



## **ECOEficiencia EN LA PRODUCCIÓN DE BIOCOMBUSTIBLES A PARTIR DE ACEITES USADOS. ESTUDIO DE CASO EN TRES ARROYOS, ARGENTINA.**

E. Marcela Guerrero<sup>1</sup>  
[emarquerr@gmail.com](mailto:emarquerr@gmail.com)  
Rafael A. Peucón<sup>2</sup>,

### **RESUMEN**

La crisis energética global pone en evidencia la escasez de recursos -especialmente el petróleo-, mientras que las energías alternativas parecen no responder cabalmente a las expectativas esperadas en el proceso de sustitución de las energías convencionales.

La producción de biocombustibles es vista como una solución “optimista” al problema energético global. No obstante, deja de lado muchas discusiones no resueltas como el efecto futuro sobre la producción de alimentos, el agro-negocio detrás de esta alternativa, la incapacidad real de sustitución del petróleo como principal fuente energética así como su contribución a una efectiva reducción de los denominados gases efecto invernadero (GEI).

Se describe la producción de biodiesel a partir de aceites usados en la Escuela Agropecuaria de Tres Arroyos (EATA), Argentina entre los años 2005-2006 y se compara con la producción de biodiesel a partir de materia virgen. La importancia del caso reside en el proceso de recuperación de aceites usados provenientes de la actividad gastronómica como materia prima para la producción de biodiesel que se emplea en el funcionamiento sustentable del establecimiento desde hace varios años. Para el cálculo de los balances materiales y energéticos se empleó el Análisis de Ciclo de Vida (ACV) que permite contabilizar las cargas energéticas y ambientales en cada proceso de producción, identificar el material así como la energía usada y los desechos liberados al ambiente.

**PALABRAS CLAVES:** Q40 Análisis de Ciclo de Vida- Balances energéticos - Q42 Energías alternativas - Q4 Recuperación y reutilización de aceites usados- Q42 Biocombustibles.

---

<sup>1</sup> Msc. En Economía Ecológica. Centro de Investigaciones y Estudios Ambientales (CINEA), FCH. UNICEN, (7000) Tandil, Argentina.

<sup>2</sup> Licenciado en Diagnóstico y Gestión Ambiental, Centro de Investigaciones y Estudios Ambientales FCH- UNICEN, (7000) Tandil, Argentina

## **ABSTRACT**

Global energy crisis made evident natural resources scarcity.-mainly oil-, besides alternatives energies aren't fulfill expectative waited in substitution process to conventional ones.

One alternative energetic solution developments in global scale, is bio-combustibles from vegetal mass. This technology have optimistically opinions for global energetic problem, leaving behind others issues as well as, future effect over food production, the agro-businesses behind it, or real capacity to substitute oil or effective reduction global warming effect.

We describe bio-diesel production in an Agricultural School in Tres Arroyos (EATA), Argentina between 2005/2006. Case election is related with re-employed of oil used in food elaboration to bio-diesel production employed in sustainable performance school. Product's Life Cycle Analysis (LCA) allows us calculated energetic and environmental charges associated with production, identifying material and energy used as well as wastes liberated to environment. Since cycles and process it were possible made energetic balances and compared production efficiency between combustibles production since oil used from EATA and bio-diesel since virgin staple in national scale.

**KEY WORDS:** Life cycle Analysis - Energetic balances - Alternative energy - Oil used re-utilization - Biodiesel.

## **1. INTRODUCCIÓN**

El auge de la producción de bio-combustibles<sup>3</sup> se constituye en una respuesta al potencial agotamiento de las reservas y a la sostenida suba de los precios internacionales de los combustibles fósiles (gas y petróleo). La producción de petróleo parece haber llegado a su máximo rendimiento posible -dónde las posibilidades de descubrimientos no alcanzan a compensar las tasas de extracción. Este proceso de rendimientos decrecientes pone en evidencia el agotamiento a corto plazo del petróleo - aunque los descubrimientos de nuevas zonas de extracción den la sensación que las reservas "crecen". La cuestión es conocer ¿cuándo se producirá el agotamiento total?, la respuesta es bastante evidente: dependerá de los ritmos de extracción.

En ese contexto, la crisis energética global y en particular la de Argentina, hacen necesario la búsqueda de alternativas energéticas y de desarrollo del sector. Desde hace unos años se incursiona en el desarrollo de alternativas al petróleo que sean económicamente rentables -debería agregarse, y ecológicamente sustentables. Las fuentes posibles son múltiples e incluyen a la ya clásica energía hidroeléctrica, la energía nuclear, la eólica, los paneles solares, el hidrógeno o la biomasa vegetal como sucede con los bio-combustibles.

En particular en el caso de los biocombustibles, se dejan de lado aspectos vinculados a la

---

<sup>3</sup> Los biocombustibles más utilizados son el bioetanol y el biodiesel. El primero, también llamado alcohol carburante, se extrae a partir de remolacha, caña de azúcar, sorgo, cebada, trigo, yuca y maíz. El biodiesel se obtiene a partir de aceites vegetales ya utilizados o producidos expresamente para ello. La soja es el principal cultivo proveedor de biodiesel, siendo importante también el girasol (San Martín, s/d).

expansión de estas producciones y sus impactos sobre la economía, el ambiente y el desarrollo, entre otros: la competencia creciente por el uso del suelo y la disponibilidad de agua. Los procesos de erosión del suelo asociados a prácticas agrícolas en suelos frágiles a los cultivos, y la consecuente pérdida de biodiversidad de esos ecosistemas. También es importante sopesar la cuestión alimentaria y el potencial riesgo de que los biocombustibles empujen los precios de los alimentos en competencia con la producción de biocombustibles, una tendencia que puede ser atractiva para los agricultores pero desastrosa para la mayoría de la población y los sectores más empobrecidos<sup>4</sup>.

En ese contexto, interesa poner en evidencia una cuestión “ecológica” que no se discute cabalmente y es la eficiencia energética de la producción de biocombustibles y responder al siguiente interrogante ¿Cómo resultan los balances energéticos de los insumos energéticos para la producción -energía para el laboreo de la tierra, la cosecha y el procesamiento del cultivo respecto a la producción de otros combustibles incluidos los no renovables? ¿Qué ocurre cuando se incluye al análisis el balance de Gases de Efecto Invernadero (GEI) emitidos en el procesamiento del cultivo y la producción del biocombustible para evaluar la real reducción de las emisiones de GEI? Y cuanto se ahorra en el balance de producción de este combustible cuando se parte de la recuperación de residuos y no desde materia virgen que es insumo dependiente del petróleo?

