

Avances en la evaluación de la eficiencia energética del proceso de producción de biodiesel para distintas escalas

HUERGA, I.¹; DONATO L.²

RESUMEN

El biodiesel es un biocombustible producido por la reacción entre aceite vegetal o grasa animal y alcohol. El balance energético es uno de los puntos críticos al momento de evaluar la sustentabilidad del mismo. El objetivo de este trabajo es analizar la relación entre la energía consumida y generada en dos sistemas de producción de biodiesel: uno para autoconsumo en un establecimiento agropecuario y otro para abastecer el corte interno de gasoil y las exportaciones. Con datos de la etapa agrícola e industrial y mediante la aplicación de indicadores energéticos, se obtuvieron los resultados para cada caso. En el sistema de producción para autoconsumo, la colza y el girasol se presentan como las mejores alternativas desde el punto de vista energético. En el caso de la producción para el corte interno y exportación, el mejor resultado se produce con soja de siembra directa y tecnología de punta. Se necesitan conocer el consumo de energía fósil para la fabricación de los principales insumos (fertilizantes, agroquímicos y alcohol) para obtener un análisis con mayor certeza del balance energético en nuestro país.

Palabras claves: biocombustibles; balance energético.

ABSTRACT

Biodiesel is a biofuel produced by the reaction between vegetable oil or animal fat and alcohol. The energy balance is a critical point when assessing the sustainability. The aim of this study is to analyze the relationship between energy consumed and generated in two biodiesel production systems: one for consumption on a farm and other to supply the diesel blended and export. Using data from the agricultural and industrial stage by application of energy indicators, results were obtained for each case. In the system of production for own consumption, rapeseed and sunflower are presented as the best alternative from an energy standpoint. In production for domestic and export cut, soybean tillage system with advanced technology provides the best results of energy balance. In this case, has a strong impact the application of agrochemicals and fertilizers. They need to know the consumption of fossil energy for the production of key inputs (fertilizers, chemicals and alcohol) for a discussion with more certainty of energy balance in our country.

Keywords: biofuel; energy balance.

¹Estación Experimental Agropecuaria INTA Oliveros. Ruta 11 km 353 (2206) Oliveros, Santa Fe, Argentina

²Instituto de Ingeniería Rural – Centro de Investigación de Agroindustria. INTA. CC 25 - CP1712 - Castelar, Pcia. de Buenos Aires, República Argentina. ihuerga@cni.inta.gov.ar; ingdonato@cni.inta.gov.ar

INTRODUCCIÓN

Los biocombustibles se presentan como una solución alternativa y transitiva a la escasez de los combustibles fósiles. Según la FAO (FAO, 2008), los biocombustibles son combustibles producidos a partir del uso directo o indirecto de biomasa, y se cita como ejemplos a leña, carbón, pellets, briquetas, bioetanol, biodiesel, biogás y biohidrógeno.

El biodiesel puede ser producido por una gran variedad de materias primas (incluyendo aceites vegetales, sebos animales y aceites de cocina usados) en reacción con un alcohol y catalizador (Knothe *et al.*, 2004). Según la norma de calidad IRAM 6515 (IRAM, 1989), el biodiesel es una mezcla de ésteres metílicos o etílicos de ácidos grasos, derivados de la transesterificación de aceites de origen vegetal.

Es notorio que en este último tiempo, el biodiesel ha adquirido una importancia tanto a nivel mundial como nacional, de forma de poder disminuir la dependencia hacia aquellos combustibles derivados del petróleo. Se estima que en el año 2010 la producción mundial alcanzó los 14 millones de toneladas (Agencia Internacional de Energía, 2007). Argentina no escapa a este contexto. Posterior a la sanción de la ley nacional N.º 26.093 en el año 2006, se han instalado plantas acopladas a las aceiteras o en cercanías de estas. La producción de biodiesel en el año 2009 llegó a 1,2 millones de toneladas, insertando a la República Argentina como uno de los principales productores mundiales (James, 2009). Actualmente se sustenta en la utilización de cultivos oleaginosos, principalmente la soja, aunque existe interés de diversificar las materias primas para utilizar en este proceso.

La industria argentina de biodiesel está conformada, principalmente, por grandes aceiteras que poseen capacidad de producción propia, y plantas aledañas a estas. Este sector cuenta con la ventaja de tener un control de calidad acorde a las normativas internacionales y la disponibilidad de materia prima (James, 2009). El biodiesel es comercializado en el país (para el corte interno del gasoil) o exportado a Europa. La materia prima (aceite) se extrae del grano mediante una etapa mecánica (prensado y expandido) y una química utilizando solventes (n-hexanos). La producción de biodiesel se realiza mediante proceso continuo en una escala de producción mayor a 9.000 toneladas por mes.

