva en diferencias de costos y, por ende, de rentabilidad.

Como mera acotación valga decir que el mundo de los dos tipos de productos en juego (biomasa y petróleo) muestran, curiosamente, características opuestas.

En efecto, como acabamos de ver, el mundo de la biomasa es esencialmente regional; a ello se añaden dos importantes factores: 1) la enorme variedad química de las especies vegetales (una palma, una menta, un maíz, un tronco, nada tienen en común en cuanto a su composición química), y

2) las tecnologías de obtención de sus principios activos son simples (extracción de tales principios).

En contraposición, químicamente hablando, el petróleo es de composición muy similar cualquiera sea su origen y las tecnologías de su transformación son complejas.

La variedad en el mundo del petróleo reside en los rendimientos por pozo y la incertidumbre en el horizonte de sus reservas.

Pero este carácter antagónico se extiende, de nuevo curiosamente, al modo de aprovechamiento o explotación de cada recurso. Así pues, para la biomasa se respeta la construcción molecular desarrollada por la naturaleza y es así como se producen colorantes, antioxidantes, saborizantes, aromatizantes, etc., todos ellos de moléculas complejas. En cambio, la petroquímica arranca con la demolición del edificio molecular del petróleo (biomasa fósil al fin), para así generar sus famosos ladrillos básicos.

Como primera conclusión, señalaremos que estamos frente a un caso que exigirá suma prudencia y juicio crítico a la hora de generar conclusiones.

Precisamente, esto explica la variedad y divergencia de resultados y propuestas que se encuentran en la literatura debido a la citada influencia geográfica y a una cierta superficialidad, y hasta ingenuidad, en el tratamiento del tema.

La figura 1 es un ejemplo de lo que venimos diciendo y la tabla 1 complementa la figura 1.

Tabla 1. Rendimientos según región y cultivo, litros/ha.

	EE. UU.	UE	Brasil	India
Etanol de maíz	3100			
de trigo		2500		
de remolacha		5500		
de caña			6500	5300
Biodiésel de girasol		1000		
de soja	500	700		
de cebada		1100		
de colza		1200		

A su vez, la tabla 2 muestra el ámbito de eficiencia de producción de etanol y biodiésel para distintos cultivos, así como la energía consumida en su producción en relación a la contenida en el biocombustible. Volveremos luego sobre este último concepto.

Tabla 2. Eficiencia en la producción de los biocombustibles.

Cultivo	Eficiencia de producción litros/tonelada		Eficiencia energética consumida/producida	
	mínimo	máximo	mínimo	máximo
<b>Etanol</b>				
Maíz	366,4	470,0	0,50	0,95
Trigo	346,5	349,0	0,81	1,03
Remolacha	54,1	101,3	0,56	0,84
Madera	288	371	1,20	1,90
Hierba	303	390	1,00	1,60
<b>Biodiésel</b>				
Colza	1,13	1,51	0,33	0,82

Pero, como no podía ser de otro modo, esta dispersión de valores se propaga en otros efectos, tales como la magnitud de la reducción del efecto invernadero y sus costos, según vemos en las figuras 2 a 4.

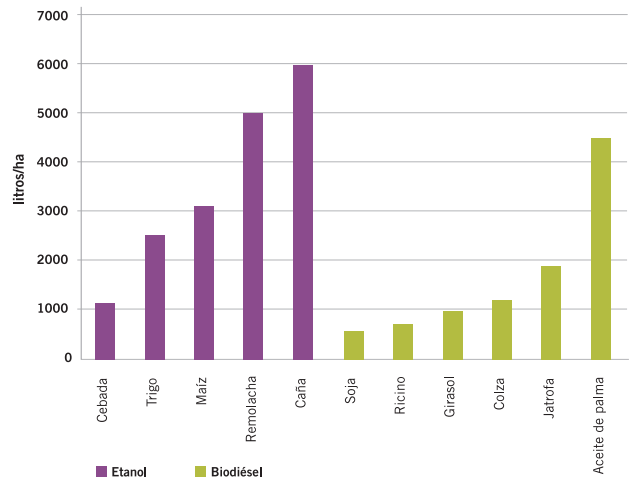


Figura 1. Panorama de rendimientos agrícolas de distintas materias primas para la producción de etanol y biodiésel.

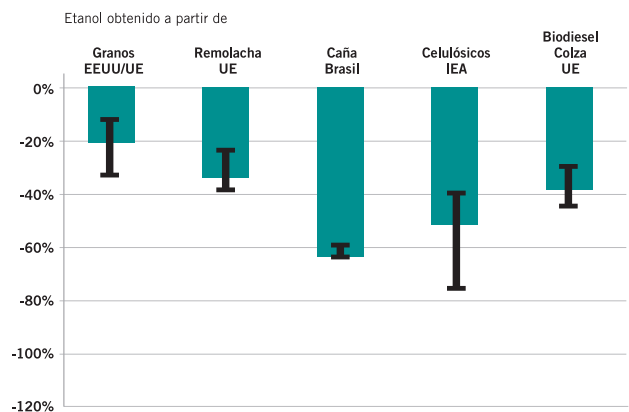


Figura 2. Estimación de la reducción del efecto invernadero debido a los biocombustibles.

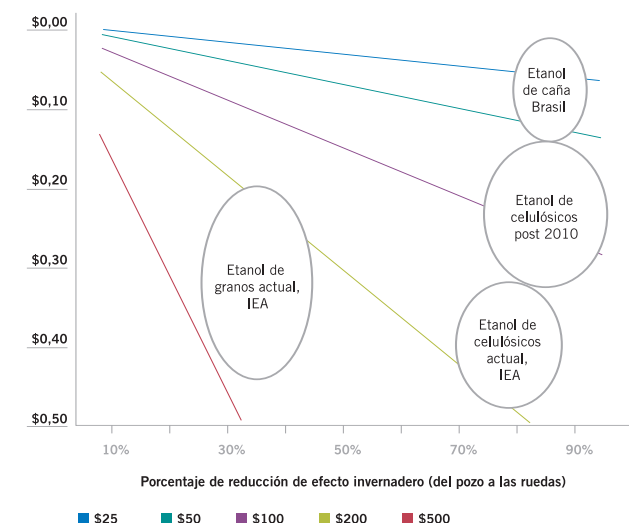


Figura 3. Costo del biocombustible por tonelada de reducción de efecto invernadero.

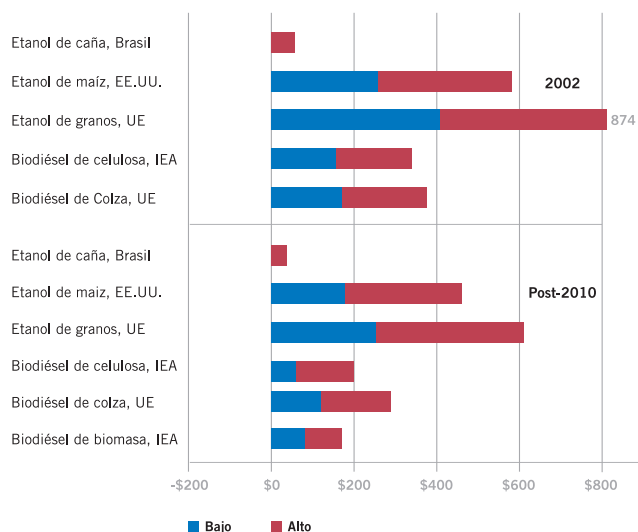


Figura 4. Costo de biocombustibles por tonelada de reducción de efecto invernadero.