Para dar respuesta a algunos de estos interrogantes se analiza el proceso de producción de biodiesel de la Escuela Agropecuaria de Tres Arroyos, Argentina (EATA) entre 2005 y 2006<sup>5</sup>, considerando todas las entradas y salidas de materia y energía así como los requerimientos materiales y energéticos de materias primas para la producción de biodiesel. Se emplea como metodología el Análisis de Ciclo de Vida (ACV) que permite dimensionar energéticamente la producción de bio-combustibles y posteriormente, identificar los Impactos Ambientales asociados a la producción. Se evalúa en términos energéticos el proceso de producción de biodiesel, en la EATA y compararlos con la producción de combustibles a partir de aceites vírgenes.

## **2. ECOEFICIENCIA DE LA PRODUCCIÓN DE BODIESEL A PARTIR DE ACEITES USADOS**

La producción de Biocombustibles en Argentina ha evolucionado en forma creciente entre 2006 y 2011. A finales de 2006, Argentina contaba con una capacidad instalada de 155.000 toneladas (174 millones de litros; 46 millones de galones) de producción de biodiesel repartida entre seis empresas: Vicentin SA; Biomadero SA; Pitey SA; Advanced Organic Materials SA (normalmente conocida por sus siglas, AOMSA); Biodiesel SA, y Soyenergy SA. A finales del período analizado se habían multiplicado por más de 250

---

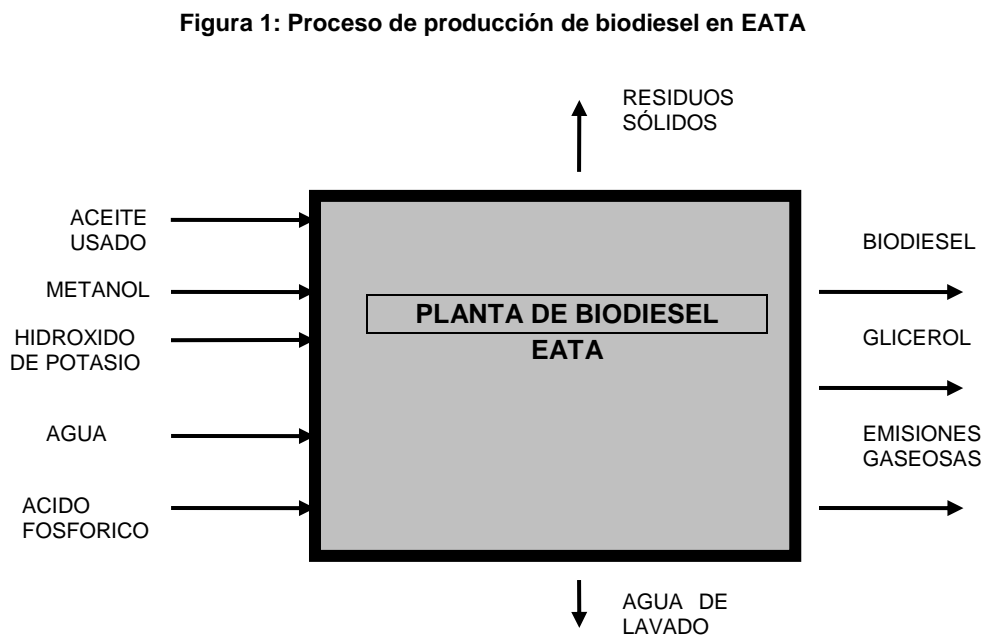
<sup>4</sup> Existen divergencias respecto a la eficiencia energética y ambiental de la producción de biocombustibles. Se destaca el menor efecto contaminante de su utilización y se opone que el consumo de combustible fósiles para su producción determina un balance negativo en ambos aspectos. Existen académicos y organizaciones sociales que sostienen que los principales beneficiarios serán, como siempre, los grandes productores rurales y empresas locales y multinacionales asociadas. El argumento es que estos actores invierten en el desarrollo de biocombustibles en la medida en que ven este fenómeno como una nueva oportunidad para generar negocios. Se destacan los reclamos que podrían ejercer las empresas multinacionales contra pequeños productores por supuestas violaciones de patentes en la utilización de semillas; su control casi monopólico de los mercados de maquinaria agrícola, agroquímicos y fertilizantes y su ingerencia en las políticas públicas y en las legislaciones (Saidon, Idem.).

<sup>5</sup> Se considera este periodo por la disponibilidad de datos para todas las etapas del ACV.

veces esa capacidad. Producción de En 2010 existían 23 plantas habilitadas produciendo 2,5 10<sup>6</sup> toneladas/año y con Corte Obligatorio del: 5 al 7% (Romano, S. 2010).

En 2001 el Estado expresó su interés por el tema a través de la resolución 1076/2001 de la Secretaría de Desarrollo Sustentable y Política Ambiental (SDSyPA), creando el Programa Nacional de Biocombustibles. La LEY 26.093 establece el régimen de regulación y promoción de los biocombustibles: estipula la incorporación paulatina de este combustible en las expendedoras y prevé beneficios económicos para aquellos que se dediquen a esta producción. También establece una categoría denominada "Autoconsumo" dirigida predominantemente al sector agropecuario que favorece el uso de estos combustibles en el sector (Cámara Argentina de Energías Renovables, 2008).

La figura 1 describe en forma sintética el proceso de producción en forma de entradas y salidas las diferentes etapas de análisis y los productos intermedios:



Fuente: elaboración propia en base EATA

## 2.1. Etapas del proceso de producción de biodiesel en EATA

1. *Filtrado aceite usado*: permite eliminar restos sólidos provenientes de las frituras. Decantación por un período no menor a 24 horas y posterior secado a 110°C durante 45/50 minutos para eliminar el agua presente.