Aquellas plantas de producción pequeñas son un eslabón importante dentro de la cadena productiva de la región, y proveen de combustible a un sector específico. Dentro de este sustrato se hallan productores agropecuarios que buscan autoabastecerse debido a la escasez de gasoil que se produce durante los períodos donde la actividad agrícola se intensifica (siembra y cosecha de granos). En esta escala productiva, la extracción de aceite se realiza mediante prensas y extrusoras, y la transformación a biodiesel, mediante proceso discontinuo en plantas de tecnología nacional. La capacidad operativa es inferior a los 1.000 litros de biodiesel por lote, siendo característica la producción de 300 litros/lote. Se utilizan los mismos reactivos que en las grandes empresas y resinas de intercambio para la etapa de purificación.

Independientemente del tamaño del establecimiento, existe un fuerte debate sobre la sustentabilidad ambiental del proceso de producción de biodiesel. Éste se centra en todo el ciclo del producto, desde la obtención de la materia prima hasta su uso. Una de las herramientas implementadas para la evaluación ambiental de los biocombustibles es el Análisis de Ciclo de Vida (ACV).

Se han realizado múltiples ACV para la producción de biocombustibles en diferentes partes del mundo y utilizando materias primas variadas. Almeida Neto *et al.* (2004) comparan el balance de energía entre la producción de biodiesel con aceite de ricino en el estado de Bahia (Brasil) con los de soja de EE.UU y colza de Europa. En todos los casos el resultado es positivo y además, el autor establece que de optimizar el uso de productos químicos en el suelo (especialmente nitrógeno), se reduciría hasta un 65% la energía fósil utilizada.

En su libro, Knothe *et al.* (2004) muestran resultados de ACV realizados por distintos autores. Respecto a la colza europea, el autor rescata un balance positivo en cuanto a emisiones y energía; pero resalta la importancia de los impactos ambientales ocasionados por la eutrofización y acidificación en la fase agrícola.

Para la producción de biodiesel a partir de aceite de soja en Argentina, Panichelli *et al.* (2009) establecen que el principal impacto ambiental se genera en la etapa agropecuaria, donde el uso de combustible, glifosato y fertilizantes fosforados son factores de mayor importancia en este proceso. Acorde al autor, Donato y Hueriga (2009) muestran una fuerte influencia del período de siembra y la tecnología utilizada en los balances de energía realizados por estos.

Considerando la necesidad de realizar estudios que involucren distintas escalas de producción, es el objetivo de este trabajo obtener una primera aproximación de la relación entre la energía fósil consumida y la energía generada por los sistemas de producción de biodiesel para dos finalidades: exportación y abastecimiento del corte interno; y autoconsumo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Caso de estudio: Proceso de autoconsumo de combustible en el sur de la provincia de Buenos Aires

Para este trabajo se tomaron en cuenta los datos recolectados mediante una encuesta realizada a un establecimiento agropecuario representativo, que realiza el proceso de extracción de aceite y producción de biodiesel para autoconsumo. El mismo se encuentra ubicado en el sur de la provincia de Buenos Aires (República Argentina), donde se cultiva girasol, colza y soja con las labores que se muestran en la tabla 1.

Parte de la cosecha de semillas de girasol, colza y soja son almacenadas en forma temporal dentro del predio. A estas se realiza la extracción de aceite mediante el proceso de extrusado–prensado, con una capacidad operativa de 2000 kg de semillas por hora, obteniendo aceite y expeller

Cultivo	Labores involucrados	Fertilización
Colza	3 pulverizaciones; 1 siembra; 1 cosecha; 2 fertilizaciones	Nitrocomplex-UAN
Girasol	2 rastra de disco; 1 siembra; 2 pulverizaciones; 1 cosecha; 1 fertilización	DAP
Soja	3 pulverizaciones; 1 siembra; 1 cosecha; 1 fertilización	Superfosfato triple

Tabla 1. Labores agrícolas y fertilizaciones empleadas en el sistema de producción de biodiesel para autoconsumo.
Fuente: Elaborada por los autores.

según las características de cada cultivo. El expeller es utilizado para alimentación animal, ya sea dentro del mismo establecimiento o como producto de venta para otros.

El aceite es introducido en un tanque cilíndrico con agitación junto con hidróxido de sodio y metanol (previamente mezclados) para su transformación a biodiesel. La reacción se mantiene a temperatura y agitación (recirculación

de la mezcla por bombeo, captando de la parte inferior y vertiendo por la zona superior del reactor). Luego se separa la glicerina y se purifica la fase rica en ésteres mediante resinas de intercambio. El biodiesel obtenido es almacenado dentro del predio para su posterior utilización. La glicerina se la coloca en tambores plásticos para su posterior empleo en caldera, junto con residuos vegetales.

