

Titulo

Análisis de Ciclo de Vida para la producción de biodiesel en comunidades agrícolas cubanas. Inventarios

Cachaldora Francisco, Isidro Javier

Empresa de Soldar Carriles Cdte "Tony Santiago". SOLCAR. Placetas. MITRANS.

e-mail: energia@solcar.ferronet.cu
Resumen.

Existen diversas herramientas de evaluación de los impactos ambientales significativos, asociados a cualquier actividad productiva o de servicios, pero en su mayoría son cualitativas y no expresan con sus resultados toda la información necesaria para poder accionar adecuadamente, pero el análisis de ciclo de vida (ACV) estudia los aspectos ambientales y permite evaluar las cargas ambientales asociadas a lo largo del ciclo de vida de un producto, en este caso, la producción de biodiesel en Cuba a partir de los inventarios de energía, materias primas, productos y emisiones al medio, empleando dos fuentes que no contradicen la política estatal, que es el no cambiar alimentos por combustibles, y estas fuentes son: la cachaza, como residual azucarero y las semillas de la *Jatrophas Curcas L.*, de la que se extrae un aceite tóxico y ambas poseen como ventajas que subproductos y actividades tienen altos valores económicos, ambientales y sociales, que dan importantes créditos a la propuesta. Esta herramienta comprende las etapas de extracción y procesado de materias primas, manufactura, transporte, distribución, uso, reutilización y mantenimiento; reciclaje y destino final de la fracción de residual, por lo que el trabajo inicial es de definir los objetivos y ámbitos de estudio, para luego hacer un profundo inventario de los procesos (extensión de este trabajo), que permitirá el posterior paso de la evaluación de impactos y de las mejoras que surgen para demostrar cuál ambientalmente es compatible o no, en la obtención de biodiesel en las condiciones actuales económicas, ambientales y sociales de Cuba.

Palabras clave: Gestión, desechos peligrosos, sustancias/productos peligrosos, medio ambiente.

Abstract

Diverse tools of evaluation of the significant environmental impacts exist, associated to any productive activity or services, but in the majority cases they are qualitative and they do not express with its results all the necessary information, to be able to drive suitably, but the life cycle assessment (LCA), it studies the environmental aspects and it allows to evaluate the associate environmental loads throughout the cycle of life of a product, in this case, the production of biodiesel in Cuba from the energy inventories, raw materials, products and emissions to environment, using two sources that do not contradict the state policy, that is not to change foods by fuels, and these sources are: *cachaza*, like sugar bowl wastes and the seeds of *the Jatrophas Curcas L.*, of that it is extracted a toxic oil and both they have as advantages that by-products and activities have stops economic, environmental and social high values, that gives important credits to the proposal. This tool includes the stages of extraction and processing of raw materials, manufactures, transport, distribution, use, reusability and maintenance; recycling and final destiny of the waste fraction, reason why the initial work is to define the objectives and scopes of study, soon to do a deep inventory of the processes (extension of this work), it will allow the pass of the evaluation of impacts and the improvements that arise to demonstrate how environmentally are compatible or not, in the obtaining of biodiesel in the present economic, environmental and social conditions of Cuba.

Key words: Life cycle assessment, inventory, *Jatrophas Curcas L.*, biodiésel, cachaza (sugar bowl wastes).