2. *Transesterificación*: Cuando el aceite se encuentra en óptimas condiciones, se envía al reactor donde se produce la reacción química de transesterificación, la misma, es la reacción principal del proceso. En la misma reacciona el aceite con el metóxido, a una temperatura de 65 °C. La presión a la cual se realiza la reacción es la atmosférica. Es la principal etapa debido a que se produce la transformación de los triglicéridos en metil

esteres. Allí, mediante un sistema de agitación de paletas se mezclan 300 litros de aceite con 50 litros de metanol en presencia de un catalizador. El resultado es biodiesel y glicerol, subproducto de la reacción.

3. *Neutralización:* Se produce el agregado de ácido sulfúrico para neutralizar la alcalinidad obtenida por el producto por el agregado de soda cáustica, paso realizado previo a la decantación.

4. *Decantación:* Para extraer el subproducto se realiza una decantación por un período no menor a 8 horas. A partir de la diferencia de densidad, se obtiene una corriente “pesada” (glicerina con impurezas) y otra “liviana” (biodiesel con impurezas). La presencia de alcohol en ambas fases puede dificultar la separación.

5. *Elaboración biodiesel:* La última etapa en la elaboración de biodiesel consiste en un lavado con agua durante 60 minutos mediante un sistema de burbujeo para eliminar las impurezas que pueden quedar en el biodiesel, como ser glicerina, alcohol y jabones.

Para 1000 litros de biodiesel se requieren 2000 litros de agua. Se decanta el agua de lavado durante 8 horas como mínimo, se extrae y se seca el biodiesel a 110° C durante 30/40 minutos, para eliminar los restos de agua que pueda tener el producto final.

Los residuos orgánicos sólidos, obtenidos del filtrado del aceite, son utilizados como alimento para las lombrices californianas del criadero que posee la EATA. El agua que se extrae de la decantación del aceite vegetal y del lavado del biodiesel (enriquecida con potasio) se utiliza para el riego de la escuela. El glicerol, que se obtiene como subproducto de la reacción, se envía a una planta procesadora de residuos.

Los requerimientos energéticos de estos procesos se describen en la Tabla 1

**Tabla 1. Insumos para la producción de un bacht de biodiesel**

<b>Materias Primas</b>	
Aceite usado	
Insumos	
Hidróxido	P(OH)
Alcohol (metanol)	(sulfúrico)
Ácido	Kg.
Agua	Kg.
Productos	
Aceite +	Kg.
restos de comida	Kg.
Subproducto	
Glicerina	Kg.
Desechos	
Aguas Residuales	Kg.

*Fuente: Elaboración Propia.*

## 2.2. Cálculos y evaluación de los requerimientos energéticos en la obtención de biodiesel desde aceites usados

El análisis comienza desde el acopio en del aceite usado *in situ* (restaurantes, rotiserías, casas de familias), y el recorrido que se realiza desde los lugares de acopio hasta la escuela. Se pueden diferenciar en dos recorridos (corto y largo) con un consumo promedio de 13 litros de gasoil en los 100 Km (según datos propios). Un recorrido corto en Tres Arroyos que comprende unos 40/ 60 Km mensuales cada 15 días. El recorrido largo comprende otras ciudades: Bahía Blanca, Claromecó y Benito entre 350 y 400 Km una vez por mes. Los gastos de combustible para ambos recorridos son de 52.1 l/mes

Los litros de gasoil mensuales necesarios en la etapa de transporte: Considerando que un litro de gasoil equivale a 8000 Kcal y que 1 caloría es igual a 4.18 joules, (Huerga, et al, 2006). La energía total requerida mensualmente son de: 1. 742. 224 KJ. La energía total consumida por bacht, asumiendo que durante un mes se producen tres batch de Biodiesel es:

$$1.742.224 \text{ KJ}/3 = 580.741,33 \text{ KJ}$$

El gasto en KJ en cada uno de los bacht para la etapa de transporte es de 580 741.33 KJ

Cuando el aceite entra en la planta de la EATA, el primer paso es el *almacenamiento* en tanques destinados a tal fin. Luego se realiza el *filtrado* para separar la materia prima de impurezas. Por tratarse de aceite usado, la cantidad de impurezas puede variar mucho entre las diferentes recolecciones.

Para el proceso de *decantación* se deja el aceite ya filtrado, reposar por 24 horas.

El segundo gasto energético comprende la etapa de *secado* del aceite para que desprenda el contenido de agua, en esta etapa se asume que la temperatura inicial del aceite es de 25 °C.

Para el cálculo del gasto energético se procede a realizar el balance de energía como sigue,  
Donde:

### $\Delta H_{comb}$ : **CALOR DE COMBUSTIÓN:**

Es la energía liberada como calor cuando se completa la combustión de una sustancia en presencia de oxígeno.

### **Cp: CAPACIDAD CALORÍFICA:**

Temperatura de una determinada cantidad de una sustancia. Indica la mayor o menor dificultad que presenta dicha sustancia para experimentar cambios de temperatura bajo el suministro de calor.

$T_f$ : Temperatura final

$T_i$ : Temperatura inicial

V: Volumen

$\rho$ : Densidad

Q: Calor

### 2.3. Energía consumida en la etapa de secado del aceite

$$V_{gas} \left[ m^3 \right] \times \rho_{gas} \left[ \frac{Kg}{m^3} \right] \times \Delta H_{comb} \left[ \frac{KJ}{Kg} \right] = V_{aceite} \left[ m^3 \right] \times \rho_{aceite} \left[ \frac{Kg}{m^3} \right] \times Cp_{aceite} \left[ \frac{KJ}{Kg \cdot ^\circ C} \right] \times (T_f - T_i) [^\circ C] + V_{met} \left[ m^3 \right] \times \rho_{met} \left[ \frac{Kg}{m^3} \right] \times Cp_{met} \left[ \frac{KJ}{Kg \cdot ^\circ C} \right] \times (T_f - T_i) [^\circ C] + Q_{perdidas}$$

