

BIOCOMBUSTIBLES

Fernando E. Míguez ¹ y Fernando H. Míguez ²

1. Energy Biosciences Institute,. University of Illinois miguez@uiuc.edu
2. Facultad de Ciencias Agrarias UCA fernando.miguez@agromercado.com.ar

Introducción	1
Biodiesel a partir de aceites vegetales	2
Etanol a partir de azúcares	6
Industrialización del maíz	7
Subproductos	8
Etanol a partir de celulosa	12
Panicum virgatum L.	13
Miscanthus spp	14
El negocio de los biocombustibles	16
El modelo brasileño	17
La Unión Europea	17
China	18
Argentina	18
Evaluación del negocio	19
Conclusión	21
Bibliografía	21

Introducción

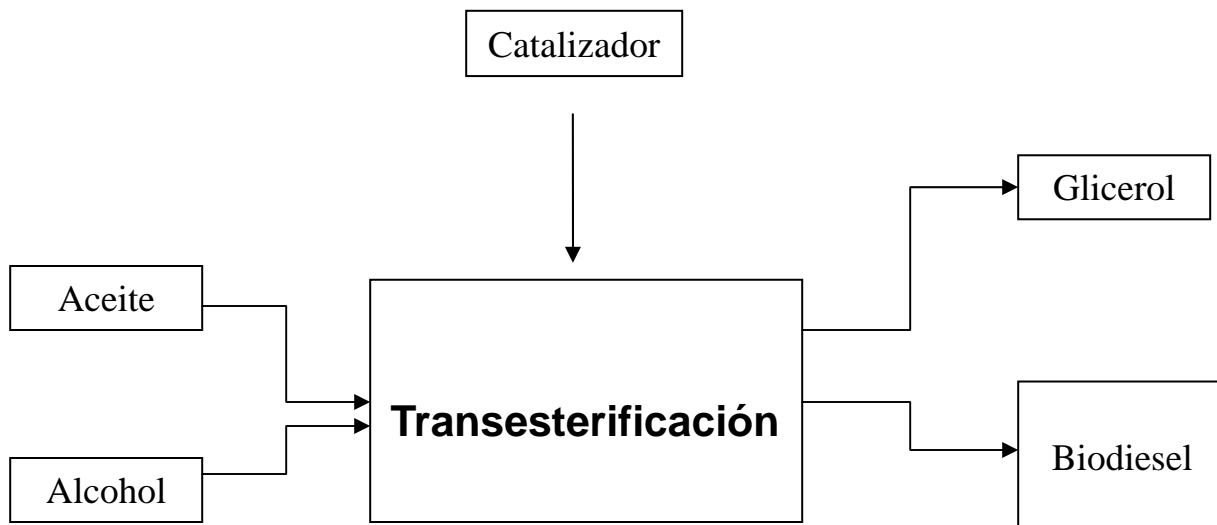
La necesidad de desarrollar alternativas energéticas se ha acelerado debido a la crisis energética mundial y a los problemas ambientales que acarrearán muchos de los recursos que se utilizan actualmente. El uso del carbón y petróleo no sólo significa el consumo de recursos no sustentables (y precios en alza) sino que también aumentan las emisiones de gases responsables del calentamiento global. Cuando se quema un combustible fósil se está enviando a la atmósfera dióxido de carbono (CO₂) que había estado secuestrado por millones de años en yacimientos, aumentando su concentración en la atmósfera. La utilización de biocombustibles puede reducir considerablemente la emisión de CO₂, dependiendo de cómo éste haya sido producido. La fotosíntesis, involucrada en la

producción de biomasa, absorbe el CO₂ de la atmósfera que es en parte producido por el uso de combustibles y biocombustibles, y de esta manera se estima que la industria de biocombustibles puede, a mediano plazo, tener un balance negativo de carbono (secuestrar más de lo que emite).

Entre las fuentes renovables de energía que más posibilidades tienen de reemplazar al petróleo están la energía eólica, la solar y la nuclear. Los biocombustibles, considerados como paso intermedio hasta el desarrollo de energía renovable y segura (ej.: energía a partir del hidrógeno), representan el producto final de la utilización de cultivos como la caña de azúcar, el maíz, la soja, el girasol, la colza y otros. Estos cultivos se pueden dividir en aquellos que producen mayormente aceites y por lo tanto generan como producto final biodiesel y aquellos que producen alcoholes a partir de azúcares.

Biodiesel a partir de aceites vegetales

El proceso de elaboración del biodiesel está basado en la llamada transesterificación de los glicéridos, utilizando catalizadores. Desde el punto de vista químico, los aceites vegetales son triglicéridos, formados por tres cadenas moleculares largas de ácidos grasos unidas a un alcohol trivalente, el glicerol. Si el glicerol es reemplazado por metanol, se obtienen tres moléculas más cortas del ácido graso metiléster. El glicerol desplazado se recupera como un subproducto de la reacción. Por tanto, en la reacción de transesterificación, una molécula de un triglicérido reacciona con tres moléculas de metanol o etanol para dar tres moléculas de monoésteres y una de glicerina. Entonces, el procedimiento es el que sigue: se mezcla el aceite con metanol y en presencia de un catalizador (comúnmente KOH o NaOH) se produce la reacción de transesterificación. De allí se obtiene el biodiesel (metiléster de ácidos grasos).



A simple vista el proceso parece muy sencillo. Pero como en todo, hay que tener muchos cuidados para que el producto que se obtiene sea el adecuado y el proceso económicamente rentable. Para asegurar que el aceite reaccione lo más completamente posible se trabaja con exceso de alcohol. Esto lleva a que las relaciones utilizadas sean de 6:1 a 9:1. Esto es, nueve partes de aceite por una de alcohol. Debido a estas proporciones el precio del biodiesel se verá mayormente afectado por el precio del aceite utilizado. Además, se debe tener en cuenta que el producto de la transesterificación debe ser lavado para eliminar el catalizador presente (alrededor del 1% del aceite a tratar), por lo que se tiene un insumo extra de agua que luego deberá ser tratada para su posterior deposición. En determinadas condiciones y habiendo usado KOH como catalizador, esta agua puede ser utilizada en pequeñas dosis como fertilizante por no ser tan perjudicial para el suelo. También se debe tener en cuenta la recuperación del exceso de metanol que se irá con el glicerol para su posterior recirculación al transesterificador y el secado y refinamiento del glicerol para obtener un producto de mayor valor comercial.