Introducción

“...Utilícese toda la ciencia necesaria para un desarrollo sostenido sin contaminación...”¹ Hoy la humanidad enfrenta grandes desafíos, todos muy vinculados a su propia supervivencia y a la de todo el planeta; por un lado las grandes naciones industrializadas, que con sólo el 20 % de la población mundial consumen las tres cuartas partes de la energía que se produce en el mundo, con un modelo de desarrollo sustentado en sus propios intereses de crecimiento; y un Tercer mundo rico en fuentes energéticas y otros recursos, pero con limitaciones reales de desarrollo, donde los elevados niveles de pobreza hacen una fuerte presión destructiva sobre el medio ambiente; pobreza provocada por siglos de explotación por las naciones desarrolladas de hoy. La disminución progresiva de las reservas de combustibles fósiles (petróleo, carbón, gas natural) y los problemas de contaminación ambiental asociados a su combustión, han atraído la atención de investigadores hacia la búsqueda de nuevas fuentes de energía limpia y renovable.⁵ Se clasifican como fuentes de energía renovables a: la biomasa, el viento (eólica), el sol (solar) y las fuerzas del agua de ríos y océanos. Para el caso cubano, donde los recursos energéticos son limitados y los existentes requieren de tecnologías sofisticadas y costosas, inaccesibles en la mayoría de los casos dado por las trabas del bloqueo yanqui y la propia situación financiera, en parte provocada por esta acción discriminatoria; no obstante existen alternativas a desarrollar a partir de fuentes como la biomasa, pero de una biomasa que no comprometa además nuestra situación agroalimentaria, es decir, no cambiar alimentos por combustibles. El desarrollo de estas vías de obtención de energía sería una alternativa paliativa más que no sólo contribuiría al desarrollo energético, fundamentalmente de las zonas rurales, donde la cantidad y calidad del servicio energético nacional son bajas dado por condiciones económico-geográficas reales, sino que además posibilitaría una diversificación de producciones, empleos y otros posibles beneficios ambientales, sociales y económicos.⁷

Desarrollo

Pero, realmente no se conoce, si la obtención de biocombustible (biodiésel en este caso) a partir de dos fuentes:

- Aceites vegetales no comestibles a partir de semillas de *Jatropha Curcas L.* (conocida como piñon botija) y...

- Cachaza de la producción de azúcar de caña. es realmente una actividad totalmente ecológica, y ese es el problema a enfrentarnos: *La carencia de una metodología y un inventario con enfoque de Ciclo de Vida para conocer los impactos de la producción y uso de biodiésel en Cuba a partir de aceites vegetales no comestibles y cachaza de la producción azucarera.*

Mencionamos anteriormente el Análisis de Ciclo de Vida (ACV), que podemos definir como: la mejor herramienta para evaluar la *sostenibilidad de opciones tecnológicas*, por considerar todos los efectos del proceso en el ecosistema y la población que puedan poner en peligro las presentes y futuras generaciones. Puede definirse además el ACV como *un proceso objetivo para evaluar las cargas ambientales asociadas a un producto, proceso o actividad durante todas las fases de su ciclo de vida, desde la extracción y procesado de las materias primas hasta el tratamiento de su residuo, es decir, un proceso desde la cuna hasta la tumba.*^{4,10,11}

Se planteó la hipótesis siguiente: *El desarrollo de una metodología, selección de tecnologías adecuadas e inventarios con enfoque de Ciclo de Vida para la producción y uso de Biodiésel en Cuba, permitirá evaluar los impactos ambientales, económicos y sociales y a su vez seleccionar las alternativas de mejoras más viables para minimizar estos impactos acorde a las condiciones cubanas.*

El alcance de este trabajo se limitó a la metodología y al desarrollo de inventarios, siendo la primera etapa de un trabajo final mayor y concluyente.

Por lo que el objetivo general lo expresamos como: *Desarrollar metodología e inventarios para la producción y uso de biodiésel en comunidades agrícolas cubanas.*

Los objetivos específicos fueron:

1. Analizar las metodologías de ACV existentes y ajustar los modelos a las condiciones cubanas.

2. Realizar un inventario de cada una de las tecnologías seleccionadas para la producción y uso de biodiésel a partir de aceites no comestibles y la cachaza de la producción de azúcar, considerando en ambos casos las etapas agrícolas, industrial y de uso.

Fase No. 1

Esta primera fase es probablemente la más importante, pues en ella se establecerán los cimientos del

ACV, y este consta de:

- a) Propósito de estudio: Cuál es la razón para realizar el ACV, qué tipo de decisiones se tomarán de acuerdo a los resultados del ACV, y si estas serán internas ó externas.