Remplazando la ecuación anterior por los valores correspondientes obtenidos de tabla y asumiendo un proceso de transferencia de calor 100% eficiente:

$$V_{gas} \left[ m^3 \right] \times \rho_{gas} \left[ \frac{Kg}{m^3} \right] \times \Delta H_{comb} \left[ \frac{KJ}{Kg} \right] = \left\{ 0.3 \left[ m^3 \right] \times 916 \left[ \frac{Kg}{m^3} \right] \times 1.670 \left[ \frac{KJ}{Kg \cdot ^\circ C} \right] + 0.05 \left[ m^3 \right] \times 786.6 \left[ \frac{Kg}{m^3} \right] \times 2.533 \left[ \frac{KJ}{Kg \cdot ^\circ C} \right] \right\} \times (110 - 25) [^\circ C]$$

Luego, la energía necesaria en la etapa de secado de 300 litros de aceite de cocina utilizado es:

$$V_{gas} \left[ m^3 \right] \times \rho_{gas} \left[ \frac{Kg}{m^3} \right] \times \Delta H_{comb} \left[ \frac{KJ}{Kg} \right] = \left( 458.916 \left[ \frac{KJ}{^\circ C} \right] + 99.623 \left[ \frac{KJ}{^\circ C} \right] \right) \times (110 - 25) [^\circ C] = 47475.815 [KJ]$$

Es decir la energía necesaria involucrada en la etapa de secado del aceite es de:

**47 475.815 KJ**

Luego, despejamos  $V_{gas}$  para obtener los  $m^3$  de gas quemados para generar la energía necesaria en esta etapa:

$$V_{gas} \left[ m^3 \right] = \frac{\left\{ V_{aceite} \left[ m^3 \right] \times \rho_{aceite} \left[ \frac{Kg}{m^3} \right] \times Cp_{aceite} \left[ \frac{KJ}{Kg \cdot ^\circ C} \right] + V_{met} \left[ m^3 \right] \times 786.6 \left[ \frac{Kg}{m^3} \right] \times 2.533 \left[ \frac{KJ}{Kg \cdot ^\circ C} \right] \right\} \times (110 - 25) [^\circ C]}{\rho_{gas} \left[ \frac{Kg}{m^3} \right] \times \Delta H_{comb} \left[ \frac{KJ}{Kg} \right]} = \frac{47475.815 [KJ]}{0.8 \left[ \frac{Kg}{m^3} \right] \times 55687.5 \left[ \frac{KJ}{Kg} \right]} = 1.057 [m^3]$$

Los  $m^3$  de gas natural involucrados en la combustión, en la etapa de secado del aceite son:

**1.057 m<sup>3</sup>**

Con el aceite ya seco y en condiciones de realizar la reacción de transesterificación, pasa por gravedad al reactor en donde se produce la reacción química, en el cual se mezclan con hidróxido de potasio y el metanol.

Producto de la reacción anterior se obtiene Biodiesel y glicerol, que luego es llevado a otro tanque que contiene ambas sustancias para que por decantación debido a su diferencia de densidad se logra separarlos obteniendo por un lado biodiesel y glicerol por separado.

En el mismo tanque donde se produce la decantación queda almacenado el biodiesel que es que se encuentra en mayor proporción, para realizarle un lavado con agua y ácido sulfúrico para evitar la formación de jabones, luego del lavado se deja decantar nuevamente para realizar la separación del agua y del Biodiesel.

Luego se calculan los requerimientos energéticos de la etapa que involucra el secado del biodiesel después de haber sido lavado. Para finalmente obtener Biodiesel puro.

#### 2.4. Energía consumida en la etapa del secado del biodiesel

$$V_{gas} \left[ m^3 \right] \times \rho_{gas} \left[ \frac{Kg}{m^3} \right] \times \Delta H_{comb} \left[ \frac{KJ}{Kg} \right] = V_{biodiesel} \left[ m^3 \right] \times \rho_{biodiesel} \left[ \frac{Kg}{m^3} \right] \times C_{p_{biodiesel}} \left[ \frac{KJ}{Kg \cdot ^\circ C} \right] \times (T_f - T_i) [^\circ C] + Q_{perdidas}$$

Remplazando la ecuación anterior por los valores correspondientes obtenidos de tabla y asumiendo un proceso de transferencia de calor 100% eficiente:

$$V_{gas} \left[ m^3 \right] \times \rho_{gas} \left[ \frac{Kg}{m^3} \right] \times \Delta H_{comb} \left[ \frac{KJ}{Kg} \right] = \left\{ 0.28 \left[ m^3 \right] \times 888 \left[ \frac{Kg}{m^3} \right] \times 2.09 \left[ \frac{KJ}{Kg \cdot ^\circ C} \right] \right\} \times (110 - 25) [^\circ C]$$

Entonces, la Energía necesaria en esta etapa de secado del biodiesel es:

$$V_{gas} \left[ m^3 \right] \times \rho_{gas} \left[ \frac{Kg}{m^3} \right] \times \Delta H_{comb} \left[ \frac{KJ}{Kg} \right] = \left( 519.658 \left[ \frac{KJ}{^\circ C} \right] \right) \times (110 - 25) [^\circ C] = 44170.896 [KJ]$$

Energía requerida en la etapa de secado del biodiesel es de:

**44 170.896 KJ por bacht**

Despejamos  $V_{gas}$  para obtener los  $m^3$  de gas quemados para generar la energía necesaria en esta etapa:

$$V_{gas} \left[ m^3 \right] = \frac{\left\{ V_{biodiesel} \left[ m^3 \right] \times \rho_{biodiesel} \left[ \frac{Kg}{m^3} \right] \times C_{p_{biodiesel}} \left[ \frac{KJ}{Kg \cdot ^\circ C} \right] \right\} \times (110 - 25) [^\circ C]}{\rho_{gas} \left[ \frac{Kg}{m^3} \right] \times \Delta H_{comb} \left[ \frac{KJ}{Kg} \right]} =$$

$$= \frac{44170.896 [KJ]}{0.8 \left[ \frac{Kg}{m^3} \right] \times 55687.5 \left[ \frac{KJ}{Kg} \right]} = 0.991 \left[ m^3 \right]$$