La pureza de las materias primas utilizadas y la eficiencia del proceso de transesterificación determinarán qué otras operaciones deben realizarse a los productos de dicha reacción para

obtener biodiesel que cumpla con las normas vigentes de calidad, que en Argentina están dadas por la norma IRAM 6515. Entre estas operaciones se pueden encontrar la neutralización del pH por medio del agregado de un ácido (índice de acidez máximo de 0,5 mg KOH/g) y la separación de los glicéridos que no reaccionaron completamente (la norma exige un máximo de 0,8% p/p de monoglicéridos, 0,2% p/p de diglicéridos y 0,2% p/p de triglicéridos).

Por otra parte, la norma establece que el índice de Yodo máximo (sirve para determinar el grado de insaturación de las cadenas de carbonos que forman el biodiesel) debe ser de 150. Normas de calidad en la Unión Europea establecen el límite en 120 (este límite está actualmente en revisión). El biodiesel obtenido con aceite de soja suele dar valores de índice de Yodo entre 120 y 150, mientras que biodiesel obtenido de otros aceites, como el de colza, da valores menores a 120. De esta manera, si el objetivo es exportar el biodiesel fabricado, también hay que tener en cuenta estos factores.

El menor costo, en comparación con los alcoholes (ej. etanol y butanol), de la conversión de los aceites vegetales es la mayor ventaja que tiene el biodiesel. Por un lado la conversión del aceite vegetal a biodiesel es cercana a la unidad (1 litro de aceite vegetal equivale a un litro de biodiesel) y por otro lado se estima que se requiere una unidad energética por cada 2.5 unidades en el producto final. Sin embargo, la producción de energía a partir de este recurso es muy limitada y sólo puede representar un porcentaje muy bajo de las necesidades energéticas globales.

En Canadá, la canola, con un porcentaje oleico cercano al 46%, produce cerca de 1500 litros de aceite por hectárea y este cultivo ocupa cerca de 4,5 millones de hectáreas en ese país. Alemania, que concentra cerca del 70% de la producción de biodiesel en la UE, ha impulsado la utilización de este cultivo eliminando los impuestos para la producción de biodiesel e introduciendo fuertes subsidios, y como resultado la producción de biodiesel a partir de canola en el 2005 fue de 1890 millones de litros.

En Argentina este cultivo ocupa 20,000 ha mayormente ubicadas en el SE de la provincia de Buenos Aires, se estima que la superficie se incrementará notablemente a partir de la campaña 2008, llegando a 100.000 has cuando la disponibilidad de semilla lo permita. Su

destino principal será la exportación, no sólo para producir biodiesel sino también como aceite comestible, en especial aquellas variedades con alto contenido de ácido oleico en su composición. Si bien otros cultivos como el girasol y la soja se utilizan para la producción de biodiesel, el potencial de reemplazar un porcentaje substancial de la demanda energética es bajo y, al menos en Argentina, diversos estudios sugieren que la producción de biodiesel a partir de soja está sustentada por los diferentes valores de las retenciones a la exportación de aceite y del biocombustible. La industria del biodiesel en Argentina, a valores de marzo de 2008, tiene una rentabilidad acotada y un futuro incierto, el precio internacional del litro de aceite de soja y girasol es superior al precio internacional del litro de gasoil, el costo de producción de biodiesel es superior al precio de venta interno del gasoil, y el gobierno acaba de elevar los derechos de exportación de biodiesel de 5 a 20% y establecer derechos móviles para los aceites de soja y girasol. El precio internacional de los aceites ha aumentado notablemente en los últimos años, por un lado por el aumento del consumo de alimentos más sofisticados en países emergentes y por otro lado por la menor oferta mundial de aceite de palma, ya que el 25% de su producción en Asia pacífico se destina a la producción de biodiesel. Esto hace que la rentabilidad de la producción de biodiesel actualmente dependa de subsidios estatales. Es por ello que se está investigando y desarrollando la producción de cultivos adaptados a zonas marginales que produzcan aceites no comestibles (ej. *Jatropha curca*), y puedan constituir materia prima más económica para la producción de biodiesel.

Las estimaciones de producción mundial para 2008 superan a las de 2007 en un 16%, al ubicarse en torno a las 9,89 millones de toneladas (Mt). El volumen se elevaría a 13,25Mt en 2009, y aumentarían nuevamente en 2010 para ubicarse en los 16,73Mt. En 2007 los principales productores mundiales fueron la Unión Europea con 4,95Mt, liderados por Alemania con una producción de 2,2Mt, Francia 800 mil toneladas, e Italia con 500 mil toneladas. En América, se produjeron 2,69Mt, de los cuales 1,7Mt fue elaborada por los Estados Unidos, en segundo lugar se ubicó la Argentina con 390 mil toneladas, y tercero Brasil con 350 mil toneladas. En Asia y resto del mundo la producción alcanzó las 815 mil toneladas, con Malasia (185 mil toneladas) y Tailandia (130 mil) como principales productores, seguidos por Indonesia, Australia y China, que aportaron unas 100 mil toneladas cada uno. Si bien se esperan algunas disminuciones en la producción de algunos países de la UE en 2008, bajarían el volumen Alemania e Italia, también se esperan

incrementos, por ejemplo en Francia, se estima una producción de 1,56Mt. Así el balance total para Europa arroja un superávit productivo en 2008 de unas 5,545Mt, un 12% más que en 2007. Por su parte, en América se espera un crecimiento productivo en torno a 3,11Mt. Ello con una disminución de los Estados Unidos que produciría 1,5Mt, y un aumento de la producción argentina en torno a las 690 mil toneladas, mientras que Brasil alcanzaría las 520 mil toneladas. También se sumaría Canadá con un volumen de 180 mil toneladas, y Colombia con unas 120 mil toneladas. En Asia y resto del mundo la producción seguiría por debajo del millón de toneladas en un volumen aproximado de 985 mil toneladas. China sería uno de los que aumentaría su producción, un 35% al pasar de 100 a 135 mil toneladas.