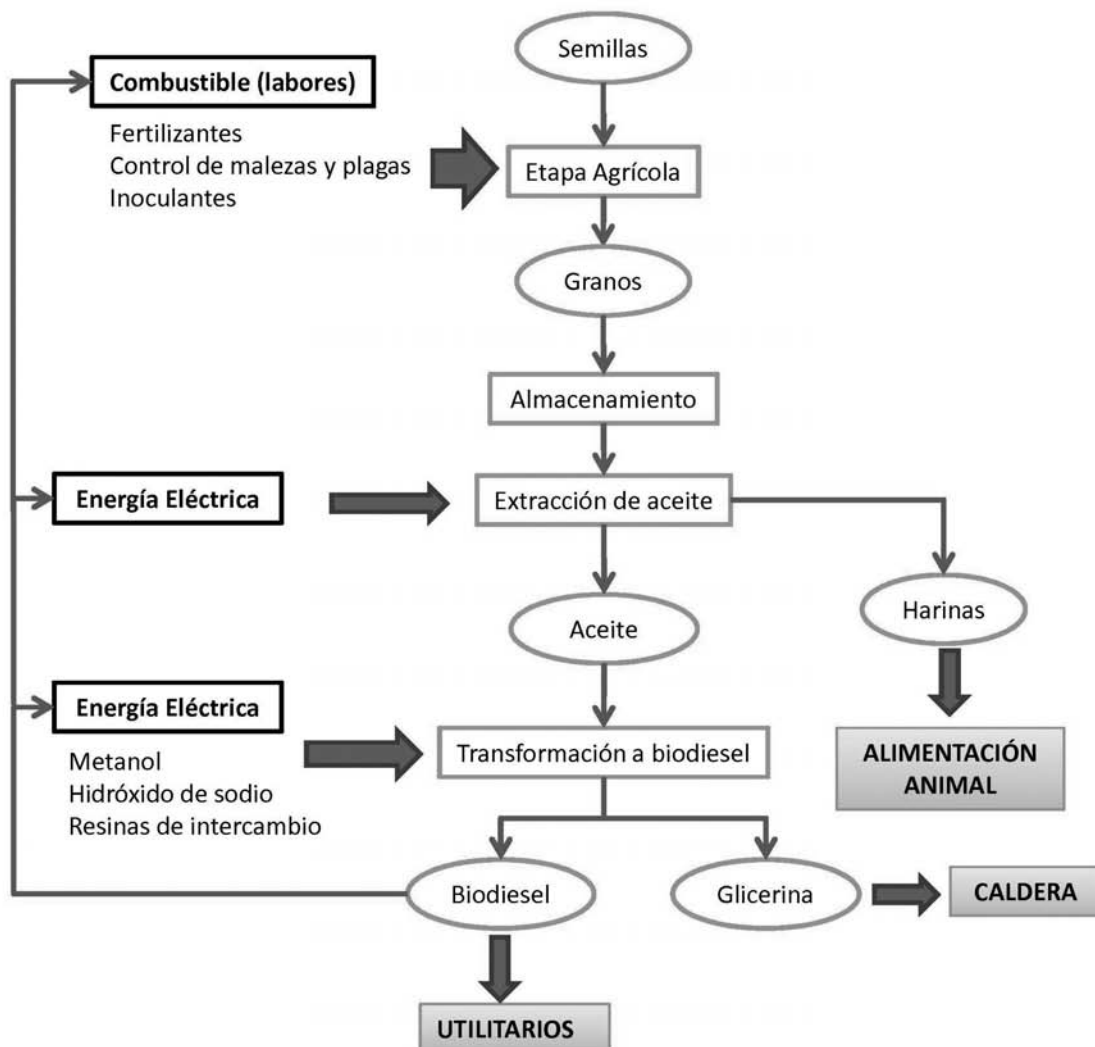


Figura 1. Producción de biodiesel para autoconsumo. Fuente: Elaborada por los autores.

El biodiesel es utilizado como combustible en tractores, cosechadoras y utilitarios dentro del mismo establecimiento. Además, se alimenta el generador de energía para la planta de extracción de aceite y producción de biodiesel.

Es importante destacar que los insumos, tanto para la etapa agrícola como para la de transformación, provienen de Bahía Blanca (distancia inferior a 200 km), por lo que el

flete de los mismos no es una variable significativa desde el punto de vista energético.

Caso de estudio: Proceso de producción de biocombustibles en la provincia de Santa Fe

Para este medio productivo, se consideran distintos sistemas agrícolas para la obtención de la materia prima: soja

Cultivo	Labores involucrados	Fertilización
Soja 1° SD	1 siembra; 1 fertilización; 6 pulverizaciones; 1 cosecha	Fosfato monoamónico
Soja 1° Convencional	2 disco doble; 1 vibrocultivador; 1 siembra; 1 fertilización; 3 pulverizaciones; 1 cosecha	Superfosfato triple
Soja 2° SD	1 siembra; 4 pulverizaciones; 1 cosecha	
Soja 1° Tecnología de punta	1 siembra; 1 fertilización; 6 pulverizaciones; 1 cosecha	Azufre S15
Soja 1° SD Salta	1 siembra; 1 fertilización; 6 pulverizaciones; 1 cosecha	

Tabla 2. Labores agrícolas y fertilizaciones empleadas en el sistema de producción de biodiesel para corte interno y exportación. Fuente: Elaborada por los autores.