## Energía y biocombustibles

Pasaremos ahora a tratar más específicamente nuestro caso.

En primer lugar, podemos decir que el campo de la energía involucra dos grandes áreas: la electricidad y el transporte. Los biocombustibles se aplican básicamente a la segunda área.

Además, salvo el caso del ferrocarril en algunos países europeos, el resto del transporte está sometido al uso de combustibles de origen fósil, tanto para el transporte aéreo, como para el fluvial, el marítimo, el urbano o el agrario. Aproximadamente un 70% del petróleo consumido en el mundo es destinado al transporte.

Como es sabido, son dos los biocombustibles en uso: el etanol, destinado a la sustitución de gasolina en motores de combustión interna, y el biodiésel, concebido para reemplazar el gasoil en motores diésel.

Valga agregar que el tercer biocombustible, el biooil, se encuentra aún en fase de desarrollo.

Por otra parte, las materias primas para producir etanol pueden ser azúcares, almidón o celulosa, mientras que el biodiésel se produce principalmente a partir de aceites vegetales.

Ahora bien, al efectuar un análisis crítico de los biocombustibles es necesario precisar que el mismo se puede llevar a cabo desde dos perspectivas distintas: 1) desde el lado del producto sustitutivo, esto es, el biocombustible, o bien 2) desde el lado del producto por sustituir, es decir, el combustible de origen fósil.

Comenzaremos con el primer enfoque.

## Panorama desde el punto de vista de los biocombustibles

### Diferentes costos

Los distintos rendimientos a que hemos aludido se traducen a su vez en una amplia variedad de costos de producción.

Así pues, un informe del United States Department of Agriculture (USDA) provee los valores para costos de producción de etanol que se muestran en la tabla 3.

Tabla 3. Costos de producción de etanol según materia prima y región.

Materia prima	Región	Costo, ¢/litro
Caña	EE. UU.	61,9
	Brasil	21,4
Remolacha	EE. UU.	62,1
	Venezuela	76,4

Por su parte, M.S. de Queiroz da las cifras para costos de etanol que se indican en la tabla 4.

Tabla 4. Costos de producción de etanol según materia prima y región.

Materia prima	Región	Costo, ¢/litro
Caña	Brasil	20
	Tailandia	29
	Australia	32
Maíz	EE. UU.	47
Cereales	EE. UU.	97

Finalmente, la International Energy Agency (IEA) suministra la información que resumimos en la tabla 5 y en las figuras 5 y 6 de la página 42. La figura 7 completa esta información.

Tabla 5. Costos de producción, ¢/litro.

### Etanol

Plantas grandes para maíz, EE. UU.	29
Remolacha, Europa	42-60
Trigo, Europa	35-62
Trigo, 50 M litros, Alemania	81
Trigo, 200 M litros, Alemania	71
Remolacha, 50 M litros, Alemania	88
Remolacha, 200 M litros, Alemania	77
Maíz, 53 M litros, EE. UU.	48
Caña de azúcar, Brasil	23
Celulosa	29-36

### Etanol y gasolina en EE. UU.

	2002	2010	post 2010
Gasolina	21	23	25
Etanol de maíz	43	40	37
Etanol de álamo	53	43	27

### Biodiésel de colza en Europa

	Materia prima	Costo final
Planta pequeña	60	80
Planta pequeña	30	50
Planta grande	60	65
Planta grande	30	35

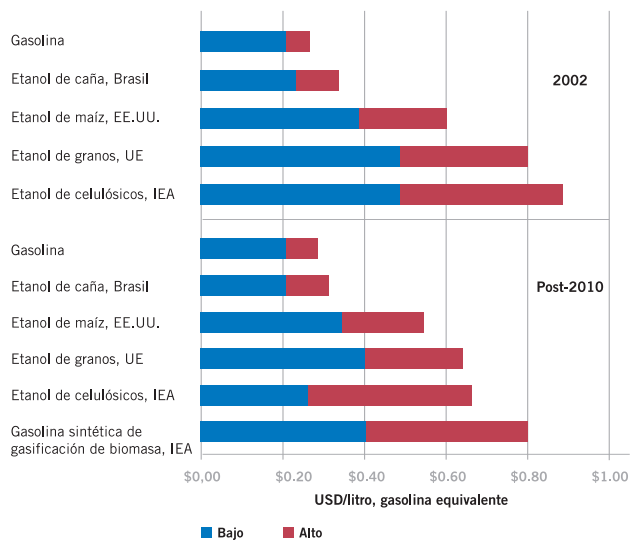


Figura 5. Ámbito de costos de la producción actual y futura de etanol.

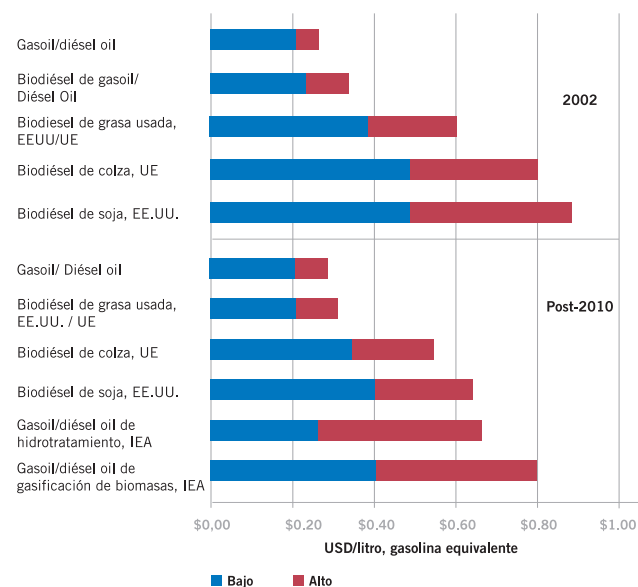


Figura 6. Ámbito de costos de la producción actual y futura de biodiésel.

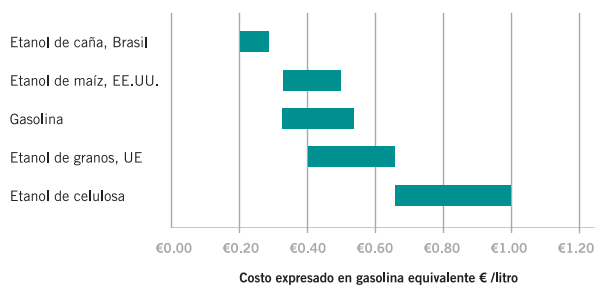


Figura 7. Panorama de costos de producción de etanol 2006

Esta dispersión de valores nos exige de mayores comentarios acerca de las características propias de la ruta biomásica que ya hemos citado (regionalismo y diversidad).

En tanto, la producción mundial de etanol y biodiésel continúa creciendo sostenidamente, como se ve en las figuras 8 y 9; las tablas 6 y 7 de la página 44 muestran los principales productores, respectivamente.