- b) Ámbito de estudio: define el sistema, sus límites (conceptuales, geográficos, temporales) y los parámetros que los caracterizan (materias primas consumidas, consumo energético, productos, subproductos, residuos y emisiones). Asimismo, se deben establecer los requisitos de los datos que se utilizarán, la hipótesis clave y las limitaciones del estudio.

- c) Unidad funcional: se debe establecer la unidad funcional de cuantificación, basada en la prestación proporcionada por el servicio o producto.

- d) Procedimiento para garantizar la calidad de los datos: se propone la utilización de indicadores de calidad que garanticen la fiabilidad de los datos utilizados y en consecuencia, de las desiciones basadas en ellos.

Fase No. 2. Análisis de inventarios

Esta etapa de inventario es básicamente un proceso técnico de recogida de datos para cuantificar las entradas y salidas al sistema. Para facilitar y clarificar el estudio, se divide el sistema en diversos subsistemas y etapas (adquisición de recursos, fabricación, uso, gestión de residuos y transporte entre etapas)

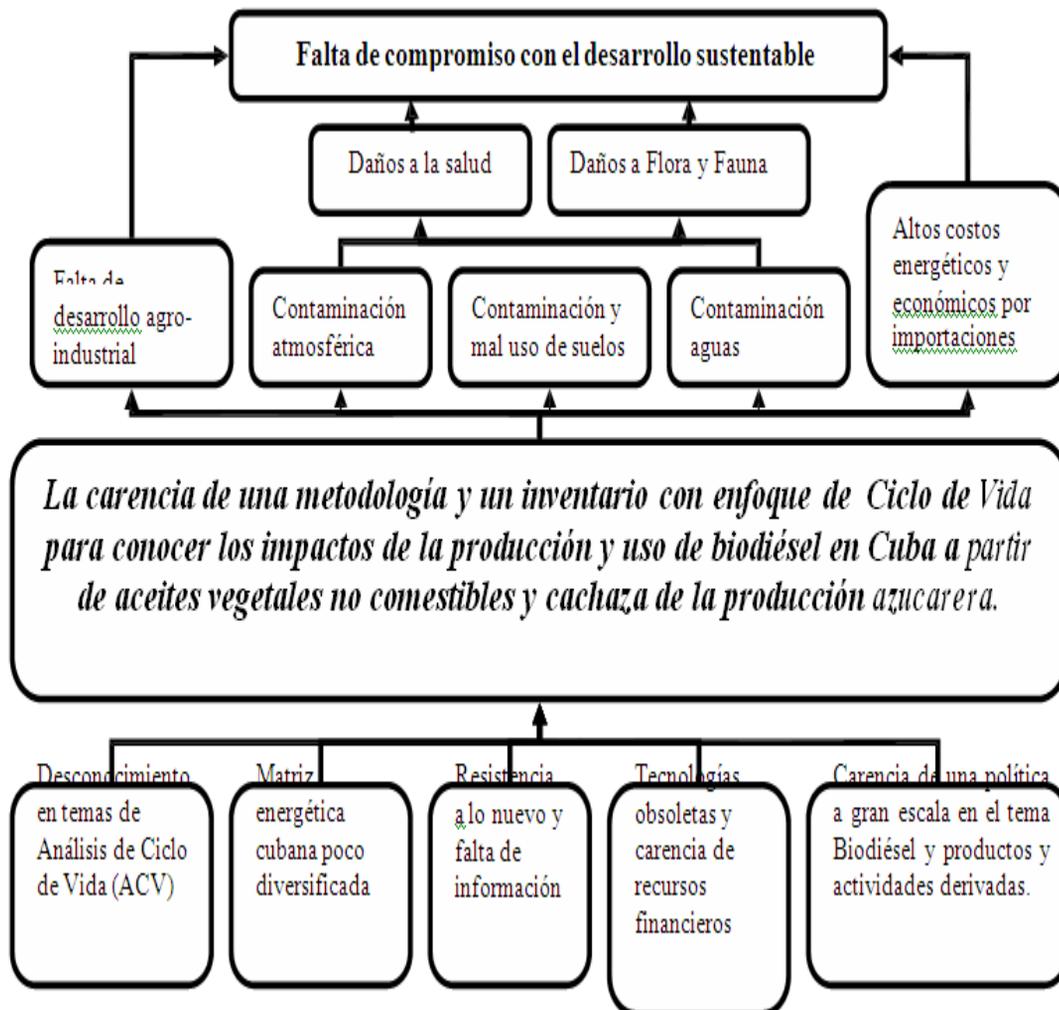


Figura1. Árbol del problema.

Metodología

Como esquema metodológico de un ACV, este se divide en cuatro fases fundamentales, según muestra el gráfico siguiente apoyado en la NC ISO 14 040:97 (Figura 2)



Figura 2. Esquema metodológico de un ACV

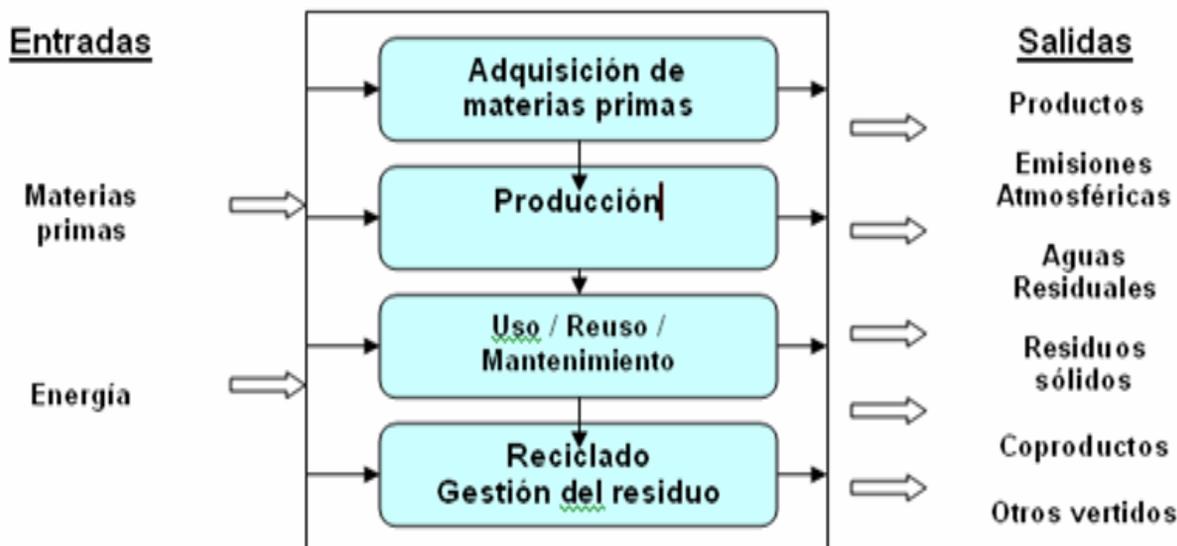


Figura 3. Diagrama típico para elaborar las diferentes

Como se expresa en la introducción, este trabajo posee un alcance limitado hasta los inventarios, por lo que las otras fases que componen el ACV no son tema a analizar.