Hacia 2010 la producción estimada de biodiesel asciende a 16,73Mt, mientras que la producción de aceites giraría en torno a los 150Mt. De allí que la elaboración de biodiesel representaría cerca del 11% de la producción aceitera. Para entonces los principales productores mundiales serían los Estados Unidos con 2,4 Mt, Alemania 2 Mt, Francia 1,94Mt, Brasil 1,85 Mt, y Argentina 1,2Mt.

Etanol a partir de azúcares

El biocombustible de mayor importancia mundial es el etanol. En Brasil la producción de etanol a partir de la caña de azúcar supera los 15,000 millones de litros por año y en EE.UU., a partir de maíz, ronda los 18,000 millones de litros por año (datos de 2006). Sin embargo, en EE.UU. esta producción representa sólo el 3% del consumo total de combustibles y por tanto no es la solución a los problemas energéticos en el largo plazo. En Brasil, la producción de etanol a partir de la caña de azúcar tiene varias ventajas en comparación con el modelo de EE.UU.

1. El rendimiento de etanol por hectárea duplica al que se obtiene a partir del maíz.
2. El costo es menor (0.29 US\$ a partir de maíz y 0.23 a partir de caña).
3. En Brasil el etanol es más barato que la gasolina mientras que en EE.UU.. el combustible (a partir de petróleo) es más barato que el etanol, para igual rendimiento energético
4. El rendimiento energético del etanol (maíz) es de 1.3-1.7 (energía obtenida/energía invertida) mientras que el rendimiento energético a partir de la caña es cercano a 8.

La única ventaja que posee el modelo del maíz es que produce menos emisiones de contaminantes, si todo el ciclo de la producción es tenido en cuenta. Hace dos décadas el rendimiento energético del etanol a partir de maíz era menor a 1 pero mejoras en las prácticas agronómicas y en la tecnología del proceso han aumentado la conversión considerablemente.

En EE.UU. los biocombustibles están generando muchas áreas nuevas de investigación, desde la biotecnología aplicada a la semilla o a las bacterias que fermentan al almidón de maíz, hasta el uso de etanol en diversos tipos de motores. Se están desarrollando nuevos híbridos de maíz con altísimo rendimiento en almidón que permita generar mayor cantidad de etanol por hectárea sembrada. El beneficio llega también a los productores agropecuarios, que participan no solamente como proveedores de materia prima sino también en la constitución, organización y operación de las nuevas empresas refinadoras y distribuidoras de etanol.

Industrialización del maíz

La industrialización del maíz tiene dos vías principales

a. Molienda húmeda:

- i. El maíz es tamizado para eliminar cuerpos extraños
- ii. En la maceración se ablandan los granos para facilitar su posterior molienda.
- iii. En varias etapas de molienda y separación mecánica mediante hidrociclones, tamices y centrífugas, se descompone el grano en sus partes constituyentes, es decir, fibra, germen, gluten y almidón.
- iv. La fibra junto con el agua de macerado se emplea para obtener gluten-feed; del germen se extrae el aceite crudo de maíz, y con el gluten se produce el gluten meal. Estos son los subproductos de la molienda de maíz.
- v. El producto principal es el almidón que una vez purificado pasa a la etapa siguiente
- vi. En la sacarificación, que se realiza con enzimas, se convierte prácticamente todo el almidón en dextrosa.
- vii. En la fermentación, las levaduras convierten los azúcares en alcohol.
- viii. Se realiza luego la destilación, donde se concentra el alcohol hasta cerca del 96%.
- ix. En la deshidratación se llega a alcohol 99,5% concentrado, que es el que se agrega a la

nafta

b. Molienda seca

- i. Ingreso del grano de maíz a la planta
- ii. De-germinado: el germen contiene el aceite que es extraído en las aceiteras.
- iii. Molienda
- iv. Licuefacción: Se mezcla con agua y una enzima para que el almidón del grano se licue.
- v. Sacarificación: Se agrega una enzima y el almidón se transforma en azúcar.
- vi. Fermentación: se agregan levaduras (bacterias) que producen alcohol y gas carbónico (CO₂).
- vii. Destilación: en una columna se separa el alcohol (96% de pureza) del agua y los sólidos.
- viii. Deshidratación: el alcohol obtenido se pasa por unas membranas que separan la pequeña cantidad de agua remanente.
- ix. Desnaturalización: al alcohol de alta pureza obtenido se le agrega nafta u otro combustible para que no sea apto para consumo humano.
- x. Sub productos: los sólidos obtenidos son un extraordinario alimento para los animales (vacunos, cerdos, aves) con un alto contenido de proteína y de otros nutrientes. El gas carbónico es capturado y licuado para su venta. La industria del etanol no produce residuos.

Subproductos

Los subproductos del etanol generan en las cercanías de las plantas productoras un polo de desarrollo de la ganadería, avicultura y porcicultura. El rápido crecimiento de la industria del etanol a nivel mundial ha resultado en un aumento en la oferta de subproductos, principalmente los llamados granos de destilería, que usualmente poseen precios competitivos como ingredientes alimenticios en las dietas para el ganado y las aves. Resulta sumamente valioso resaltar este aspecto de la industria, ya que agrega valor adicional al objetivo principal. Su desarrollo actual es el siguiente:

Los subproductos de la industria de etanol por el proceso de molienda seca.

Dos tercios del grano de maíz es almidón, que se convierte en etanol y CO₂ durante un proceso de destilado y fermentación. Los nutrientes restantes en el maíz, tales como la

proteína, aceite, fibra, minerales y vitaminas, se concentran en tres maneras distintas y terminan como los granos de destilería, o solubles de destilería condensados. Los granos de destilería son un subproducto del proceso de la molienda en seco utilizado para hacer etanol a partir de maíz. Los granos de destilería de maíz contienen los nutrientes restantes después de que el almidón de maíz se fermenta a alcohol y pueden comercializarse húmedos o desecados. Los granos de destilería húmedos tienen un contenido de proteína y energía más alto que el alimento de gluten de maíz porque el gluten y el aceite permanecen en los granos de destilería. Cuando se desecan los granos de destilería pierden algo del valor energético comparado con los productos húmedos. Los granos de destilería desecados y los granos de destilería desecados con solubles, se comercializan ampliamente en todo el mundo como un *commodity* alimenticio. En caso de secarlos para su comercialización, se genera un consumo de combustible fósil que empeora la ecuación energética del proceso total, por lo que se prioriza su uso cercano al lugar de producción, integrándose las plantas de etanol con *feed lots* o tambos.