Ello significa (ver tablas 9 y 10 de las páginas 49 y 50, respectivamente) que un 18% de la producción mundial de

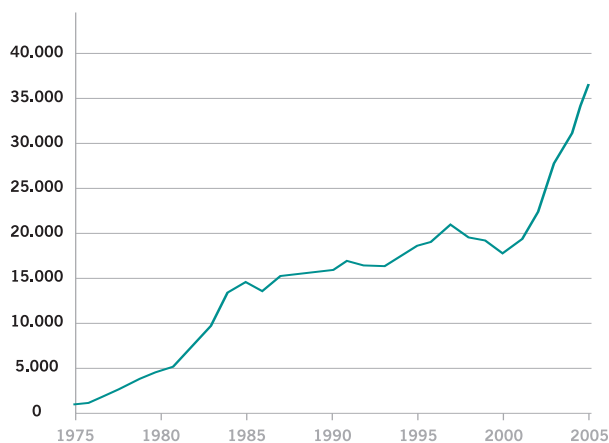


Figura 8. Evolución 1975-2005 de la producción mundial de etanol, en millones de litros.



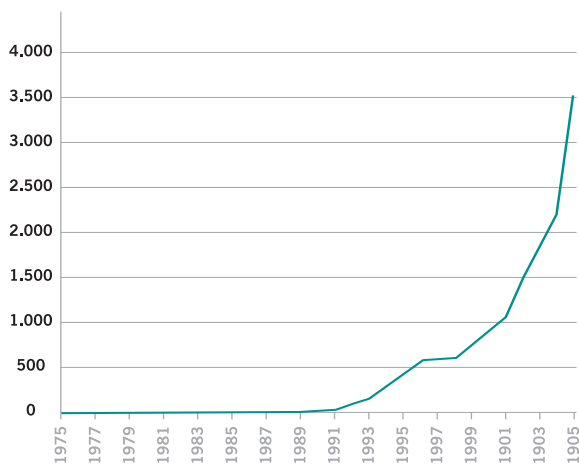


Figura 9. Evolución 1975-2005 de la producción mundial de biodiésel, en millones de litros.

caña y un 5,6% de la producción de maíz es destinada a etanol.

Ello significa que (ver tablas 11 y 12 de las páginas 50 y 52, respectivamente) menos de un 3% de la producción mundial de aceites vegetales se destina a biodiésel.

Se observa además que Brasil y Estados Unidos son responsables del 90% de la producción mundial de etanol. En Brasil el biodiésel involucra el 40% del mercado de combustibles livianos y en Estados Unidos sólo el 2%.

Por otra parte, la producción de etanol a partir de celulosa podría incrementarse considerablemente introduciendo enzimas en el proceso. Esta innovación representará un factor decisivo para el futuro del etanol dado que la materia prima más abundante para su producción es la madera.

### El concepto de Balance Energético Neto (BEN)

El Balance Energético Neto (BEN) computa todos los insumos energéticos puestos en juego durante el proceso de fabricación de un producto (en nuestro caso el biocombustible) y compara el total de los mismos con el contenido energético de este último.

Con este objetivo, se tiene en

cuenta que para el proceso hay consumos de energía directos y otros que provienen de la fabricación de determinados insumos (por ejemplo, fertilizantes).

Sin embargo, no existe un criterio unificado entre los distintos autores respecto de este cálculo, lo cual conduce a resultados y conclusiones diferentes.

Como ejemplo, bástenos el siguiente comentario de D. Pimentel y T.W. Patzek:

“Shapouri (Shapouri, Duffield, and Wang, 2002; Shapouri y otros, 2004) del USDA expresa que la producción de etanol provee un BEN positivo. A su vez, algunas grandes corporaciones, incluyendo Archer, Daniels, Midland (McCain, 2003) defienden la producción de eta-

Tabla 6. Los cinco principales productores de etanol 2005, en millones de litros.

Brasil	16.067
Estados Unidos	14.755
China	1000
Unión Europea	950
India	300

Tabla 7. Los cinco principales productores de biodiésel 2005, en millones de litros.

Alemania	1920
Francia	511
Estados Unidos	290
Italia	227
Austria	83

nol de maíz y están generando grandes márgenes de esta producción, que está subsidiada a través del Estado.

Algunos políticos también defienden la producción de etanol basándose en el error de que la misma provee grandes beneficios a los granjeros, cuando en rigor éstos son mínimos. En contraste con el USDA, existe una gran cantidad de estudios científicos que concluyen en cuanto a que la producción de etanol no provee un BEN positivo, que el etanol no es una fuente renovable de energía, que no es un combustible económico y que su producción y uso contribuyen a la contaminación de aire, agua y suelo y al

efecto invernadero (Ho, 1989; Citizens for Tax Justice, 1997; Giampietro, Ulgiati and Pimental, 1997; Youngquwist, 1997; Pimentel, 1998, 2001, 2003 NPRA, 2002; Croysdale, 2001; CalGasoline, 2002, Lieberman, 2002; Hodge, 2002, 2003; Ferguson, 2003, 2004; Patzek, 2004). El cultivo de las grandes cantidades de maíz necesarias para obtener etanol ocupa tierras adecuadas para la producción de alimentos, generando serios problemas éticos (Pimentel, 1991, 2003; Pimentel y Pimentel, 1996).

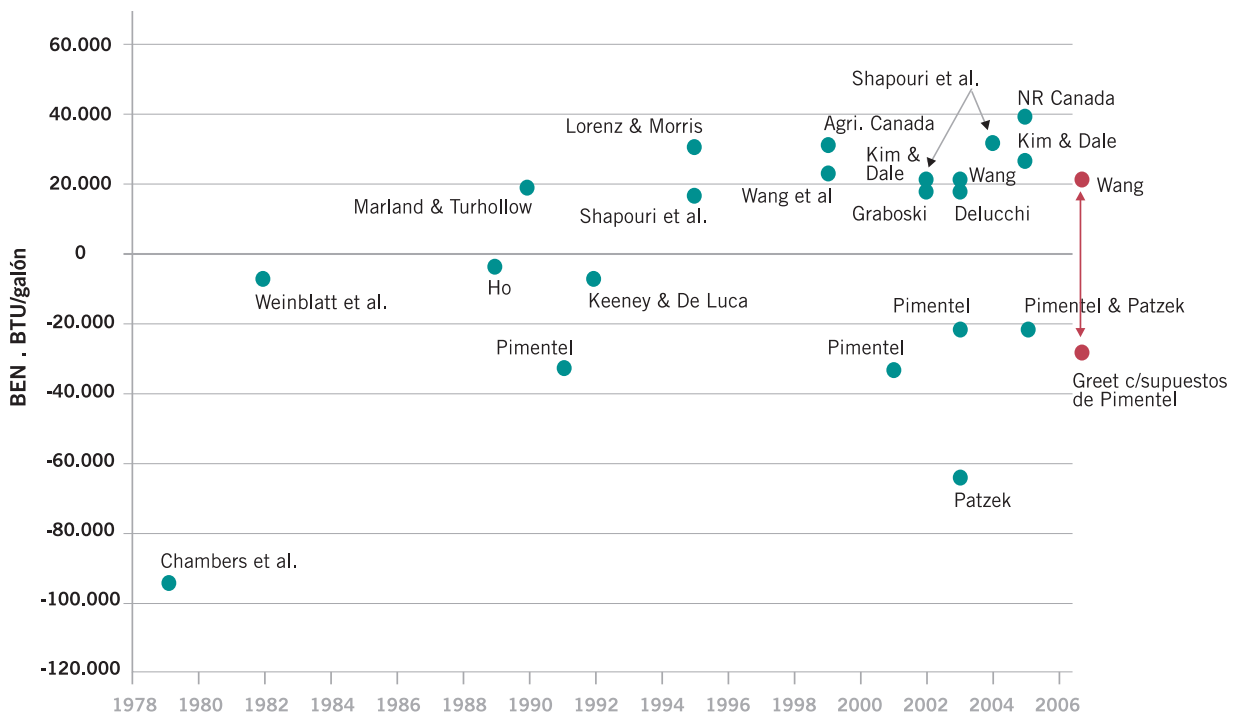
Los estudios de Shapouri (Shapouri, Duffield y Wang, 2002; Shapuri y otros, 2004) relativos a los beneficios del etanol resultan incompletos pues omiten algunos insumos energéticos del proceso. El objetivo de este análisis es actualizar y computar todos los insumos que tienen lugar en toda la cadena de producción del etanol. Estos insumos comprenden tanto los insumos directos para producir el maíz como así también los correspondientes a las etapas de fermentación y destilación.