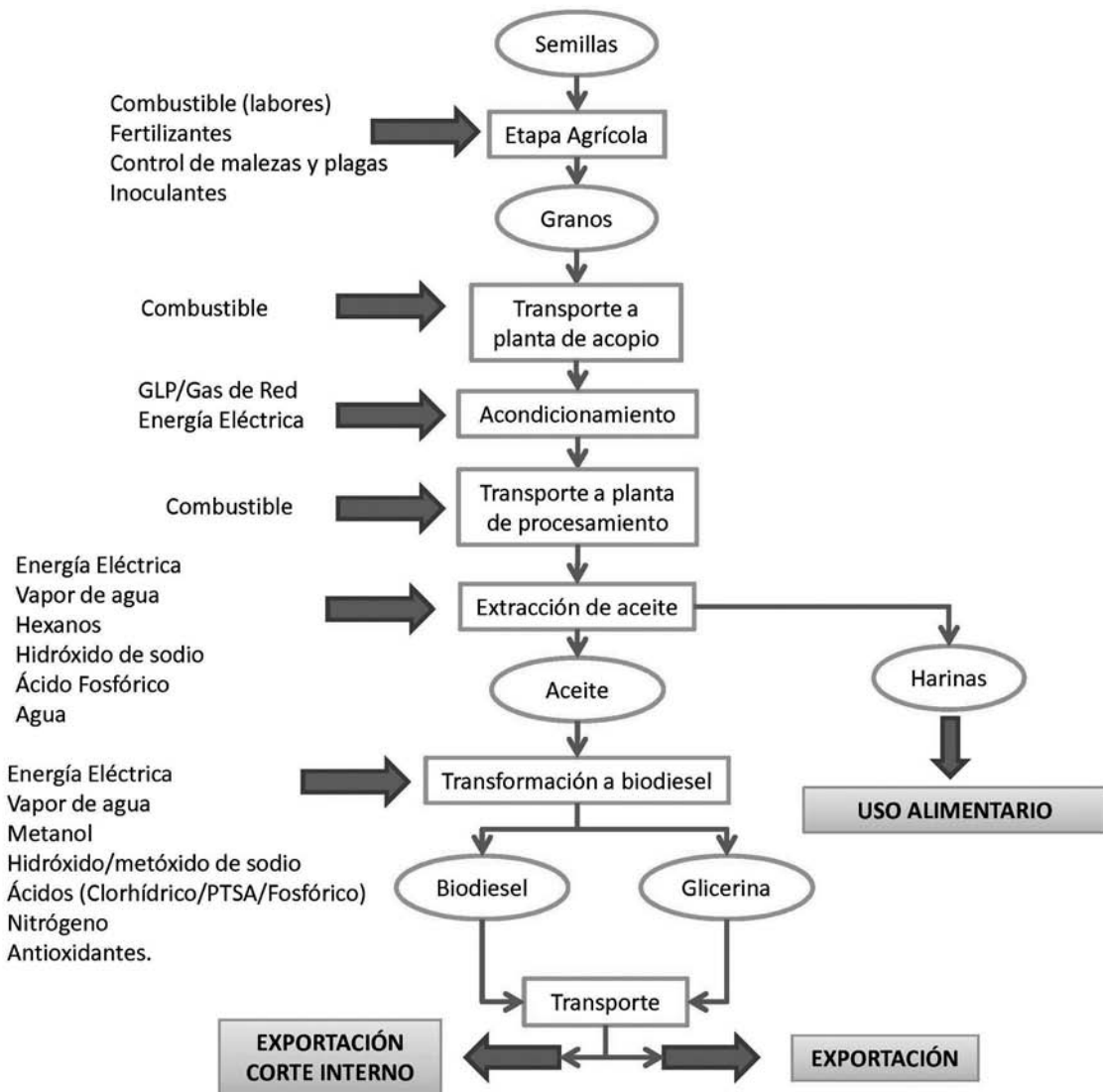


Figura 2. Producción de biodiesel a gran escala. Fuente: Elaborada por los autores.

de primera y segunda con siembra directa; soja de primera con labranza convencional y soja de primera con tecnología de punta. Se adopta como zona para el cultivo el sur de la provincia de Santa Fe y el norte de Buenos Aires, incluyendo además (a modo de referencia) la soja obtenida de la provincia de Salta. El sistema de estudio abarca las tareas de labranza, siembra, mantenimiento y cosecha del cultivo. Las labores realizadas y el tipo de fertilizante aplicado durante la etapa agrícola se muestran en la tabla 2.

El grano es almacenado en silos o celdas ubicadas a menos de 50 km de los establecimientos agropecuarios, previo proceso de acondicionamiento en el cual se reduce el contenido de humedad del mismo. Luego es transportado en una distancia cercana a los 200 km hasta las plantas de extracción de aceite, que realizan este proceso por vía física (prensado y laminado) y química (extracción con solventes).