Los subproductos que se obtienen son:

i- Granos destilados en alguno de los siguientes estados:

Granos de destilería de maíz desecados (DDG): se obtienen después de extraer el alcohol etílico a través de la destilación de la fermentación de levaduras de un grano o una mezcla de granos, separando la fracción de granos gruesos de los residuos sólidos enteros y secándola utilizando los métodos que se utilizan en la industria destiladora de granos.

Granos de destilería de maíz desecados/solubles (DDGS): se recuperan en la destilería y contienen todos los nutrientes del maíz entrante menos del almidón. Por eso, los DDGS tienen un mínimo de tres veces la cantidad de nutrientes que el maíz entrante. DDGS típicamente se analizan en 27% proteína, 11% grasa y 9% fibra.

Solubles de destilería condensados de maíz (CDS): es un término que generalmente se utiliza para referirse a los subproductos evaporados de la industria de la fermentación del maíz. La mayoría del CDS se agrega a los granos desecados, pero algo está disponible como un ingrediente alimenticio líquido. En base seca, el CDS típicamente tiene 29% proteína, 9% grasa y 4% fibra. Los solubles son una fuente excelente de vitaminas y minerales, incluyendo el fósforo y potasio. CDS se pueden desecar a 5% de humedad y se comercializan, pero generalmente el contenido de materia seca está entre 25-50%.

Granos de destilería húmedos (WDG): se pueden vender como alimento para el ganado o se

pueden desecar en *granos de destilería (DDG)*. Si se agrega jarabe a los granos de destilería húmedos y luego se secan, el producto resultante se denomina *granos de destilería desecados con solubles (DDGS)*.

ii- Anhídrido Carbónico

Actualmente en EE.UU. se captura sólo un tercio de la producción de CO₂ a partir de etanol.. En general son las plantas de mayor capacidad de producción las que procesan y aprovechan el CO₂ comercialmente, ya que normalmente en las plantas menores no se justifica la inversión requerida para el proceso de captura.

Un tonelada de maíz utilizada para producir etanol mediante el proceso de molienda seca rinde unos 417 litros de etanol, 286 Kg de DDGS y 303.5 Kg de CO₂.

Perfil nutritivo promedio de los DDGS

Los DDGS contienen todo el aceite, la proteína y nutrientes del maíz original en aproximadamente un tercio del peso del maíz. Debido a la fermentación, los aminoácidos, la grasa, los minerales y las vitaminas restantes aumentan aproximadamente al triple en la concentración, comparada a los niveles encontrados en maíz.

Los DDGS de maíz son ampliamente utilizados en la alimentación de ganado. Su valor energético difiere según se consuma fresco, recién procesado o se lo almacene y son una fuente rica en vitaminas.

También se ha demostrado que los DDGS elaborados en plantas de "nueva generación" son una fuente excelente de energía, de aminoácidos y fósforo para alimentar cerdos y aves de corral. Hasta hace algunos años sólo se alimentaba ganado vacuno con el DDGS, puesto que en las plantas de etanol más viejas, el proceso para secar el DDGS se realizaba recalentándolo lo que le restaba digestibilidad y nutrientes esenciales para las aves de corral y los cerdos.

Nutriente	Promedio	Rango
Materia seca, %	89.3	87.3 - 92.4
Proteína cruda, %	30.9	28.7 - 32.9
Grasa cruda, %	10.7	8.8 - 12.4

Fibra cruda, %	7.2	5.4 - 10.4
Cenizas, %	6.0	3.0 - 9.8
Lisina, %	0.90	0.61 – 1.06
Fósforo, %	0.75	0.42 - .99

Tabla N°1: composición nutricional de los DDGS

Es de hacer notar que los DDGS no sustituyen totalmente al maíz, recurso energético por excelencia en las raciones, ya que no contienen almidón.

El proceso de fermentación en una planta de etanol no destruye las micotoxinas que pueden estar presentes en el maíz que se procesa. Un método práctico para evaluar la probabilidad de la presencia de micotoxinas es que si el maíz que entra contiene 1 ppm el DDGS resultante contendrá aproximadamente 3 ppm. Generalmente las especificaciones de control de calidad de la compra del maíz en una planta de etanol son parecidas a las que se utilizan en un elevador o terminal de granos.

Hay que mantener los valores de micotoxinas en perspectiva. Los niveles de tolerancia se basan en los niveles de micotoxinas en un alimento completo. Si el maíz contiene 1 ppm de micotoxinas, y una dieta para cerdos típica contiene 80% maíz, el nivel de micotoxinas en la dieta completa sería 0.8 ppm. Si DDGS contiene 3 ppm de micotoxinas, y una dieta típica contiene 10% DDGS, el nivel de micotoxinas en la dieta completa final sería 0.3 ppm.

La producción de DDGS en EE.UU. supera los 11 millones de toneladas y se estima que superará los 15 millones en el 2011. Esta producción proviene en un 98% de plantas productoras de etanol y un 2% de la industria de bebidas alcohólicas. Está desplazando al maíz del mercado forrajero, dejándolo disponible para otros usos. En este momento se están utilizando principalmente para la alimentación de ganado vacuno; lechero (45%), de carne (37%), en avicultura (5%) y porcinos (13%). La gran mayoría se consume en el cinturón maicero, aunque un 11% se exporta a diversos mercados. Su utilización aumentará cuando se solucionen algunos problemas derivados de la variabilidad del producto obtenido, dificultad y costo de transporte y almacenamiento, estandarización de métodos de muestreo y análisis, y difusión de sus cualidades como integrantes de las raciones.

Etanol a partir de celulosa

La alternativa que más impulso está teniendo, especialmente en EE.UU., es la producción de etanol (u otros alcoholes como el butanol) a partir de la celulosa. Esta tecnología está menos desarrollada que la producción a partir de aceites vegetales o azúcares, pero tiene mucho mayor potencial debido a la gran disponibilidad de materia prima. En principio, una gran cantidad de residuos orgánicos se podrían utilizar para este fin.