En términos de costos adicionales para el consumidor, se incluyen subsidios estatales y costos asociados con la contaminación y degradación que tienen lugar durante todo el proceso. La producción de etanol en los Estados Unidos no beneficia a la seguridad energética nacional, ni su agro, economía o ambiente. También se agrega la cuestión ética derivada de la desviación de tierra y alimento hacia combustible, además de la problemática de la contaminación”.

Hasta aquí la transcripción literal. Como bien puede apreciarse, sobran los argumentos opuestos a la producción de etanol en Estados Unidos.

Para alentar aún más la controversia, solamente citaremos la presentación de M. Wang en la que emplea el

Figura 10. Evidencia de la dispersión de resultados sobre el cálculo del Balance Energético Neto fósil en la producción de etanol.



denominado BEN fósil, que consiste en comparar el consumo de energía fósil con el contenido energético del biocombustible.

En este artículo, Wang releva los valores de BEN fósiles calculados por 22 autores entre 1979 y 2005, que nosotros reproducimos en la figura 10 de la página 10. La misma es claramente demostrativa de las divergencias que hemos citado anteriormente.

Wang observa que una de las razones para esta discrepancia está dada por las diferentes definiciones del límite de batería en el cálculo. Así pues, todo depende de si se tienen en cuenta o no las siguientes etapas periféricas del proceso mismo: a) materiales de construcción de la planta, b) materiales de construcción de los equipos agrícolas, c) colocación del grano en puerta de fábrica, d) energía solar acumulada en el grano.

Ahora bien, sin detenernos en el análisis de todos estos juicios, debemos remitirnos a la introducción de este artículo, en la cual decíamos que, a nuestro entender, antes que el consumo global de energía, lo importante es discernir el volumen relativo al consumo de combustible de origen fósil, dado que éste es el que se busca reemplazar con etanol. Es decir, lo esencial es interpretar el balance de cantidad de materia antes que de energía térmica, lo cual depende obviamente del proceso y su tecnología.

Por ejemplo, en el citado cálculo de Pimentel y Patzek, de 8115 millones kcal/ha para producir maíz, 1003 millones kcal/ha se deben a diésel oil y 405 millones kcal/ha provienen de gasolina. Dicho de otro modo, un 17,4% de la energía consumida en la producción del grano se debe a combustibles de origen fósil.

A su vez, para la producción de etanol 99,5% V/V se consume un total de 6597 kcal/litro etanol, de las cuales 2546 kcal/litro se deben a la generación de vapor. Si a ello agregamos que 439 kcal/litro provienen del consumo de combustible fósil para producir maíz, entonces el consumo total por tal concepto es de 2985 kcal/litro de etanol.

Si tenemos en cuenta que el contenido energético del etanol como combustible es de 5130 kcal/litro, resulta que para producir la energía contenida en 1 litro de etanol, debemos consumir un 52% de la misma a costa del combustible fósil (o su equivalente) que se pretende sustituir.

¿Qué significa esto realmente? Que cuando sustituimos gasolina por etanol el ahorro de combustible fósil es, en valor equivalente, del orden de la mitad del reemplazado.

Dicho en otros términos, y para las condiciones climáticas de Estados Unidos, si se reemplazara con etanol el 100% de la gasolina que se consume, en rigor se deberá seguir consumiendo en números redondos la mitad de lo que se consumía anteriormente en equivalente fósil.

A su vez, con relación al biodiésel, se afirma que el consumo de combustible fósil es de aproximadamente un tercio del contenido energético del biocombustible.

Vemos entonces que el concepto de BEN aplicado adecuadamente nos permite discernir el verdadero grado de sustitución de combustibles fósiles y la continuidad de su dependencia.

Ello, a menos que el volumen de biocombustibles disponible alcance (como ocurre hoy con los fósiles en una refinería) para sustituir todos los fósiles equivalentes del

mercado más el consumo necesario para producir el biocombustible.

Queda, sin embargo, un aspecto más por analizar con relación al concepto de BEN y sus consecuencias. Como hemos visto, hay autores que desechan el posible uso de un biocombustible, basándose en el hecho de que su BEN sea negativo o menor que la unidad (según cómo sea que se lo exprese).

Existe en este punto un concepto oculto más profundo, como es la evolución que ha tenido el consumo de energía a lo largo de la historia.

En tal sentido, cabe observar que, hasta la Revolución Industrial, la energía consumida en cualquier emprendimiento era mayoritariamente de origen por tracción a sangre (humana o animal), el resto lo era por leña y ruedas hidráulicas.

La Revolución Industrial sustituyó la tracción a sangre y las ruedas hidráulicas por máquinas que se alimentan de electricidad o combustibles y la leña fue reemplazada a su vez por combustibles de origen fósil (en el principio fue el carbón mineral y más tarde el petróleo y el gas natural).

Esta sustitución no sólo se ha dado en la etapa de producción en sí misma sino también en la de transporte de las materias primas hasta puerta de fábrica y del producto hasta puerta del consumidor, generando un incremento fenomenal de la productividad (cantidad de producto generado por unidad de tiempo).

En términos de equivalencia energética, las máquinas que hoy nos rodean equivalen al trabajo por tracción a sangre que produciría un ejército de 500 esclavos al servicio de cada uno de nosotros; a su vez, una caloría de petróleo es alrededor de mil veces más barata que la de tracción a sangre humana.

Dicho en otros términos, el aumento de producción se ha concretado a costa de un consumo específico de energía cada vez mayor (energía consumida por unidad de contenido energético en el producto).

Cuando un alimento enlatado llega a nuestras manos, el mismo contiene un décimo de la energía gastada en producirlo; en la Edad Media era exactamente al revés. La eficiencia termodinámica se ha reducido unas cien veces, pero la población mundial, al igual que el límite de edad (entre otros indicadores de bienestar), han crecido.