Mediante un oleoducto, el aceite es enviado a los establecimientos de transformación a biodiesel. El producto obtenido es transportado en parte a las petroleras donde se realiza el mezclado con el diesel, y de aquí a las distintas partes del país. Se tomará recorrido medio (de la planta de biodiesel a la petrolera y de esta al consumo) unos 800 km. El resto del producto es exportado hacia Europa.

Para conocer el consumo de gasoil en la etapa agrícola se utilizó el Software COSTOMAQ v1.1, mientras que los insumos utilizados para cada caso fueron relevados mediante la revista Márgenes Agropecuarios (Márgenes Agropecuarios, 2010). Los datos de la etapa industrial fueron relevados mediante encuesta realizada a una industria aceitera de gran tamaño y a una empresa de producción de biodiesel.

Indicadores energéticos

Para conocer la demanda de energía fósil de los insumos, se utilizaron indicadores energéticos implementados por otros trabajos de referencia sobre la temática (Pimentel, 2005; Patzek, 2004; Sheehan *et al.*, 1998 y Pereira Dos Santos *et al.*, 2000). Estos indicadores corresponden a bases de datos GREET de Estados Unidos, y expresan la energía fósil que se requiere para producir una determinada cantidad de cada insumo utilizado en un determinado proceso productivo.

Los subproductos influyen en forma significativa en los resultados. Se toman los poderes caloríficos de la glicerina y harinas como indicadores energéticos. En los sistemas de gran escala, también se considera el poder calórico de las cáscaras, ya que estas son quemadas en las calderas para la obtención de energía.

RESULTADOS

En lo que respecta al sistema de autoconsumo, se observan diferencias entre la soja respecto a la colza y girasol. La principal demanda energética en girasol se encuentra en la cantidad de gasoil implementada durante las labores agrícolas, mientras que en el caso de la colza, el elevado requerimiento de fertilizantes impacta negativamente en el balance energético. Ambos poseen una elevada proporción de aceite, lo cual permite obtener una mayor eficiencia en el uso de energía durante la etapa de extracción y transformación a biodiesel (figura 3).

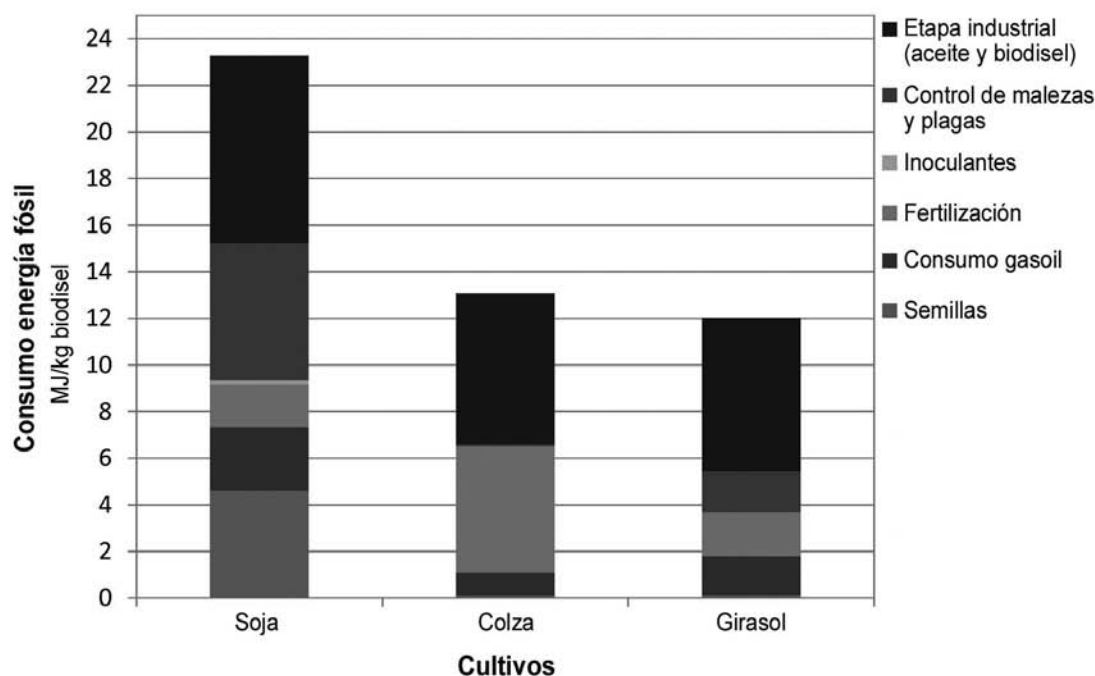


Figura 3. Consumo de energía fósil (en MJ) por kg de biodiesel generado en sistemas de producción en pequeña escala (autoconsumo). Fuente: Elaborada por los autores.