La biomasa está compuesta mayoritariamente por azúcar, el compuesto energético por excelencia de la naturaleza, pero estos azúcares forman parte de polímeros complejos como la celulosa y hemicelulosa, que presentan gran resistencia a la degradación química y biológica. Por tanto la clave para poder desarrollar una industria de biocombustibles basada en la conversión de celulosa y hemicelulosa en etanol, pasa por entender la estructura física y química de la pared celular, cómo ha sido sintetizada y cómo puede descomponerse. Al contarse con este conocimiento, se podrán desarrollar cultivos energéticos especialmente diseñados para ser industrializados como biocombustibles, juntamente con nuevos tratamientos biológicos de degradación y conversión de los azúcares. Se espera que mediante la biología sistémica, es decir la investigación combinada en genómica, ingeniería genética, biotecnología, computación, agronomía, sistemas industriales, etc., el avance en este campo se acelere. En una primera fase se deberán relevar y comprender la estructura de la biomasa actualmente disponible como materia prima, mejorando los métodos disponibles para su producción, cosecha, almacenamiento y transformación. Actualmente los principales estudios se centran en la degradación de la celulosa en azúcares de 5 y 6 carbonos y lignina, mediante la combinación de procesos termoquímicos y biológicos seguidos de una cofermentación que dé por producto final etanol u otro alcohol. Se está trabajando en mejorar la eficiencia de conversión, aumentar el rendimiento, reducir costos, reducir la generación y sensibilidad a inhibidores para aumentar la viabilidad técnico-económica de las bio-refinerías. El objetivo final es llegar a la producción de cultivos, procesos y bio-refinerías adaptados para diversos agro ecosistemas, que se aproximen a los límites teóricos de conversión.

Un análisis del ciclo de vida indica que la emisión de CO₂ fósil se reduce un 85% cuando se usa etanol proveniente de celulosa, respecto del que se emite al quemar gasolina. Estas emisiones provienen de la energía fósil utilizada para la producción de etanol de biomasa. Se

reduce también en forma significativa la emisión de gases de efecto invernadero. Si se secuestra la emisión de CO₂ generada por la fermentación, lo que ya se hace en las plantas productoras de mayor tamaño, podría lograrse que la industria de etanol a partir de la celulosa tenga un balance negativo de CO₂ (secuestraría más de lo que emite). Se estima que el rendimiento energético potencial de la conversión de celulosa en etanol es cercana a 10 aunque ciertos métodos puede aumentar este rendimiento aún más.

Se estima que la biomasa necesaria para abastecer esta industria provendrá en un 32,7 % de residuos agrícolas (rastros por ejemplo), 27,6 % de cultivos perennes (praderas y cultivos especiales), 26,9 % de recursos forestales, 6,4 % de grano (principalmente maíz) y el resto de otras fuentes. Entre los cultivos que mayor atención han tenido se encuentran *Panicum virgatum* L., y *Miscanthus* spp.

***Panicum virgatum* L.**

Este cultivo ha sido investigado desde los años 70 en EE.UU. por sus ventajas con respecto a otras gramíneas similares. Entre las ventajas están::

1. Nativo
2. Fotosintetiza por la vía C₄ (más eficiente en el uso de la radiación y agua)
3. Alta producción
4. Perenne
5. Adaptado a un gran rango de ambientes (se puede cultivar en zonas marginales)
6. Bajo costo de producción

El área de EE.UU. donde este cultivo tiene su mayor potencial es el centro y el sudoeste donde las condiciones climáticas son favorables en términos de precipitación y temperatura. En un estudio reciente, el cultivo de *Panicum virgatum* L. fue evaluado en condiciones de campo en la zona central de EE. UU., teniendo en cuenta el consumo energético y económico. A pesar de un rendimiento promedio modesto (entre 5-11 Mg/ha) el balance energético resultó muy favorable generando 5,4 veces más energía que la consumida. Además, con este modelo se reducen notablemente las emisiones de gases de invernadero y se beneficia al sistema agrícola por el menor uso de pesticidas y labores.

Desde un punto de vista ambiental, los beneficios de los cultivos perennes son similares al uso de praderas con el agregado que en general estos cultivos no son pastoreados. Un cultivo perenne, comparado con uno anual, tiende a reducir procesos de erosión, mejorar la

estructura del suelo, aumentar el contenido de materia orgánica y reducir la contaminación por el menor uso de pesticidas y fertilizantes. A pesar de esto, el cultivo de *Panicum virgatum* L. tiene la desventaja de su difícil establecimiento, rendimientos modestos y consumo moderado de fertilizantes.

La posibilidad de producir etanol a partir de celulosa, la alta disponibilidad de tierras marginales y el impulso político que ha tenido *Panicum virgatum* L. ha fomentado la investigación y la comercialización de este cultivo. En la actualidad Ceres es una empresa mediana que tiene como objetivo mejorar el rendimiento y la calidad de *Panicum virgatum* L. a través de una mejora en los requerimientos nutricionales e hídricos y la composición de la pared celular. La composición de la pared celular determina en gran medida la eficiencia en la conversión energética del etanol.

Miscanthus spp.

En Europa otro género, *Miscanthus* spp., originario de Asia, ha sido investigado por su rápido crecimiento y su tolerancia a bajas temperaturas. El género *Miscanthus* contiene, por el momento, 14 especies reconocidas, aunque la ocurrencia natural de híbridos (normalmente estériles) ha generado una gran diversidad. Inclusive *Miscanthus* es capaz de producir híbridos con el género *Saccharum* y se ha utilizado para mejorar la resistencia a enfermedades en el mejoramiento de la caña de azúcar. Específicamente, un híbrido de ocurrencia natural, *M. x giganteus* Greef et Deu., probablemente originario de Japón, ha recibido un gran interés. Entre las ventajas se destacan su alta producción de biomasa, tolerancia a bajas temperaturas y resistencia a enfermedades e insectos. A pesar de ser una gramínea C₄ es capaz de fotosintetizar a temperaturas mucho más bajas que el maíz. La fotosíntesis en la hoja se mantiene intacta hasta 12 °C y se puede mantener, a niveles más bajos, hasta 5 °C. Por estas razones este cultivo ha despertado un gran interés en EE. UU. donde podría complementar a *P. virgatum* en la producción de biomasa.