Es el precio pagado por el progreso. Hasta ahora, civilización y termodinámica representan conceptos antagónicos.

Llegamos así a la conclusión de que desear un producto porque involucra un BEN negativo implica apresuramiento y estrechez de miras en el análisis.

A continuación, nos dedicaremos a analizar la capacidad de sustitución de combustibles fósiles por parte de biocombustibles.

## Panorama desde el punto de vista de los combustibles fósiles

El siguiente análisis lo llevaremos a cabo tratando de discernir una medida de la capacidad de generación del biocombustible sobre la base de su equivalencia con la materia prima biomásica actualmente producida.



Tabla 8. Regiones y sus países.

<b>África</b>	<b>Europa Central y Oriental</b>	<b>Medio Oriente</b>	<b>América Latina</b>
Angola	Albania	Arabia Saudita	Antillas Holandesas
Argelia	Bosnia y Herzegovina	Bahrein	Argentina
Benin	Bulgaria	Emiratos Árabes Unidos	Bolivia
Botswana	Chipre	Irak	Brasil
Cameron	Croacia	Irán	Chile
Congo	Eslovenia	Israel	Colombia
Costa de Marfil	Estonia	Jordania	Costa Rica
Egipto	Letonia	Kuwait	Cuba
Eritrea	Lituania	Líbano	Ecuador
Etiopía	Macedonia	Omán	El Salvador
Gabon	Malta	Qatar	Guatemala
Ghana	Rumania	Siria	Haití
Kenya	Serbia y Montenegro	Yemen	Honduras
Libia	Ucrania		Jamaica
Marruecos		<b>Federación Rusa (ex URSS)</b>	Nicaragua
Mozambique			Panamá
Namibia			Paraguay
Nigeria			Perú
Senegal			República Dominicana
Sudáfrica			Trinidad y Tobago
Sudán			Uruguay
Tanzania			Venezuela
Togo			
Túnez			
Zambia			
Zimbabue			
<b>Asia Central y Caspio</b>	<b>Asia Meridional y Sudoriental</b>	<b>Europa OECD</b>	<b>Pacífico OECD</b>
Armenia	Bangladesh	Alemania	Australia
Azerbaiyán	Brunei	Austria	Corea
Georgia	China	Bélgica	Japón
Kazajistán	Corea	Dinamarca	Nueva Zelanda
Kyrgyzstan	Darussalam	España	
Tayikistán	Filipinas	Finlandia	<b>América del Norte</b>
Turkmenistán	Hong Kong	Francia	Canadá
Uzbekistán	India	Grecia	Estados Unidos
	Indonesia	Holanda	México
	Malasia	Hungría	
	Myanmar	Inglaterra	
	Nepal	Islandia	
	Pakistán	Luxemburgo	
	Singapur	Noruega	
	Sri Lanka	Polonia	
	Tailandia	Portugal	
	Taipei	República Eslovaca	
	Vietnam	Suecia	
		Suiza	
		Turquía	

Para ello, recurrimos a las estadísticas de la Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), que provee información sobre la producción de distintas materias primas vegetales en todos los países del mundo. A su vez, hemos agrupado estos países en las regiones que establece el Banco Mundial en sus informes sobre consumo de gasolina y de gasoil.

Estas regiones y sus países son los indicados en la tabla 8. Hay algunos países de Asia y África que no están inclui-

dos en este listado, razón por la cual los totales mundiales no coinciden exactamente con la suma según regiones. Las diferencias son mayores en el caso de la madera.

A su vez, hemos considerado las siguientes materias primas vegetales:

Para la producción de etanol:

- caña de azúcar
- maíz
- trigo

Tabla 9. Factores de conversión.

**Etanol**

Equivalencia	1,1 litros/litro gasolina
Densidad etanol	0,8 tonelada/m <sup>3</sup> ;
	densidad gasolina 0,75 tonelada/m <sup>3</sup>

**Rendimientos, m<sup>3</sup> etanol/tonelada materia prima**

Caña	0,07
Trigo	0,36
Maíz, sorgo	0,37
Cebada	0,39
Madera (densidad media 0,65 tonelada/m <sup>3</sup> )	0,36

**Biodiésel**

Equivalencia	1,18 litros/litro gasoil
Consumo específico	0,91 litros aceite/litro biodiésel
Densidad biodiésel	0,88 tonelada/m <sup>3</sup> ; densidad gasoil 0,90 tonelada/m <sup>3</sup> (por lo tanto, con el grado de aproximación con que estamos trabajando aquí, es igual un valor expresado en litro/litro que en tonelada/tonelada)

**Tenor de aceite, % en peso**

Girasol	42
Colza	38
Soja	18

- cebada
- sorgo
- madera

Para la producción de biodiésel:

- girasol
- soja
- colza

Para cada una de estas materias primas hemos empleado como factores de conversión los indicados en la tabla 9.

Así pues, el procedimiento seguido consistió en computar la producción total de cada materia prima en las regiones antes citadas. Luego, empleando el factor de conversión del caso, se calculó el equivalente en biocombustible para cada producción vegetal.

Para el etanol, se comparó el volumen en equivalente fósil obtenido a partir de cada materia prima con el volumen de gasolina consumido para transporte en dicha región y se lo expresó como porcentaje de sustitución.

Se hizo lo mismo con el biodiésel.

Los resultados se dan en las tablas 10 y 11 de la página 50, en donde valor 0 denota insignificante.

Estas tablas implican tres elementos de análisis: a) el volumen de la producción de biomasa como recurso regional; b) el volumen de producción de etanol y biodiésel a partir de dicho recurso biomásico, tomando el volumen

Tabla 10. Capacidad de sustitución de gasolina por etanol por regiones a partir de distintos cultivos a producción actual. Para cada cultivo se indica el volumen de producción de etanol equivalente a gasolina (millones m<sup>3</sup>); en cursiva se indica la capacidad de sustitución de gasolina (%).

	ATBM	Caña		Maíz		Trigo		Cebada		Sorgo		Madera industrial*		MPC	Gasolina	
OECD Europa	235,10	0	0	14	9	50 <sup>(5)</sup>	32	21 <sup>(6)</sup>	13,4	0,10	0	138 <sup>(9)</sup>	89	22 <sup>(10)</sup>	14	156
América Latina	194	37 <sup>(1)</sup>	67	22	40	7,4	13,4	0,6	1,1	2,0	3,6	110	200	15	27	55
África	140	4	11	13	35	6,9	18,6	2	5,4	5,6 <sup>(8)</sup>	15,0	105	283	3,5	9	37
OECD Pacífico	44,08	2,4	2	0,2	0,2	6,9	7,5	2,4	2,6	0,68	0,73	27	29	4,5	5	91
América del Norte	464,4	4,5	1	112 <sup>(4)</sup>	19	28,3	4,9	6,5 <sup>(7)</sup>	1,1	6,1 <sup>(4)</sup>	1,0	265	46	42 <sup>(4)</sup>	7	573
Europa Central y Oriental	59,8	0	0	12	80	11,7	78	5,3	33	0	0	28	187	2,8	19	15
Oriente Medio	8,98	0,4		0,5	0,6	6,9	11,3	1,0	1,6	0,18	0,29	0	0	0	0	61
Caspio	8,1	0	0	0,5	6	6,9	77	0,7	7,8	0	0	0	0	0	0	9
Asia Oriental	225,2	15 <sup>(2)</sup>	14	54 <sup>(2)</sup>	52	29 <sup>(2)</sup>	28	1,1	1,1	0,8	1	122 <sup>(2)</sup>	117	3,3	3,3	104
Rusia	88,5	0	0	1	2,8	15,6	44	5,5	15,7	0	0,75	55	157	11,4	33	35
Asia Meridional	152,8	19 <sup>(3)</sup>	146	6	5	30,8 <sup>(3)</sup>	237	0,4	3,1	2,6	20	94 <sup>(3)</sup>	723	0	0	13
Mundo	1630,96	82,3	7,2	235,2	21	200,4	17,7	46,5	4,0	18,06	1,7	944	135	104,5	15	1162
Brasil		26	153	14	82	2,0	11,7	0	0	0,7	4,18	69	531	15	115	17