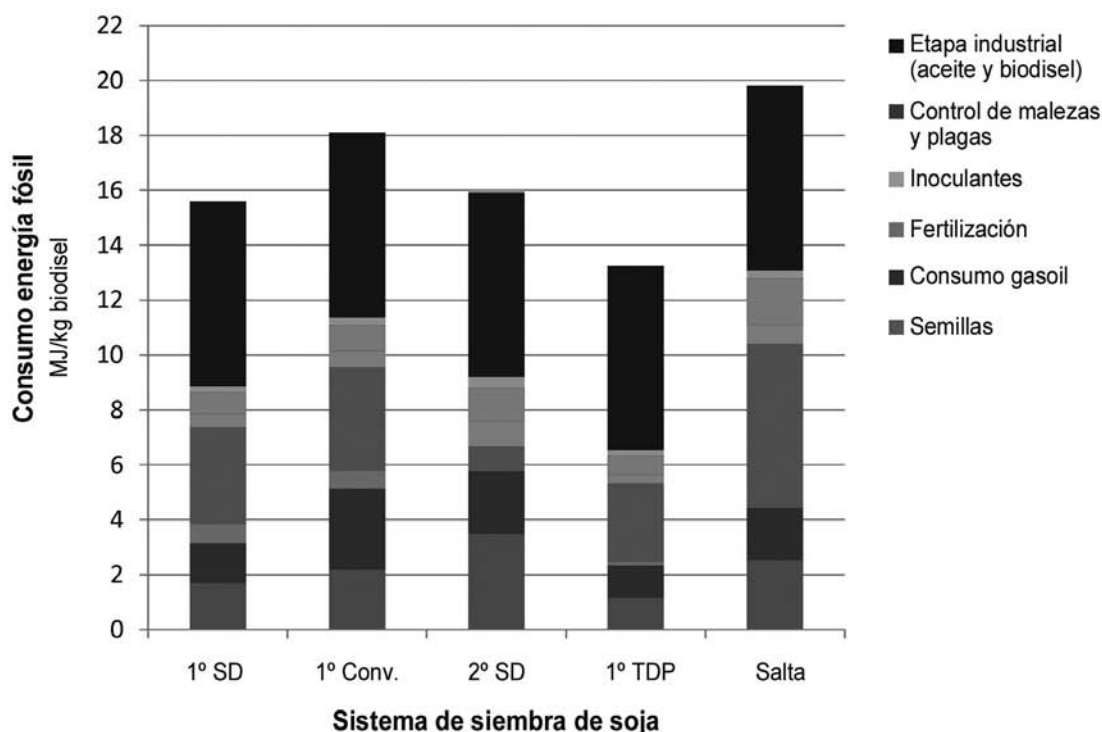


Figura 4. Consumo de energía fósil (en MJ) por kg de biodiesel generado en sistemas de producción a gran escala (exportación y corte interno). Fuente: Elaborada por los autores.

Consumo de energía fósil (MJ)/kg biodiesel generado								
	Autoconsumo			Corte y exportación				
	Soja	Colza	Girasol	Soja 1° SD	Soja 1° Convencional	Soja 2° SD	Soja 1° Tecnología de punta	Soja 1° SD Salta
Semillas	4,62	0,11	0,13	1,7	2,19	3,5	1,16	2,54
Consumo gasoil	2,71	1	1,66	1,45	2,95	2,28	1,16	1,9
Fertilización	1,83	5,41	1,87	0,68	0,66		0,14	
Control de plagas y malezas	5,89	0,08	1,79	3,55	3,77	0,9	0,3	5,96
Inoculantes	0,18		0,001	0,44	0,57	0,9	2,86	0,66
Transporte				0,84	0,98	1,24	0,74	1,73
Secado de granos				0,2	0,26	0,37	0,16	0,27
Etapa industrial (aceite y biodiesel)	8,04	6,47	6,57	6,72	6,72	6,72	6,72	6,72

Tabla 3. Consumo de energía fósil (en MJ) por kg de biodiesel generado para ambos sistemas de producción. Fuente: Elaborada por los autores.

Lo contrario sucede con la soja, donde el contenido de aceite es menor. Influye además el uso de agroquímicos (como el caso del glifosato) en la energía fósil que este cultivo demanda. Se puede ver que el resultado obtenido es similar al arrojado para la soja de primera en siembra directa en Salta.

En la producción a gran escala y para la zona de referencia (norte de Buenos Aires, sur de Santa Fe), se observa que el sistema de mayor eficiencia es el de soja de primera con Tecnología De Punta (1.° TDP), mientras que la

soja con labranza convencional (1.° Conv) mostró un alto consumo energético. Estas diferencias se dan en la etapa agrícola, por un mejor uso de los recursos y altos rendimientos en 1.° TDP, y al elevado uso de gasoil en 1.° Conv (figura 4).