Desde un punto de vista agronómico, una característica importante de la producción de *Miscanthus* es que, al ser estéril, se propaga a través de rizomas. Esto dificulta y encarece el establecimiento y representa, quizá, el mayor desafío para su cultivo en grandes extensiones. La mayor ventaja de su esterilidad es el menor riesgo de convertirse en maleza, pero como desventajas tiene el mayor costo de establecimiento y de los esfuerzos en su mejoramiento

genético. Por estas razones se están investigando otras especies de *Miscanthus* (ej. *M. sinensis* y *M. Sacchariflorus*, probables progenitores de *M. giganteus*) que sí producen semilla viable.

El primer año de cultivo, el control de malezas es crítico y en general los herbicidas recomendados en la producción de maíz pueden ser usados en *Miscanthus*. Las malezas que causan mayores problemas son las gramíneas; por ejemplo del género *Setaria*. Varios estudios en Europa han evaluado la respuesta a fertilizantes nitrogenados en *Miscanthus* y si bien la respuesta ha variado notablemente, la conclusión es que el requerimiento es mucho menor que el de cultivos anuales (ej. maíz o trigo). Sin embargo, estudios recientes han demostrado que la respuesta puede ser mayor luego de varios ciclos de cultivo (8-10 años). La densidad de siembra en estudios europeos ha variado entre 1-4 plantas m⁻², afectando poco el máximo rendimiento obtenido en el largo plazo (3-5 años) aunque dilatando el tiempo necesario para alcanzar biomasa máxima a bajas densidades.

En algunas localidades (norte de Europa) los máximos rendimientos de materia seca se han obtenido a partir de la quinta estación de crecimiento mientras que en condiciones ideales de crecimiento en el sur de Europa los máximos rendimientos se han obtenido desde la tercera estación de crecimiento. En el sur de Europa la máxima producción de materia seca ha alcanzado cerca de 40 Mg/ha aunque en general por la caída de hojas y la removilización de nutrientes a los rizomas un 30% de esta materia seca se pierde a cosecha. Los métodos de cosecha son similares al enfardado y a la cosecha de maíz para silo.

Rendimiento de algunos cultivos

Recurso	Rendimiento (Mg.ha ⁻¹)	Etanol (l.ha ⁻¹)
Maíz (grano)	10,25	4325
Maíz(rastrojo)	7,5	2850
Total Maíz	17,75	7175
Praderas	3,75	1475
<i>Panicum virgatum</i>	10,5	4000
<i>Miscanthus x giganteus</i>	30	11375
Caña de azúcar (Tucumán)	90	7590
Caña de azúcar (Brasil)	125	10660

El negocio de los biocombustibles

Si bien hasta ahora la producción mundial de biocombustibles se concentra en contados países, simultáneamente son pocos los que no incentivan su incorporación a través de legislaciones, en sus matrices energéticas. La fuerza del movimiento es tal, que ya se están generando las condiciones para que se establezca un sólido mercado mundial, independiente de las motivaciones de cada nación para elaborarlos. La inversión en el sector está creciendo exponencialmente: en 1995 la inversión mundial ha sido de US\$ 5.000 millones, en 2005 fue US\$ 38.000 millones y se estima que llegará a los US\$ 100.000 millones en 2010. China ha anunciado inversiones por US\$ 187.000 millones en energía limpia antes del 2020.

Hasta ahora, la producción mundial está concentrada principalmente en Brasil, Estados Unidos y la Unión Europea. Detrás de la decisión de comenzar a elaborarlos hubo consideraciones estratégicas: buscar seguridad e independencia energética o la sustentabilidad ambiental. En el camino se sumó el tema comercial. Con ese fin, los gobiernos dictaron legislaciones y establecieron incentivos que crearon la obligación de utilizarlo, asegurando de esta forma un mercado interno que consolidó las industrias locales.

EE.UU.

La independencia energética de los países productores de petróleo, de donde viene cerca del 60% de su producción, la oportunidad de contribuir al desarrollo de áreas rurales, y disminuir la contaminación ambiental, fue lo que motivó a EE.UU. a decidirse a reemplazar por energías renovables al menos el 30% de su consumo de carburantes fósiles en el año 2030, según la ley firmada en 2005. Para ello se establecieron diversos incentivos entre los que se destacan rebajas de impuestos y apoyo para la instalación de las plantas. Por esas fechas, California descubrió que sus napas subterráneas se contaminaban con el aditivo de la gasolina MTBE, por lo que prohibió el uso y en su reemplazo comenzó un amplio uso del bioetanol.

La opción por el maíz fue porque además de ser productores, el grano les resulta la opción más eficiente y es el primer paso en el camino al etanol de biomasa. Este etanol les cuesta a los americanos US\$ 0,431 por cada litro equivalente de combustible fósil (en Canadá sale US\$ 0,500 y en la UE US\$ 0,668), según datos de 2006 de la Agencia Internacional de

Energía (AIE). Si a ello se agregan los subsidios y se descuenta la venta de los subproductos, el costo neto de cada litro es US\$ 0,248.

El modelo brasileño.

Similares características tiene el caso de Brasil. Hace más de 30 años este país necesitaba dar una salida al bagazo de la caña de azúcar y, al mismo tiempo, solucionar su abastecimiento de combustible. Dictaron legislaciones que obligaban a la mezcla de etanol con la gasolina, rebajaron impuestos al etanol y comenzaron a producir. Actualmente el país no sólo produce suficiente como para abastecerse internamente, sino que incluso lo exportan. En 2005 la producción alcanzó los 15.100 millones de litros, más de un tercio del volumen total mundial. Concomitantemente consiguieron la independencia energética, ya que además han liberado producción de petróleo que también exportan, además de los recientes descubrimientos de yacimientos en su plataforma continental.

Claramente el modelo brasilero, comparado con el americano es más eficiente. Producir un litro de etanol les cuesta US\$ 0,237, prácticamente US\$ 0,1 menos que el americano y por cada unidad de energía invertida obtienen 8.

En esto pesa mucho el valor de la materia prima, el costo de la caña en Brasil es notoriamente más bajo que el del maíz en Estados Unidos. En el primer caso es de US\$ 0,08 versus US\$ 0,14 por litro de etanol (valores de 2007). Con estas fortalezas se entiende que se enfoquen en la exportación, están realizando ingentes inversiones en puertos, como el de Santos, con este fin. Su meta es estar exportando en el orden de 8 mil millones de litros para el 2012. Se estima que el país necesitaría inversiones superiores a US\$ 4000 millones para triplicar su producción actual.