País fundamentalmente responsable de la alta producción: 1. Brasil, 2. China, 3. India, 4. EE. UU., 5. Francia, 6. Alemania, 7. Canadá, 8. Nigeria, 9. Suecia, 10. Suecia – Finlandia.

América del Norte, Europa OECD y Asia Oriental representan el 73,5% del consumo de gasolina.

ATMB: aporte total de la biomasa. MPC: madera para celulosa.

\* Postes, tablas, chapas.

Tabla 11. Capacidad de sustitución de gasoil por biodiésel por regiones a partir de distintos cultivos a producción actual. Para cada cultivo se indica el volumen de producción de biodiésel equivalente a gasoil (millones m<sup>3</sup>); en cursiva se indica la capacidad de sustitución de gasoil (%)

	Colza		Girasol		Soja		Gasoil
OECD Europa	5,0 <sup>(1)</sup>	2,8	1,9 <sup>(1)</sup>	1	0,06	0	179
América Latina	0	0	1,45	30	14,6 <sup>(4)</sup>	29,0	51
África	0	0	0	0	0	0	25
OECD Pacífico	0	0	0	0	0	0	53
América del Norte	2,9 <sup>(2)</sup>	1,9	0	0	14,7 <sup>(5)</sup>	9,5	154
Europa Central y Oriental	0	0	2,27 <sup>(3)</sup>	19	0	0	12
Oriente Medio	0	0	0	0	0	0	37
Asia Caspio	0	0	0	0	0	0	1,5
Asia Oriental	4,7	5,9	0,84	11	3,2	4,0	79
Rusia	0	0	1,88	13,4	0	0	14
Asia Meridional	2,4	7,5	0	0	1,26	4,0	32
Mundo	10,6	1,6	10,4	1,6	34,5	5,4	642
Brasil	0	0	0	0	8,34	31,5	26,5

1. Francia, 2. Canadá, 3. Ucrania, 4. Brasil, 5. EE. UU.

cultivado del mismo como un mero índice de referencia; c) los costos de producción de cada biocombustible, que varían según materia prima y región, como se ha visto anteriormente.

Pasaremos ahora al análisis de la información contenida en la tabla 10. Consideremos en primer lugar las producciones más competitivas de etanol, que son la de caña en Brasil y la de maíz en Estados Unidos (gracias a subsidios). Entre ambas se alcanzan los 30 millones m<sup>3</sup> (ver tabla 6 de la página 44), que representan el 2,6% del consumo mundial de gasolina.

Por otro lado, la producción de caña en Brasil es de

416 millones de toneladas al año (casi un tercio de la producción mundial). Aceptando un rendimiento muy alto como lo es 0,090 m<sup>3</sup>/tonelada de caña, ello representa 34 millones m<sup>3</sup> de etanol equivalente ó 2,9% del consumo mundial de gasolina.

A su vez, la producción de maíz en Estados Unidos es de 300 millones de toneladas al año (un 41% de la producción mundial), lo cual equivale a 112 millones m<sup>3</sup> etanol equivalente ó 9,7% del consumo mundial de gasolina.

Además, la tabla 4 de la página 40 muestra que el costo de producción de etanol a partir de otros granos en Estados Unidos prácticamente quintuplica al que parte de caña y

Tabla 12. Producción mundial de aceites vegetales en toneladas.

Aceite de Algodón	3.547.180,00
Aceite de Almendras Palm	3.262.010,00
Aceite de Cáñamo	8676,77
Aceite de Cártamo	199.285,00
Aceite de Colza	12.566.900,00
Aceite de Girasol	9.494.790,00
Aceite de Linaza	677.588,00
Aceite de Maíz	2.083.850,00
Aceite de Maní	5.900.250,00
Aceite de Palma	2.982.510,00
Aceite de Ricino	28.158.800,00
Aceite de Soja	30.014.000,00
Aceite de Stillingia	127.409,00
Aceite de Tung	74.990,00
Aceite Nuez de Coco	3.325.890,00
Aceite Salvado de Arroz	1.407.700,00
Aceite Sem. de Adormidera	26.591,60
Aceite Vegetal NES	473.622,00

duplica el de maíz. Para la Unión Europea se tienen costos de entre dos y tres veces el de maíz en Estados Unidos (ver figuras 5 y 6 de la página 42).

Sin embargo, esto implicaría desviar un alimento hacia un combustible, hecho que demuestra cabalmente las limitaciones de esta ruta.

Por otro lado, en la tabla 10 de la página 50 se observa que el recurso potencialmente más abundante es el celulósico de la madera industrial. En tal sentido, Europa OECD y América del Norte industrializan madera con una producción equivalente de etanol de 403 millones m<sup>3</sup> ó un 35% del consumo mundial de gasolina.

Cabe en este caso acotar que esta producción viene acompañada de una abundante generación de desechos que pueden constituirse en una interesante materia prima.

Tabla 13. Matriz de la producción mundial de etanol según cultivo.

Cultivo	%
Madera Industrial	67,0
Maíz	10,5
Trigo	8,8
Madera para Celulosa	7,3
Caña de Azúcar	3,6
Cebada	2,0
Sorgo	0,8

Tabla 14. Matriz de la producción mundial de biodiésel según aceite vegetal.

Aceite	%
Soja	28,5
Ricino	26,8
Colza	12,0
Girasol	9,0
Maní	5,6
Algodón	3,4
Almendras	3,1
Nuez de Coco	3,1
Palmera	2,8
Maíz	2,0
Salvado de Arroz	1,3

Por ejemplo, la industrialización del bosque deja aproximadamente un 50% de desechos, a los que se añaden los del agro y de la agroindustria.

Sin embargo, aparece la limitación del costo de producción, que anula por el momento la aplicación de esta ruta hasta el desarrollo de procesos más competitivos. Después de todo, la madera, como material celulósico, es el que está "más lejos" del etanol en la cadena de proceso.