**Los 280 Litros de Biodiesel generan una energía de 280 L \*32.68 MJ/L (de tabla) = 9150.4 MJ = 9 150 400 KJ**

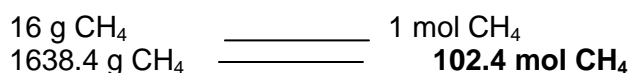


## 2.5. Reacción de combustión del Metano

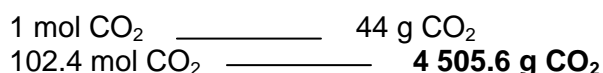
Se suman los metros cúbicos de metano gastados en cada una de las etapas y lo multiplicamos por la densidad (0.8 Kg/m<sup>3</sup>), obteniendo los Kg de metano utilizados en la combustión para producir un bacht

$$(1.057+0.991) [m_{CH_4}^3] \times 0.8 \left[ \frac{Kg}{m^3} \right] = 1.6384 Kg_{CH_4}$$

Por lo tanto, como la reacción es 1:1, para obtener el CO<sub>2</sub> generado en la combustión y de esta forma saber en que proporción un bacht aporta CO<sub>2</sub> como gas de efecto invernadero. Sabiendo que el peso atómico del carbono es igual a 12 gramos y del hidrogeno 1 gramo obtenemos que:



**Entonces:**



Los gases de CO<sub>2</sub> liberado a la atmósfera durante un bacht son:

$$\underline{\underline{4 \text{ 505.6 g CO}_2}}$$

Los bacht promedio de un mes son 3, tenemos que los gases liberados a la atmósfera a razón de 3 bacht por mes son:

$$\underline{\underline{13 \text{ 516.8 g CO}_2}}$$

Las principales emisiones de CO<sub>2</sub> que se vierten a la atmósfera provienen del sector transporte, el cual consume la mayor parte de los combustibles fósiles (ver Tabla 2).

Un Kwh. de trabajo mecánico de un motor diésel produce alrededor de 1 020 g de CO<sub>2</sub>, mientras que un litro de gasolina o del mismo diésel vierte a la atmósfera entre 2 750 y 2 400 gramos respectivamente (Fernández, 1998).

**Tabla 2. Emisión estimada de CO<sub>2</sub> durante la producción y utilización de combustibles derivados del petróleo.**

Etapa	Gasolina (g CO <sub>2</sub> /litro)	Diesel (g CO <sub>2</sub> /litro)
Extracción	30	26
Transporte	13	11

Etapa	Gasolina (g CO <sub>2</sub> /litro)	Diesel (g CO <sub>2</sub> /litro)
Refinamiento	28	24
Utilización	2680	2360
<b>Total</b>	<b>2751</b>	<b>2421</b>

*Fuente: elaboración propia en base a Fernández, 1998.*

Si realizamos la comparación de la energía consumida en KJ en relación a los Kg de aceite procesado obtenemos un valor de 1 935.8 KJ/kg aceites procesados, teniendo en cuenta los cálculos realizados.

Asimismo de acuerdo con el balance energético que se observa en la Tabla 3, incluyendo la energía requerida para la fabricación y abastecimiento de los insumos del proceso de la EATA, se obtiene una energía disponible final de 22 407 MJ por kilogramo de aceite procesado. Como el aceite empleado como materia prima es un desecho, no se ha considerado un consumo energético para su obtención.

**Tabla 3. Balance de Energía EATA**

	Energía Consumida KJ/kg aceite procesado	Energía Disponible KJ/kg aceite procesado
<b>INSUMOS</b>		
Recolección de Aceites	1935,8	
Aceite usado	0	
Metanol	7816,63	
Agua		
<b>PROCESOS</b>		
Recolección de Aceites	0	
Decantado y Filtrado	0	
Secado	158,25271	
Transesterificación	205,52	
Lavado y secado final	157,75	
<b>PRODUCTO</b>		
Biodiesel		32 680,00
<b>TOTAL</b>	<b>10 273,95271</b>	<b>32 680,00</b>
<b>BALANCE DE ENERGÍA</b>	<b>22 407.00</b>	

*Elaboración propia en base*

*a: <http://www.solucionespracticas.org.pe/publicaciones/pdf/aceitesusados.pdf>*

## 2.6. Escenario de la EATA a partir de aceite virgen

Suponiendo que la EATA tuviera que plantar soja para poder conseguir la materia prima, es evidente que los gastos y requerimientos energéticos se incrementarían notablemente. Los gastos ahorrados por la escuela se describen en un estudio realizado por el INTA (Donato, et al 2008) en el que se analiza el balance energético de la producción de Biodiesel a partir de soja en Argentina, aquí estos datos son tomados como referencia: el mayor gasto energético de la producción de biodiesel a partir de aceite virgen se da en la etapa agrícola. En el caso de EATA, al convertir “un residuo” en la materia prima que reemplaza la etapa agrícola del proceso, se ahorra esa energía constituyéndose en un ahorro energético.

Considerando que en el periodo 2005/06 la EATA tenía un consumo promedio de 1.500 litros de aceite por mes, y unos 18.000 litros de aceite anuales, si hubiera que producirlos a partir de materia prima virgen, deberían sumarse al balance energético los requerimientos de la etapa agrícola, que abarca desde las labranzas previas a la siembra hasta el acopio del grano.

La **Figura 5** muestra la producción de biodiesel a partir de los cultivos de soja, en función del contenido de aceite y la transformación del mismo a biodiesel.

### Entonces:

190 Kg. de aceite _____	1.000 Kg. de grano
18 000 Kg. de aceite _____	94.736 Kg. de grano

Tomando de referencia los datos sobre la EATA podemos considerar que:

2 800 kg de grano <sup>6</sup> _____	1 hectárea
94 736 kg de grano _____	<b>34 hectáreas</b>

Se supone un escenario de siembra directa, con un consumo de gasoil de 17.1 L/ha en laboreo al que debe sumarse el consumo de etapa de cosecha, obteniendo un total de 27.70 L/ha

### Entonces

1 hectárea _____	27.70 litros gasoil
34 hectáreas _____	<b>941.8 litros de gasoil</b>

Para esta etapa el consumo de gasoil es de **941.8** litros para las 34 hectáreas.

En la etapa de secado -para reducir la humedad en el porcentaje requerido por tonelada de grano, siempre tomando como referencia soja de primera con siembra directa<sup>7</sup>, los litros requeridos por hectárea son 10.5 L/ha

---

<sup>6</sup> Se toma de referencia para la comparación de la investigación datos del INTA sobre el balance energético de la producción de biodiesel a partir de soja en Argentina (Donato, et al, 2008).