Para todos los casos, el consumo de energía fósil durante la etapa agrícola representa más del 50% del total requerido a diferencia del sistema de producción para autoconsumo, donde la etapa de extracción y transesterificación tiene una elevada incidencia, principalmente para la colza y el girasol.

Sistema	Cultivo	EG/EC sin subproductos	EG/EC con subproductos
Autoconsumo	Colza	3,28	4,03
	Girasol	3,62	4,52
	Soja	1,91	2,91
Corte y exportación	Soja 1° SD	2,39	3,09
	Soja 1° Convencional	1,97	2,50
	Soja 2° SD	2,34	2,96
	Soja 1° Tecnología de punta	2,88	3,64
	Soja 1° SD Salta	1,91	2,43

Tabla 4. Relación entre la energía renovable generada y la energía fósil consumida en función de los distintos cultivos y sistemas de producción, sin considerar y considerando el aporte de los subproductos. Fuente: Elaborada por los autores.

Se puede observar que el biodiesel de soja en autoconsumo presenta una mayor demanda energética que cuando se produce para corte interno y exportación debido, principalmente, a que la eficiencia en el sistema de extracción de aceite por prensado es menor que la implementada por las grandes industrias (prensado y solvente).

En cuanto a la relación entre la energía generada y consumida en ambos sistemas, teniendo y sin tener en cuenta la utilización de los subproductos (tabla 4), es importante notar la influencia que tiene la utilización de los subproductos en los resultados obtenidos. Cuando se tienen en cuenta, el girasol representa el cultivo de mayor eficiencia, mientras que la soja de primera con tecnología de punta es la de mayor índole para el caso de la producción a gran escala.

Es importante destacar que en la etapa de transformación de aceite a biodiesel, el sistema de autoconsumo es menos eficiente que los sistemas a gran escala. Esto es debido principalmente a que el metanol que no se llega a recuperar luego de la reacción. En los grandes emprendimientos, el proceso productivo se encuentra sistematizado para consumir la menor cantidad de insumos y materia prima (alcohol, hexanos, materia grasa). Para mejorar la eficiencia energética en estos sistemas, se deben ajustar los valores en la etapa agrícola, especialmente la aplicación de agroquímicos y fertilizantes. En el caso de la soja proveniente de la provincia de Salta, se debería realizar la extracción y transformación en esta región para disminuir el consumo de gasoil utilizado en el traslado del producto.

Se debe destacar la viabilidad de autoabastecimiento energético para el establecimiento agropecuario del sur de la provincia de Buenos Aires. Se pudo verificar que tres lotes de biodiesel (300 litros de producción por lote) diarios alcanzan para suministrar de energía a la planta de producción y de combustible a los utilitarios (tractores, cosechadoras, camionetas) del establecimiento agropecuario, según el consumo anual de gasoil que la misma posee.

No se encontraron referencias que arrojen resultados sobre balances de energía para sistemas de autoconsumo. Para el caso del biodiesel a gran escala, Panichelli (2008) menciona que el 61% de la energía fósil se consume durante la etapa agrícola, valor aproximado al que se llega en este trabajo. No obstante, el autor expresa que el balance energético es negativo, resultado influenciado por los indicadores energéticos utilizados y por tener en cuenta un mayor número de variables que escapan a los alcances de este trabajo pero que resultan indispensables considerarse para avalar la sustentabilidad de los biocombustibles.

Por otro lado, Sheehan (1998), en el balance energético para el biodiesel de soja en Estados Unidos, obtiene una relación de 3,2:1 para la energía generada sobre la energía fósil consumida. Los resultados obtenidos, por los indicadores energéticos utilizados y las operaciones realizadas en la fase agrícola e industrial son similares a los valores mostrados en este trabajo. En otro estudio realizado por el PROCISUR se llega a un balance de energía de 3,4:1 para la soja y de 3,71:1 para la colza, con sistemas de características similares a las mostradas en este trabajo.

Por último, para poder aproximarse con mayor detalle a la realidad nacional, deberán evaluarse los ciclos de elaboración de los principales insumos (metanol, fertilizantes y agroquímicos) en plantas de producción de nuestro país.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Los principales consumos energéticos en la producción de biodiesel, tanto para autoconsumo como para utilizar en el corte interno o exportación, se dan en la etapa agrícola, donde el combustible, los agroquímicos y los fertilizantes son los factores que mayor efecto tienen sobre los resultados.

En el caso de estudio para autoconsumo, se obtuvieron mejores resultados para el girasol y la colza que para la soja, por lo que implementar estos cultivos para la producción de biodiesel puede ser una ventaja energética, además de

proveer de combustible al productor para las operaciones agrícolas. Una optimización de la etapa de transformación (extracción de aceite y transesterificación) mejorarían el balance energético y la calidad del producto obtenido.