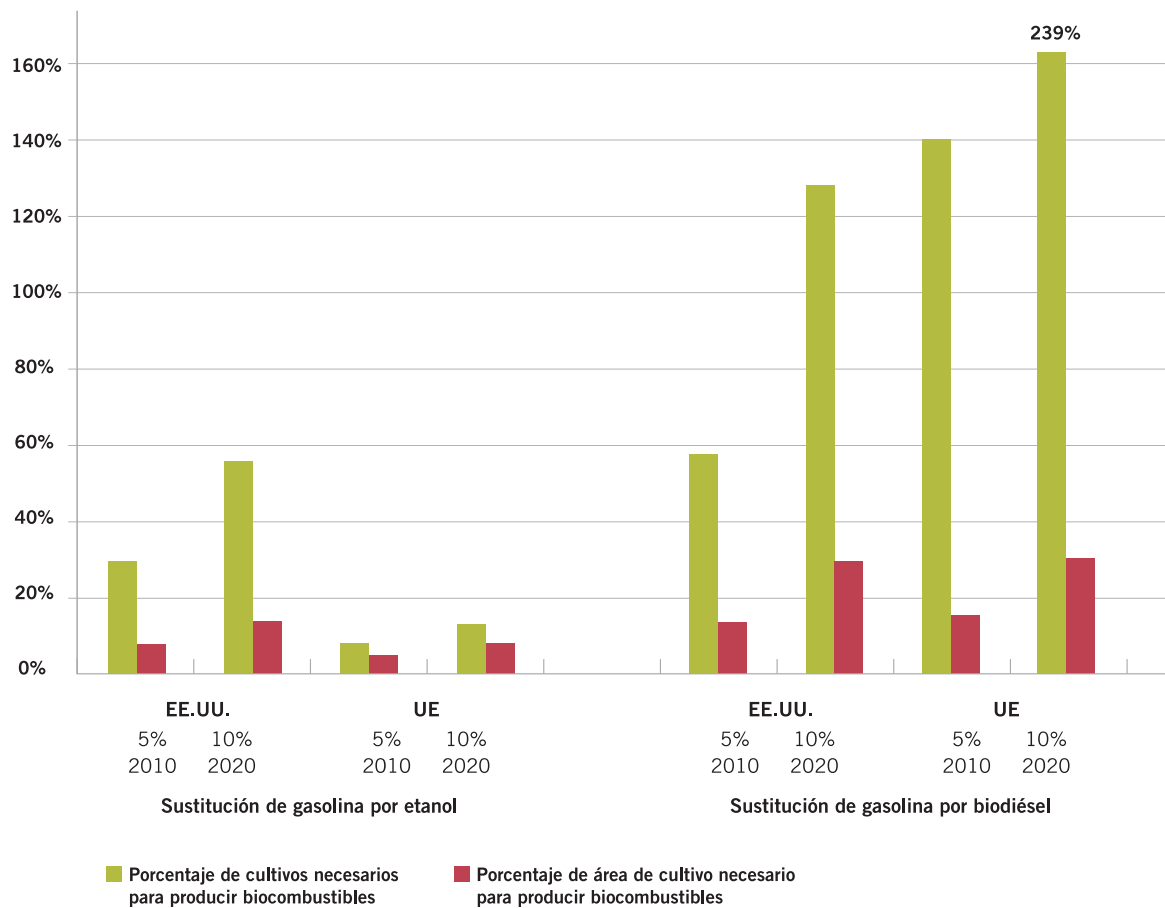
Por otro lado, la posición del biodiésel es mucho más limitada, como puede apreciarse en la tabla 11 de la página 16. Basta sólo apreciar los guarismos a nivel mundial que muestra la misma.

La tabla 12 da la producción mundial de aceites vegetales para 2005. La misma resulta ser del orden de 104 millones de toneladas en total. De ésta se observa que un 49% se debe a las tres oleaginosas aquí consideradas.

La producción de biodiésel equivalente al total de aceites es de 98,7 millones/año lo cual representa un 15,5% del gasoil consumido en el mundo.

Por otro lado, para lograr un B10 (10% biodiésel, 90% gasoil) a nivel mundial se requerirían 63,8 millones de

Figura 11. Estimación de cultivos y área de cultivos necesarias para producir biocombustibles.



toneladas de biodiésel. Ello representa un incremento del 65% en la producción actual de aceites.

Finalmente, las tablas 13 y 14 de la página 52 muestran las matrices de producciones mundiales de etanol y biodiésel equivalentes, respectivamente.

En consonancia con esto, la IEA provee la figura 11. A su vez, la figura 12 de la página 54 es suficientemente elocuente al respecto.

El panorama se complica aún más si consideramos que la IEA prevé un incremento del consumo mundial de gasolina para 2020 del 62%; para gasoil el aumento previsto es de 54%.

## Conclusión parcial

Más allá de costos y BEN, la alternativa de sustitución de combustibles fósiles por biocombustibles es muy pequeña. Mientras se mantenga esta situación, desde el punto de vista del biocombustible, el mercado está asegurado para el mismo.

Ahora bien, como hemos visto, de los dos biocombustibles considerados, el etanol podría aumentar su participación si la ruta de la madera se hiciera competitiva. En

cambio, un incremento del biodiésel resulta más difícil.

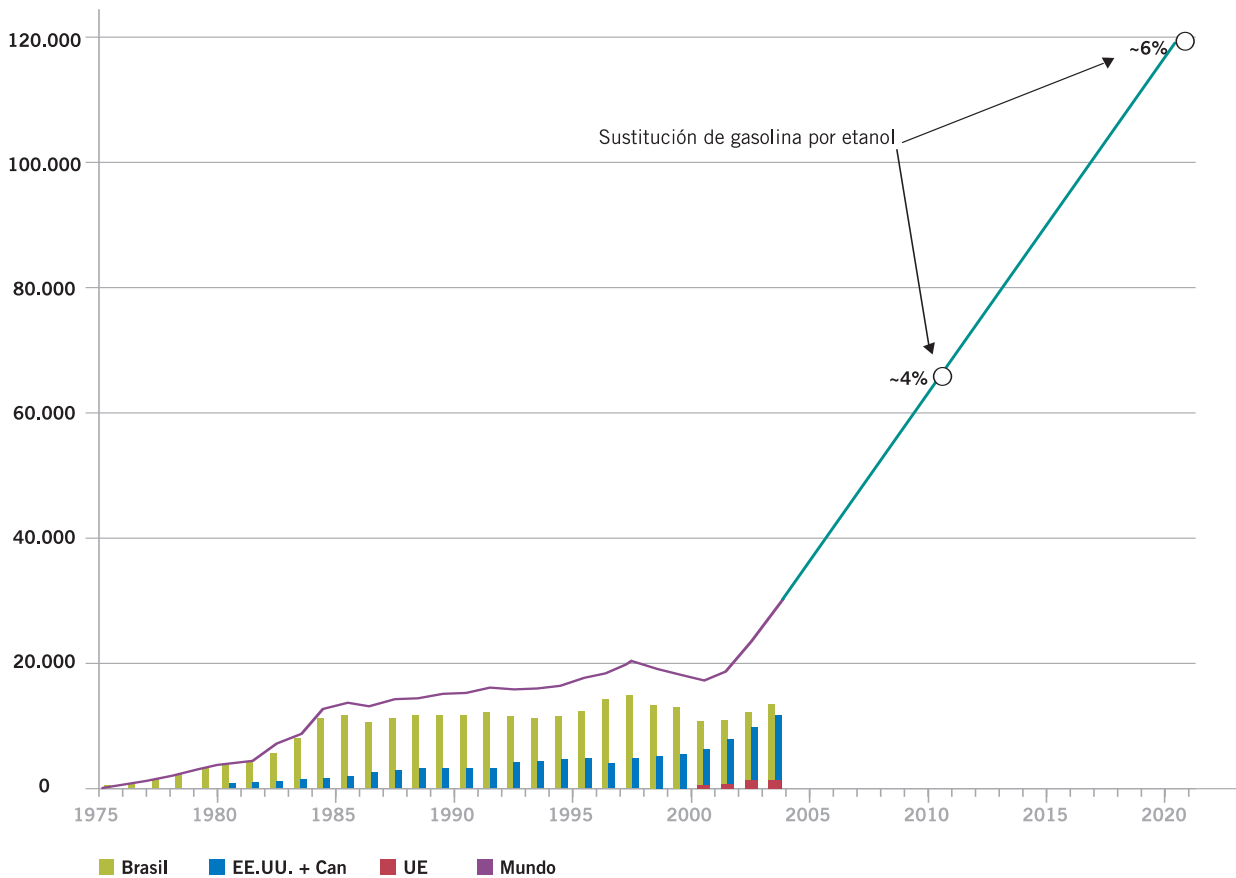
Si entonces planteáramos un escenario de alta potencialidad sustitutiva para el etanol, aparecería un nuevo problema derivado de la rigidez de la relación de producción gasolina/gasoil en una refinería.