<sup>7</sup> La Siembra Directa es parte de un sistema integral de producción de granos que evolucionó hacia la implantación de cultivos sin remoción de suelo y con una cobertura permanente del suelo con residuos de las cosechas precedentes. Este sistema, además, se fundamenta en la ausencia de laboreo, captura de carbono, economía del agua y una notable reducción de insumos. La Siembra Directa es sinónimo de eficiencia productiva y sustentable ([Bragachini](#), M. [C. Casini](#) y [M. Bianco Gaido](#), INTA). No obstante, cabe decir que forma parte de un paquete que incluye el uso de semillas híbridas, agroquímicos para controlar malezas y plagas que compiten con el cultivo.

**Entonces**

1 hectárea		10.50 litros gasoil
34 hectáreas		<b>357 litros de gasoil</b>

De esta forma se estimó el consumo de energía indirecta involucrada en la producción (implantación y cuidado) del cultivo, que incluye los requerimientos de la semilla, los fertilizantes y los agroquímicos. Se consideraron datos para el sudoeste de la Provincia de Buenos Aires, con un valor expresado en MJ/ha de 4 876.78

**Entonces se deduce que:**

1 hectárea		4 876.78 MJ
34 hectáreas		<b>165 810.52 MJ</b>

Teniendo en cuenta los litros de gasoil que implica tanto la siembra, la cosecha y el secado del grano, y sabiendo que un litro de gasoil equivale a 8000 Kcal, Y que 1 caloría es igual a 4.18 joule, calculo el equivalente energético en KJ:

**Entonces**

1 litro.....	8000 Kcal
1298.8 litros.....	X= 10. 390.400 Kcal

**Entonces**

1 Kcal. ....	4,180 joule
10390400 Kcal.....	X= 43,431872 MJ

Si se suma la energía indirecta involucrada en la producción de soja más la energía consumida en la etapa de siembra y cosecha se obtiene le total de energía involucrada:

$$\text{Energía Total involucrada} = 165. 810,52 \text{ MJ} + 43,431872 \text{ MJ}$$

$$\text{Energía Total involucrada} = \quad \mathbf{165.853,951872 \text{ MJ}}$$

En el caso que la EATA decida sembrar soja para autoabastecer la producción de biocombustibles a partir de materia prima virgen, el balance energético debería contabilizar además de lo detallado en la Tabla 3, los valores asociados a la producción de soja bajo el escenario planteado –que es el mas tradicional, al menos en Argentina.

Una vez cosechado el grano necesario para producir los 18 000 litros de aceites necesarios para todo el año en EATA, es necesario extraer el aceite. Para ellos existen distintos métodos, pero se pueden clasificar en dos: mecánicos y químicos. Los primeros incluyen la extracción del aceite por prensado, y los segundos por medio de solventes. En ambos casos, primero debe acondicionarse el grano para iniciar el proceso. El acondicionamiento incluye muestreo, zarandeo y secado, según los requerimientos específicos de los procesos (Donato et al, 2008).

Para la soja, se obtiene un promedio del 17% de aceite en función del peso del grano, 80% de subproductos y 3% de desperdicios. El grano debe entrar al proceso con un 10% - 10.5% humedad. El primer paso es realizar la rotura del grano, donde el mismo debe quedar disminuido hasta un octavo de su estado original. Se produce posteriormente un

laminado y agregado de vapor, para ingresar de esta forma al proceso de extracción. En esta etapa es donde se le agrega solvente (hexano) y se envía la mezcla a destilación. Luego de destilado, el solvente evaporado se condensa y almacena; mientras que el aceite crudo se envía a tanques de almacenamiento y el residuo sólido se compacta y seca (Donato, et al, Op. Cit).

Considerando la Tabla 4 es posible enumerar los gastos energéticos de cada una de las etapas involucradas para obtener la materia prima aceite vegetal de soja. Y a partir de aceites usados. Para garantizar una producción de mínimo 3 bacht de 300 litros de aceite por mes a lo largo de un año, en la EATA. Es decir tomando en cuenta los cálculos anteriores para producir 95 toneladas de soja en el transcurso de un año en 34 hectáreas.

### 3. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

En la primera década del siglo XXI se promueve a nivel global el uso de biocombustibles y de otras alternativas energéticas, sin discutir previamente las ventajas “energéticas” –o eficiencias- de estas producciones. La mayoría de las voces en la literatura de referencia parecen inclinarse a favor de la producción de biocombustibles apoyando este argumento en la sustitución de una fuente no renovable por otra renovable, en los beneficios económicos de estas producciones, en la existencia escenarios de precios crecientes de los combustibles fósiles -especialmente el petróleo-, y en las “supuestas” reducciones de los GEI y su contribución al cambio climático, así como también la alta disponibilidad de cultivos potencialmente bioenergéticos como la caña, la palma aceitera, la soja y otros nuevos cultivos podrían constituir factores importantes para el desarrollo rural de ciertos países. En ese sentido varios países han iniciado programas nacionales de producción de estos combustibles, han sancionado leyes que favorecen su producción y han creado consejos consultivos sobre el tema, entre otras acciones.

**Tabla 4. Gastos energéticos requeridos “sembrando soja y a partir de la recuperación y reutilización de aceites usados**

Gastos energéticos en siembra y procesamiento del grano			Proceso de elaboración de Biodiesel con Aceite Usado en EATA		
Materia prima (Kg/año)	Poroto de Soja	94.736			
Consumo de energía (MJ/año) en 34 Ha	Diesel	53.550		Energía Consumida KJ/Kg. aceite procesado	Energía Disponible KJ/Kg. aceite procesado
Fertilizantes (Kg/año)	Nitrógeno	340			
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	782	<b>INSUMOS</b>		
	K <sub>2</sub> O	0	Recolección de Aceites	1.935,8	
<b>Secado y almacenamiento</b>			Aceite usado	0	