Al aumentar la escala productiva y considerando la producción de biodiesel con soja obtenida del sur de Santa Fe y norte de Buenos Aires, se pudo observar que la implementación del cultivo bajo tecnología de punta es el de mayor eficiencia. Esta zona es donde se obtienen los mejores rendimientos del país, y las distancias a los centros de transformación del grano son cortas, por lo que se podrían considerar como el sistema de producción de mayor eficiencia. Una optimización en la implementación de químicos y en las operaciones realizadas en la etapa agrícola mejoraría la sustentabilidad energética del sistema.

Para poder avalar la sustentabilidad del biodiesel en nuestro país y a diferentes escalas, es necesario realizar un análisis que abarque un mayor número de variables ambientales, contemplando el ciclo de vida de las entradas y salidas de materia y energía que intervienen en el proceso.

AGRADECIMIENTOS

A Eliana Vives (establecimiento productivo del sur de Buenos Aires), Liliana Iriarte (INTA Barrow); Raúl Bernardi y Raúl Cabrera (planta de producción de biodiesel); y Victor Castro (CARBIO)

BIBLIOGRAFÍA

AGENCIA INTERNACIONAL DE ENERGÍA. 2007. Biofuel Production. Reporte ETE 02 OECD/IEA. IEA Energy Technology Essentials. 4p. (www.iea.org/Textbase/techno/essentials.htm. Verificado: febrero 2011)

ALMEIDA NETO, J.; Cruz, R.; MIRANDA ALVES, J.; MOURA PIRES, M.; ROBRA, S.; PARENTE, E. 2004. Balances energéticos de esteres metílicos y etílicos a partir del aceite de mamona. Congreso Brasileiro de Mamona, 23 a 26 de noviembre de 2004, Campiña Grande. Brasil. Publicado en actas del congreso. 7 p.

DONATO, L.; TESOURO, O.; ONORATO, A. 2008. COSTOMAQ versión 1.1. Software para la gestión integral de la maquinaria agrícola. 37.º Jornadas de Información. Industrial y Agroinformática, pp. 85-99.

DONATO, L.; HUERGA, I. 2009. "Balance energético para la producción de biocombustibles en Argentina". (http://www.inta.gov.ar/iir/info/documentos/energia/balances_energéticos Verificado: diciembre de 2010).

FAO. 2008. "El estado mundial de la agricultura y alimentación: Biocombustibles y Agricultura. Panorama Técnico" Roma: 240 p. (http://www.fao.org/es/esa/index_es.htm Verificado: diciembre de 2010).

IRAM. 1989. "Calidad de combustibles. Combustibles líquidos para uso automotor. BIODIESEL. Requisitos" N.º 6515/01. Buenos Aires: IRAM.

JAMES, C. 2009. "Estado de la Industria Argentina de Biodiesel" Reporte Segundo Cuatrimestre 2009. Buenos Aires: Cámara Argentina de Energías Renovables (CADER): 19 p

KNOTHE, G.; VAN GERPEN, J.; KRAHL, J. 2004. "The Biodiesel Handbook" Primera Edición. Illinois: AOCS Press editorial. 302 p.

PANICHELLI, L. 2006. "Análisis de Ciclo de Vida (ACV) para la producción de biodiesel (B100) en Argentina". Trabajo de Tesis correspondiente a la Especialización en Gestión Ambiental para Sistemas Agroalimentarios. Universidad de Buenos Aires.

PANICHELLI, L.; DAURIAT, A.; GNANSOUNO, E. 2009. Life cycle assessment of soybean-based biodiesel in Argentina for export. The International Journal of Life Cycle Assessment 14 (2), 144-159.

PATZEK, T. 2004. Thermodynamics of the Corn-Ethanol Biofuel Cycle. Critical Reviews in Plant Sciences 23 (6), 519-567.

PEREIRA DOS SANTOS, H.; FONTANELI, R. N.; IGNACKAK, J. C.; ZOLDAN, S. M. 2000. Conversão e balanço energético e sistemas de produção de grãos com pastagens sob plantio direto. Pesquisa Agropecuária Brasileira 35 (4), 743-752.

PIMENTEL, D.; PATZEK, T. 2005. Ethanol Production using corn, switchgrass and Wood. Biodiesel production using soybean and sunflower. Natural Resources Research 14 (1), 65-76.

REVISTA MÁRGENES AGROPECUARIOS N.º 305 y 306. Año 25. Noviembre y Diciembre de 2010.

SHEEHAN, J.; CAMOBRECO, V.; DUFFIELD, J.; GRABOSKI, M.; SHAPOURI, H. 1998. An overview of biodiesel and petroleum diesel life cycles. Colorado: US Department Energy and US Department Agricultural. 33 p.

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA DE CHILE. 2007. Evaluación del Potencial Productivo de Biocombustibles en Chile con Cultivos Agrícolas Tradicionales. (http://www.odepa.gob.cl/odepaweb/servicios-informacion/publica/Potencial_productivo_biocombustibles_en_Chile.pdf Verificado: agosto de 2011).