Pero al mismo tiempo ello no es óbice para que, basado en el carácter regional de la ruta biomásica, no se trate de aprovechar la misma donde el clima sea propicio y, fundamentalmente como ocurre en América Central, la región sea importadora de combustibles fósiles.

En consecuencia, el uso de biocombustibles, más allá de su carácter promisorio como negocio, no parece resolver las dos cuestiones que se esgrimen como argumento para recomendar su desarrollo (declinación de la producción de combustibles fósiles y efecto invernadero). En todo caso, bajo el auspicio de los argumentos citados, queda por ver el futuro rol a desempeñar por la madera tanto en la producción de etanol así como en el aprovechamiento de tierras marginales y áridas para nuevos cultivos. Este último puede ser el caso de la jatrofa o tempate. La India destinaría 400.000 ha al cultivo de jatrofa las que producirían (ver figura 1 de la página 38) unos 0,8 millones m<sup>3</sup> de aceite (algo menos del 17% de la producción mundial de aceites y un 26% de la de biodiésel).



Figura 12. Incidencia del reemplazo de gasolina por etanol.



## La irrupción de China. Conclusión de conclusiones

Ya que estamos analizando el panorama a nivel mundial, no deja de ser interesante observar el creciente rol de China en el mismo. En tal sentido, señalaremos lo que dice Lester Brown, presidente del Earth Policy Institute, una entidad independiente con sede en Washington D.C.:

“En la actualidad, China consume casi el doble de carne que los Estados Unidos (67 millones de toneladas frente a 39 millones de toneladas) y más del doble de acero (258 millones de toneladas frente a 104 millones de toneladas).

Pero ello a nivel de números totales. ¿Qué ocurriría si China alcanzara el consumo *per capita* actual de Estados Unidos? Si la economía actual china continúa creciendo al 8% anual, el ingreso *per capita* igualaría al actual norteamericano en el año 2031.

Si en ese momento el consumo de recursos *per capita* chino igualara al actual norteamericano, sus 1450 millones de habitantes consumirían el equivalente a las dos terceras partes de las cosechas actuales mundiales.

Si tres de cada cuatro chinos tuvieran un automóvil, se tendrían 1100 millones de automóviles frente a los 800 millones actuales en todo el mundo.

En tal caso, se requerirían 99 millones de barriles de petróleo diarios frente a los 84 millones actuales en el

mundo, que difícilmente podrían aumentarse en forma significativa. Además, para soportar tamaño flota automotor se requeriría un área en materia de caminos-autopistas y estacionamientos similar a la de la hoy dedicada al arroz.”

Está claro que la civilización del petróleo que hasta ahora hemos sabido construir no funcionaría para China. Ni tampoco para la India que, para 2031, tendría una población aún mayor que la china, ni para los 3000 millones de habitantes de los países denominados eufemísticamente “emergentes”.

Esta civilización a la que aludimos tiene como núcleo principal su sistema energético.

Entonces, la conclusión de las conclusiones es que si los biocombustibles no son siquiera un paliativo en la civilización del petróleo, ¿qué ocurrirá cuando esta última deje de serlo?

## Reflexión final

El aliento y entusiasmo por los biocombustibles nace de una cuestión ecológica y de sustitución de fuentes de energía no renovables.

Las materias primas de los biocombustibles son fuentes de alimentos, con la sola excepción de la madera que es, por otro lado, el recurso más abundante.

En el proceso de fabricación del biocombustible se con-

sumen combustibles que son los que se busca reemplazar. Por ejemplo, en la producción de etanol a partir de maíz en Estados Unidos se consume aproximadamente la mitad del combustible fósil que se pretende reemplazar y para biodiésel, en Brasil, dicho consumo es del orden de un tercio.

Teniendo en cuenta el volumen existente de materias primas, el grado de sustitución de combustibles fósiles por biocombustibles es muy pequeño. Sin embargo, el desarrollo exagerado de uno de ellos frente al otro provocaría inevitables desbalances en las refinerías.

Todo esto lleva a que, más allá del negocio puntual del emprendimiento, el efecto que se pretende lograr con la introducción de biocombustibles sea, lo repetimos, muy pequeño. ■

USDA, *The Economic Feasibility of Ethanol Production from Sugar in the United States*, julio 2006.

Wang, M., *15th Internacional Symposium on Alcohol Fuels*, San Diego, CA, USA, septiembre 2005.

\* Dicho de otro modo, para sustituir gasolina se consume gasoil.

## Referencias

- Biofuels, a booming industry worldwide, future fuels*, Institute of Energy, London, septiembre 2006.
- Brown, Lester, *Plan B2.0: Rescuing a Planet Under Stress and a Civilization in Trouble*, [www.earth-policy.org/Books/PB2/index.htm](http://www.earth-policy.org/Books/PB2/index.htm).
- Cunningham, Roberto E., *Mecánica Newtoniana y Termodinámica Clásica*, Ed. CYTED, Buenos Aires, 2005.
- FAO, *Production of Selected Agriculture Products*, Tablas B6 a B10, 2004.
- IEA, *Biofuels for Transport, an International Perspective*, 2004.
- Malisher, T., *International Conference for Renewable Energies*, Bonn, junio 2004.
- Pimentel D. y Patzek T.W., *Ethanol Production Using Corn, Switchgrass and Wood: Biodiesel Production Using Soybean and Sunflower*, Natural Resources Research, Vol. 14, N° 1, marzo 2005.
- Queiroz, M.S. de, *Desafíos y Oportunidades para la Industria del Petróleo en el Mercado de Biocombustibles*, Seminario Internacional de Biocombustibles, Brasilia, abril 2006.