Gastos energéticos en siembra y procesamiento del grano			Proceso de elaboración de Biodiesel con Aceite Usado en EATA		
Materia prima de un año (Kg/Kg)	Poroto de Soja	94.736	Metanol	7.816,63	
Consumo de energía	Electricidad(KWh/año )	113,64	KOH	230,81	
	Gas natural (MJ/año)	13.395	Agua		
	Diesel (MJ/año)	11,93	<b>PROCESOS</b>		
<b>Molienda o crushing</b>			Recolección de Aceites	0	
			Decantado y Filtrado	0	
			Secado	158,25271	
			Transesterificacion	205,52	
Subproduct o (Kg/Kg de semilla/año)	Aceite vegetal	18.378,78	Lavado y secado final	157,75	
	Harinas	67.641,5	<b>PRODUCTO</b>		
Consumo de energía	Electricidad (KWh/año)	32.48,21	Biodiesel		32.680
	Gas Natural MJ/año	4.51719	<b>TOTAL</b>	10.273,9527	32.680
	Hexano (MJ/año )	441,3	<b>BALANCE DE ENERGIA</b>	<b>22.407</b>	

*Fuente: Elaboración propia en base a EATA e INTA.*

Un argumento en contra de estas producciones suele concentrarse en los efectos sobre la seguridad alimentaria a nivel nacional e internacional. En la disyuntiva “Energía versus Alimentos” predominan dos posturas radicales y enfrentadas. Una dice que, cuando la producción de biocombustibles se realiza a partir de cultivos generados específicamente para tal fin, y no con restos de biomasa producida en otras actividades, el suelo cultivable disputa su asignación entre alimentos y biocombustibles. Como consecuencia disminuye la cantidad disponible y aumenta el precio de los alimentos. La otra postura es la que sostiene que tal disyuntiva no es válida (Saidon, 2010).

Desde una perspectiva económica, lo cierto es que siempre ha existido una relación entre los precios de los combustibles fósiles y de los alimentos. Entre los motivos se cuentan el hecho de que se necesita usar combustible para producir alimentos: maquinarias, transporte y fabricación de fertilizantes lo que contribuye a la interacción. La entrada de los biocombustibles en el juego y el hecho de que éstos son producidos con cultivos que antes eran usados para alimentación, ha aumentado la relación de los precios del petróleo y de los alimentos, consolidando una vinculación cada vez más directa entre las distintas fuentes de carbono: alimentos y combustibles <http://w.observatorylatinamerica.org/>.

Otra cuestión de importancia es saber si realmente ¿Existe una reducción en la producción de GEI o se están sustituyendo unas fuentes de emisión por otras asociadas a las nuevas producciones? Vale preguntarse entonces, si ¿el problema del calentamiento en términos globales se reduce o no? Brevemente podemos argumentar que en la etapa de producción de las materias primas necesarias –arado, siembre, fumigaciones, cosechas, etc.)- no hay sustitución de los derivados del petróleo que si generan GEI.

En ese sentido, detrás de la sustitución parece haber más una cuestión de rentabilidad económica, en vez de soluciones a problemas ambientales globales como el agotamiento de los combustibles fósiles, el calentamiento global o la crisis energética actual.

Se plantea la recuperación y reutilización de residuos para la producción de biocombustibles como una forma eco-eficiente de producción de energía a escala.

La elaboración de biodiesel a partir de aceites usados de la EATA permite en un 275% menos de consumo energético que produciéndolo a partir de materia prima virgen (soja fundamentalmente producida a partir del sistema de siembra directa). No obstante, es necesario señalar que para el caso bajo estudio solo se analiza el “aporte” de la reutilización de aceites usados en la reducción de energía –y materia, dejando de lado los otros beneficios ambientales generados a partir de la recuperación de un residuo que en su defecto terminaría siendo eliminado al ambiente –suelos, cauces superficiales y sub-superficiales, afectando la fauna, etc.

También es necesario remarcar que los estudios de clásicos sobre el tema favorecen o priorizan la rentabilidad financiera de la producción de estos combustibles, privilegiando de algún modo el agro-negocio detrás del biocombustible. Así también se dejan de lado condiciones eco-energéticas favorables, por ejemplo, al aprovechamiento de residuos a la producción a pequeña escala de combustibles. No obstante, las decisiones a favor de estas producciones dependerán de cómo se aprovechan los subproductos, especialmente de los residuos derivados de su elaboración y como se logra el reconocimiento de los aspectos tanto positivos como negativos de la producción de energías alternativas.

La propuesta es llevar la discusión de los biocombustibles a un plano diferente, el energético, que resulta ser ambientalmente mas “honesto” al considerar la situación vinculada a la producción de biocombustibles desde una perspectiva ecológica más que económica.

La contabilidad física y no económica de procesos asociados a la producción de energías alternativas permite incorporar otras cuestiones al análisis de estas producciones, hasta ahora escasamente consideradas.

El uso de ACV escenario permitió reflejar tanto los impactos ambientales primarios del proceso, el consumo de energía y las emisiones contaminantes, así como la reutilización de aceites usados en la escuela. Esta metodología es insuficiente no obstante para analizar otros efectos asociados a la producción agrícola como el reemplazo de la

producción de alimentos<sup>8</sup> por cultivo de soja para agrocombustibles, los procesos de empobreciendo de los suelos por falta de rotación o que para sembrar esa soja con sistema de siembra directa generalmente se necesita grandes cantidades hidrocarburos –arado, fumigación cosecha, riego, etc.), con lo cual no se conoce cuanto redunde en una efectiva o “real” disminución de los GEI que producen el calentamiento global. Por lo que si bien es cierto que los agro-combustibles se producen a partir de recursos renovables, desde el punto de vista energético resultan tener mayor impacto en el ambiente que los combustibles fósiles -uso excesivo de fertilizantes, acidificación del suelo, pérdida de biodiversidad, amenazas de incendio y tala en zonas de bosques tropicales, entre otros.

El proceso de producción de Biodiesel llevado adelante en la EATA resultó ser más eficiente que el proceso de elaboración de agrocombustibles. La recuperación y reutilización de aceites usados permite ser 275 % más eficiente energéticamente la producción a lo largo de un año (ver Figura 4). Solo el consumo de gasoil para la etapa de secado representa un gasto energético 115 % mayor, es decir 15% mas que la EATA. Un solo proceso consume mas energía que la EATA en su proceso total, validando de esta forma la necesidad de análisis energético-ecológicos más que económicos de la producción de agro-combustible en general.