Sin embargo, en el mundo se cuestiona la sustentabilidad del modelo. No sólo se teme que se talen aún más bosques para reemplazarlos por caña, lo que podría tener un alto impacto en el calentamiento global; sino que se critica el alto uso de fertilizantes y pesticidas y la polución producto de la quema de los rastrojos, aunque trabajan en regulaciones para disminuirlo, y en utilizar el bagazo para generar energía eléctrica para las propias plantas de etanol.

La Unión Europea

Algo distinto es el caso de la Unión Europea, donde si bien tienen producción de etanol, el

foco está en el biodiesel elaborado principalmente sobre la base de colza, aunque se asume que debido a la nueva legislación la soja podría ganar espacios en el corto plazo. Si bien existe una directriz comunitaria que establece que al 2010 los biocombustibles deben representar el 5,75% del total de los carburantes usados por el transporte, los países establecen además sus propias políticas y por ahora el uso es voluntario. En el Viejo Continente cada país produce para su autoabastecimiento, como una forma de disminuir el consumo de petróleo y, al mismo tiempo, busca utilizar combustibles que impacten menos en el medio ambiente, tanto por su forma de elaborarlos como por su uso. Según estudios recientes del ciclo de vida de los biocombustibles, les resulta ambientalmente más sustentable la importación de aceites y/o granos oleaginosos para la producción de biodiesel, que producirlos localmente, pudiendo esto justificar algún cambio reciente en su legislación.

China

El gigante asiático pretende disminuir hasta un 50% su consumo de gasolina en algunas zonas, a través de su reemplazo por etanol. Para ello está invirtiendo muy fuerte en investigación que le permita conseguirlo. Si bien podría convertirse en un importante productor, probablemente se transformará también en un importador de peso. Sin embargo hay estudios que pronostican que la mayor eficiencia que podría lograrse en el proceso productivo especialmente en etanol a partir de biomasa, transformarían a China y a EE.UU. en exportadores netos de biocombustibles.

Argentina

La industria se encuentra en un estado inicial en nuestro país. Probablemente como hasta hace poco el país era autosuficiente en energía, no existió la decisión política de impulsar esta industria. Se han realizado algunas inversiones de magnitud en el área cercana a los puertos de río donde se concentra la industria aceitera del país para producción de biodiesel, habiéndose concretado las primeras exportaciones. Algunas estimaciones ubican a la Argentina en el quinto puesto en producción mundial de biodiesel con una producción de 1,2 millones de toneladas hacia 2010. Se estima que al término de las obras actualmente en construcción la capacidad de producción de biodiesel llegará a 1,57 Mt. Tal como se mencionara, la viabilidad económica del negocio depende del diferencial en las alícuotas de derechos de exportación entre el biodiesel y el aceite. El potencial de nuestro país es

enorme, no sólo para producir aceites, sino también para generar materia prima para la producción de etanol a partir de caña de azúcar, maíz, y/o sorgo, como también a partir de biomasa, produciendo cultivos específicos o utilizando restos de la industria forestal.

Evaluación del negocio

“La industria de biocombustibles está en una explosión de innovación incesante y es la que crece más rápido en el mundo, mucho más que las telecomunicaciones, la electrónica, la informática” “En EE.UU. se inaugura una planta de etanol por semana, gracias a ello los *farmers* industrializan su maíz agregándole valor y están menos expuestos a la variación de precios en los mercados” “El mundo está cambiando su paradigma energético, dejando los combustibles fósiles y reemplazándolos por fuentes renovables” “La producción de etanol es altamente rentable, el bajo costo de producción implica plazos muy cortos para el repago de la inversión” “En el mundo hay enormes cantidades de capital disponible para invertir en la industria de los biocombustibles” “La demanda no tiene techo, por las legislaciones que establecen obligatoriedad de uso en los principales países”

Frases como estas, son habituales en la mayoría de los medios de comunicación en los últimos tiempos. Sin embargo cualquier escuela de negocios lo primero que enseña, es que al encarar un negocio nuevo debemos tener claro como salir de él. Al armar un plan de negocios se deben evaluar la mayor cantidad de escenarios futuros posibles y no dar por sentadas afirmaciones, que en algunos casos pueden ser más expresiones de deseo, que realidades concretas. Como ejemplo se puede citar que en marzo de 2008 el etanol en EE.UU. tenía menor precio que la gasolina, por sobreoferta y dificultades de distribución.

La producción de etanol a partir de caña de azúcar en Brasil parece ser el negocio con mejor ecuación económica y energética, sin embargo a modo de ejemplo se indican algunas preguntas a responder, antes de decidir la inversión.

Del negocio en sí:

¿Cuál es el costo de producción? ¿Es sustentable a precios de mercado o necesita algún subsidio o diferencial impositivo para ser competitivo? ¿Qué precio debería tener el barril de petróleo, para que deje de ser negocio el etanol? ¿Se sostiene el emprendimiento con algunos años de baja en el precio del petróleo? ¿Cuál es el costo del transporte del etanol, distancias y destinos? ¿Se vende a una petrolera grande, o hay que distribuirlo a minoristas?

¿Qué barrera de entrada hay para una planta competidora por materia prima, en la misma región? ¿Se puede tercerizar el riesgo financiero (hacer la inversión con plata de otro)? ¿Existen créditos blandos y a largo plazo, para financiar la inversión? ¿Qué protección legal, en cuanto a estabilidad en las reglas de juego, tiene en negocio? ¿Existe seguridad jurídica?

Del proceso de producción:

¿Cuál es el riesgo de que sea reemplazado por la producción de biomasa, con otra materia prima más barata, o subsidiada –ej. basura orgánica de una gran ciudad-? ¿Es fácil-carro transformar el proceso de la planta, ante esta alternativa? ¿Qué costo energético tiene el proceso? ¿De donde se provee la energía para el funcionamiento de la planta (bagazo?)? ¿Hay alguna tecnología con mayor rendimiento y menor costo? ¿Qué subproductos se generan, qué importancia tienen en la ecuación económica final, cómo se procesan y venden? ¿Se genera alguna contaminación ambiental? ¿Hay estudios medio-ambientales al respecto? ¿Hay alguna resistencia social, o desplazará alguna producción al instalarse en la región?