PARTE EXPERIMENTAL Definición de biodiésel

Para obtener biodiésel emplearemos la primera fuente; pero, ¿qué es el biodiésel? Pues, se define al *biodiésel* como: *un étil ó metil éster de ácidos grasos hecho de aceites vírgenes y usados, comestibles o no de vegetales y grasas animales*^{6,9}

ó: *nombre genérico de combustibles obtenidos mediante transesterificación de aceites vegetales*, otro: *son alquil ésteres de transesterificación de lípidos derivados de plantas y animales (aceites o grasas) usando un alcohol tales como el etanol ó metanol como grupo alquílico donador y un catalizador (ASTM D6751; CGSB-3.520).*

Fuentes para Cuba

1. Aceites vegetales no comestibles a partir de *Jatrophas Curcas L.*

La *Jatrophas Curcas L.* de la familia Euphobiaceae, es una planta originaria de América central donde se encuentra la única variedad no tóxica, cultivable desde los 30° N y 35° S. Esta se puede cultivar en suelos con pocos requerimientos en nutrientes y de baja humedad, es resistente a la sequía, plagas y enfermedades. Es un arbusto que puede llegar hasta 3 m de altura en condiciones especiales, los frutos son acorazonados y carnosos de un rojo oscuro cuando maduran, en el interior se encuentran de dos a tres semillas que alcanzan de 1,5 a 2,0 cm, estas al ser descascaradas y comprimidas se le extrae el aceite el cual es rico en ácido oleico (18:1) 40,3%, ácido linoleico (18:2) 37 % y palmítico (16:0) un 16,4 %, este aceite es tóxico debido a la presencia de toxinas; el ciclo productivo puede alcanzar los 50 años y al ser perenne favorece al suelo; además del uso como biodiésel a partir de las semillas, las restantes partes de la planta tienen otros empleos, tales como postes en cercas vivas, medicinas, enriquecimiento del suelo, resistencia a la erosión etc, además la torta residual del proceso de extracción del aceite, puede usarse como fertilizante unido a la posibilidad de crecimiento del empleo en las zonas rurales, que puede incluir más a mujeres y jóvenes.²

2. Cachaza

En Cuba resulta muy atractivo utilizar la cera presente en la cachaza, residuo de la industria azucarera, debido a su gran disponibilidad, y fácil extracción de la cera contenida en ella.

Las ceras se definen como ésteres de ácidos grasos superiores, que en vez de contener grupos glicéridos son ésteres de alcoholes grasos superiores: C16 (cetílico), C24 (carnaubílico) y C30 (miricílico). La fórmula general de la cera es R-CO-O-R'. De una forma genérica puede afirmarse que las cadenas del ácido y del alcohol tienen longitudes similares. Las ceras tienen pesos moleculares elevados, son sólidas a la temperatura ambiente, pero tienen puntos de fusión inferiores a los 90 °C y son insolubles en agua y en la mayoría de disolventes orgánicos. Pero, en realidad lo más interesante no sería solamente la producción de biodiésel sino la obtención de alcoholes de alto peso molecular (AAPM), muy demandados y altamente cotizados en mercados internacionales.

3. ¿Qué se incluye en los sistemas a estudiar?:

Jatrophas curcas Linneaus

- Cultivo de JCL (vivero, producción y uso de abonos orgánicos, poda y recolección de sus frutos).
- Transporte y procesamiento de las semillas para la obtención de biodiésel y sus co-productos.
- Uso de biodiesel en equipos automotores y estáticos, fundamentalmente agrícolas. (Figura 4)

Cachaza. (Figura 5)

- Cultivo de la caña de azúcar (banco de semillas, siembra y actividades agrícolas como uso de abonos orgánicos e inorgánicos, riego, plaguicidas y corte de la caña).
- Transporte a centro de acopio para eliminar impurezas y luego transporte al central azucarero.
- Actividad industrial propiamente dicha para la obtención de azúcar y los residuos como la cachaza para la obtención de biodiésel
- Producción de biodiésel y obtención de otros productos como AAPM.
- Uso de biodiésel en equipos automotores y estáticos, fundamentalmente agrícolas.

4. Alcance del Estudio

1. Funciones de los sistemas estudiados:

Cumplen la función de servir como combustible en equipos automotores o estáticos.

Unidad Funcional: La cantidad de biodiésel expresado en MJ de biocombustible de JCL ó cachaza que es necesario para conducir un km en un vehículo de combustible diésel ó para generar un MJ de electricidad.