La EATA emplea como materia prima un residuo generado en la gastronomía de difícil gestión y tratamiento -generalmente este residuo es vertido en los desagües incrementando finalmente la contaminación de cursos de agua y/o del mar. Se destaca la recuperación y reutilización de residuos porque contribuye a la disminución del uso de otros combustibles para las tareas agrícolas de la escuela, reduce la generación de GEI en la producción de combustibles fósiles, la disminución de los costos de insumos energéticos de la escuela, el aprovechamiento del aguas de lavado y el subproducto para el lombricompuesto proveniente de la etapa de filtrado en el comienzo de la reutilización del aceite, entre otros.

El subproducto de glicerol como se mencionó aún no cuenta con una alternativa concreta. Se evalúa la posibilidad de usarlo como combustibles en hornos de cementos en la ciudad de Olavarría.

La búsqueda de alternativas de uso del glicerol es uno de los desafíos a futuro, principalmente debido a que este subproducto tiene altos costos de purificación para que poder ser utilizado en la industria de alimentos, farmacéutica o cosmética. En tal sentido, la EATA debe por ahora trabajar en encontrar métodos alternativos de disposición. Por otra parte, existen estudios que demuestran que el uso de glicerol como fuente de Carbono favorece la fermentación y generación de biogás, pudiendo ser una alternativa de gestión de este residuo. El alto contenido de Carbono del glicerol aumenta la relación C-N (carbono-nitrógeno) en la mezcla, evitando la inhibición del proceso por exceso de N (nitrógeno), incrementando la producción de metano en los digestores entre 50 a 200%. La co-digestión anaeróbica del glicerol y una variedad de biomasa residual puede ser una solución integrada para gestionar estos residuos y producir dentro de la currícula educativa otra fuente de bioenergía amigable con el ambiente. En tal sentido, el uso del

---

<sup>8</sup> En el caso argentino la reducción de la producción de alimentos afecta los precios de estos bienes a nivel local, pero también afecta la balanza comercial internacional y reduce la disponibilidad de alimentos a nivel global siendo argentina uno de los productores más importantes a nivel mundial.



glicerol como potencial fuente de energía se presenta como una forma adecuada para bajar los costos de producción del biodiesel y hacer más eficiente el proceso.

Analizando las distintas etapas implicadas en el proceso de producción de combustibles de la EATA el mayor gasto energético se produce en la etapa de recolección de los aceites con un consumo energético de 1.93 MJ asociado a la combustión del gasoil utilizado en los recorridos. Una alternativa para reducir este gasto energético sería invertir en un transporte propio, adaptando un motor que funcione con el Biodiesel 100% producido en la escuela, siendo de esta forma un proceso sustentable quedando como mayor gasto energético la quema del gas natural de los quemadores.

Con respecto a la liberación de GEI, las principales emisiones de CO<sub>2</sub> que se vierten a la atmósfera en el proceso de la EATA provienen de la quema de gas natural y de combustibles fósiles en la etapa de recolección, que a lo largo del año se liberan 162.2 Kg de CO<sub>2</sub>. Comparado con el proceso de producción de agrocombustibles los mismos resultan ser mucho menores debido a las emisiones en la etapa de la agricultura en la cual se libera Óxido Nitroso (N<sub>2</sub>O) producido en los suelos a partir de los fertilizantes nitrogenados de síntesis y/o abonos orgánicos, siendo este gas 200 veces más potente que el dióxido de carbono, con un tiempo de residencia en la atmósfera de 150 años. Es importante resaltar que el más común e importante GEI es el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) cuya principal fuente es la quema de combustibles fósiles. Pero también es necesario analizar lo que sucede con los otros GEI como aquellos gases que contienen Nitrógeno y Azufre (NO<sub>x</sub> y SO<sub>x</sub>), el Metano y un conjunto de gases industriales como los CFCs. Esto es importante porque los sistemas biológicos involucrados en la producción de Agrocombustibles involucran una cantidad de emisiones de gases orgánicos e inorgánicos que son GEI.

También es necesario prestar atención en el potencial riesgo que los Agrocombustibles empujen los precios de los insumos alimenticios, una tendencia que puede ser atractiva para los agricultores pero desastrosa para la mayoría de la población.

## **7. BIBLIOGRAFÍA**

- [Bragachini, M.](#), [C. Casini](#) y [M. Bianco Gaido](#), Informe del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) - Ediciones - Actualización Técnica N° 49 - Julio 2009- Disponible en: <http://www.cosechaypostcosecha.org/>
- Cámara Argentina de Energías Renovables (2011). *Evolución del Mercado de Biocombustibles en la Argentina*. Disponible en <http://www.cader.org.ar/>
- Donato, A.; Huerga, I. y Hilbert, J. 2008. *Balance energético de la producción de biodiesel a partir de soja en la República Argentina*. INTA. Argentina.
- EATA. [www.eata.edu.ar](http://www.eata.edu.ar)
- Fernández, X. 1998. *"Economía Ecológica y Agroecológica"*. Tesis de Doctorado, Universidad de Vigo. España.
- Greenpeace, 2007 *"Bioenergía: Oportunidades y Riesgos: ¿Qué debe hacer Argentina en Materia de Biocombustibles?"*. Argentina. 2007.
- Iglesias, D. (2005). *Relevamiento exploratorio del análisis del ciclo de vida de productos y su aplicación en el sistema agroalimentario*. En Contribuciones a la Economía. 2005. Disponible en <http://www.eumed.net/ce/>,
- Romano, s. 2010. *Diseño y Construcción de una Planta Piloto de Biodiesel Automatizada*. I Jornadas Internacionales AUGM: Universidad – Sociedad - Estado", Energías

Sustentables, La Rural, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina. Disponible en <http://www.fi.uba.ar/laboratorios/ger>

Saidon, Mariana. 2010. Biocombustibles: actores y debates en América Latina. *Revista economía* N° 27:171-198.

SAGPyA <http://www.minagri.gob.ar/site/index.php> <http://biodiesel.com.ar/tag/sagpya>

San Martín B. P. *Algunos datos básicos sobre biocombustibles*. ceur.usac.edu.gt  
Disponible en <http://www.rebelion.org/noticia.php?id=61786>