De la producción agronómica:

¿Qué volumen de producción se necesita para que la planta funcione a pleno? ¿Cuánto tiempo se necesita para la implantación de esa superficie? ¿Cuál es el flujo de producción prevista? ¿Qué sincronía hay entre la entrada en producción de la planta y la producción de caña, a quién se vende mientras tanto? ¿Qué estímulo en cuanto a precio, financiación de la inversión, etc., se necesita para inducir a los agricultores cercanos, a producir suficiente caña para la planta? ¿Si la producción depende del riego, hay acuífero suficiente –caudal y costo/mm.- para regar la superficie necesaria? ¿Qué riesgo de salinización tiene por la extracción? ¿Cuál es el costo de producción de caña bajo riego vs. seco, medido por tonelada? ¿En qué proporción incide, en el costo de elaboración del etanol? ¿Cómo es el balance energético de esa producción? ¿Si la cosecha de la caña es estacional, qué capacidad de almacenamiento se necesita para producir todo el año? ¿Qué capacidad financiera implica? ¿Si hay que escalonar la producción de caña en el año, tiene diferente costo/precio, a lo largo del año? ¿Hay materia prima alternativa –maíz u otro- disponible, a qué costo y con qué incidencia del flete, si hay que transportarla?

Conclusión

La crisis energética mundial está impulsando la búsqueda de nuevas fuentes de recursos renovables. El sector agrícola tradicionalmente ocupado de proveer alimentos se encuentra con un nuevo desafío de seguir aumentando la producción de cultivos tradicionales y desarrollar alternativas para generar cultivos que puedan cubrir parte de la demanda energética. Esta demanda a su vez ha aumentado y se estima que seguirá aumentando especialmente en Asia (China e India). La mayor ventaja que poseen los biocombustibles es que el producto (biodiesel o etanol) no requiere cambios drásticos en la comercialización y distribución, o en la ingeniería de los vehículos de transporte. Se está gestando una nueva industria de bio refinerías integradas a la producción agrícola, cuyo crecimiento de la mano de mejoras en la eficiencia, sustentabilidad y economía gracias a las investigaciones en curso, tiene un futuro muy auspicioso. Sin embargo, está claro que los biocombustibles no solucionarán los problemas energéticos y otros recursos como el uso de la energía solar, eólica, hídrica o nuclear serán necesarios para cubrir la demanda actual y futura de la sociedad.

Bibliografía

Agromercado. N264. abril 2007. Biocombustibles.

Billion Ton Report http://feedstockreview.ornl.gov/pdf/billion_ton_vision.pdf

Biodiesel en Argentina. <http://www.biodiesel.com.ar/>

Biomass. Tilman, D. Hill, J. and Lehman, C. Science. Dec 2006. pg /1598 - 1600.

Breaking the Biological Barriers to Cellulosic Ethanol

<http://genomicsgtl.energy.gov/biofuels/2005workshop/b2blowres63006.pdf>

Carbon-Negative Biofuels from Low-Input High-Diversity Grassland

Cárdenas G. Potencialidad del cultivo de caña de azúcar como fuente de bioetanol. EEAOC

<http://www.biodiesel.com.ar/download/AapresidBiocombustiblesCardenasXVCongreso150807.pdf>

Ceres, Inc. <http://www.ceres.net/>

Colza en Canadá. <http://www.canola-council.org/>

Christian, D.G., and E. Haase. 2001. Agronomy of Miscanthus, p. 21-45, *In* M. B. Jones and M. Walsh, eds. Miscanthus for Energy and Fiber. James & James (Science Publishers) Ltd, London.

E.A. Heaton, F. G. Dohleman** and S.P. Long (2008) Meeting/ U.S. biofuel

goals with less land: The //potential of Miscanthus/. Global Change Biology (/submitted/)/.

Farrell, A.E., R.J. Plevin, B.T. Turner, A.D. Jones, M. O'Hare, and D.M. Kammen. 2006. Ethanol Can Contribute to Energy and Environmental Goals. Science 311:506-508.

Lichts, F. O. 2008. World Etanol and Biofuels report. Feb 18.

Ley 26.093 Biocombustibles, 2006, Senado de la Nación, Boletín Oficial de la R.A.

Maizar <http://www.maizar.org.ar>

Miguez, F. E. 2007 Miscanthus x giganteus: Meta-Analyasis, Field Trials and Mathematical Modeling. PhD Thesis. University of Illinois at Urbana-Champaign.

Miguez, P.J. Elaboración de biodiesel. Revista Agromercado. N137. Abril 2007. Temático de Colza.

Miscanthus. <http://www.miscanthus.uiuc.edu>

National Geographic Magazine. Oct 2007. Growing Fuel.

National Geographic Magazine. Aug 2005. After oil.

Panichelli, L. 2006 Análisis del ciclo de vida de la producción de biodiesel (B100) en Argentina Tesis de Especialización en Gestión Ambiental de Sistemas Agroalimentarios. UBA Laboratory of Energy Systems - Lausanne – Switzerland.

Ragauskas, A.J., C.K. Williams, B.H. Davison, G. Britovsek, J. Cairney, C.A. Eckert, W.J. Frederick, Jr., J.P. Hallett, D.J. Leak, C.L. Liotta, J.R. Mielenz, R. Murphy, R. Templer, and T. Tschaplinski. 2006. The Path Forward for Biofuels and Biomaterials. Science 311:484-489.

Rothkopf, G. 2007 A blueprint for Green Energies in the Americas, Inter American Development Bank.

http://www.biodiesel.com.ar/download/A_Blueprint_Executive_Summary.pdf

Schmer, M.R., Vogel, K.P., Mitchell, R.B., Perrin, R. K. Net energy of cellulosic ethanol from switchgrass. Proceedings of the National Academy of Sciences. January 15, 2008. vol. 105 . no. 2 . 464-469.

Schvarzer, J. y A. Tavošnanska, 2007 Biocombustibles: expansión de una industria naciente y posibilidades para Argentina. CESP A UBA.

http://www.biodiesel.com.ar/download/Documento_de_Trabajo_nro13_CESP A.pdf

Using Canola-Derived Biodiesel as a Competitive Alternative to Petroleum

www.plant.uoguelph.ca/courses/plnt-6250/pdf/E_Shaw.pdf

U.S. Department of Energy www.energy.gov

Vergagni, G., 2007 La industria del etanol a partir de maíz ¿Es factible su desarrollo en

Argentina? <http://www.maizar.org.ar>