3. Sistemas a estudiar:

- a) Producción y uso de biodiésel obtenido de JCL y cachaza mezclado con diésel al 20 %.
- b) Producción y uso de biodiésel obtenido de JCL y cachaza al 100 %.

4. Categorías de impacto:

- a) Uso de la tierra.
- b) Cambio climático. (CO₂, CH₄, Non)
- c) Agotamiento del ozono estratosférico.
- d) Formación de oxidantes fotoquímicos. (NOx)
- e) Acidificación. (SOx y NOx)
- f) Eutofización. (PO₄)
- g) Toxicidad en humanos y biota.
- h) Uso de recursos

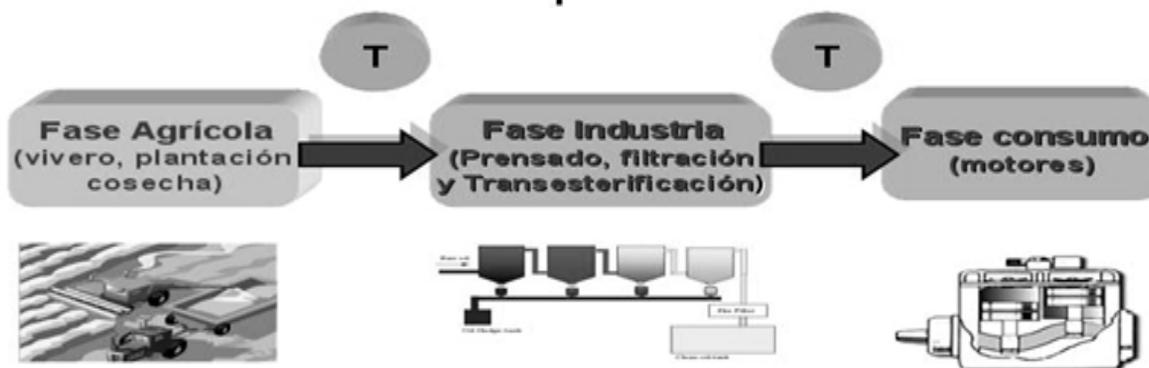


Figura 4. Etapas o fases del ciclo de vida para el biodiésel a partir de la JCL.



Figura 5. Etapas o fases del ciclo de vida para el biodiésel a

6. Evaluación del impacto:

- a) Eco-indicador 99
- b) Método propuesto en el trabajo que incluye los factores sociales y económicos cubanos.

7. Revisión crítica:

Mostrará la comparación entre las dos formas de emplear el biodiésel, una mezclada con diesel y la otra al 100 % biodiésel para demostrar la factibilidad de producirlo en las condiciones cubanas, bajo un enfoque de ciclo de vida.

8. Requisitos de los datos:

Recoger datos en entidades productivas vinculadas al proceso (agrícola, industrial, de combustión)

9. Suposiciones.

a) Para determinados procesos donde no existan o sea imposible tener datos nuestros muy excepcionalmente se tomarán datos de procesos similares bajo condiciones similares.

10. Limitaciones:

a) Se empleará solo para tecnología de obtención de biodiésel por transesterificación. b) Se limita al uso del diesel y no se incluyen otros derivados del petróleo.

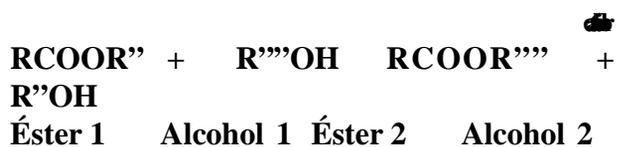
c) No se incluirán las fases de producción de maquinarias, equipos auxiliares y las fases de obtención de materias primas no fundamentales (abonos inorgánicos, plaguicidas).

Descripción tecnológica e Inventarios

Jatrophas curcas L.

Fase agrícola: Incluye la subfase vivero, donde las plántulas se desarrollarán por espacio de tres a cuatro meses, ya sea la siembra por semillas o esquejes, en nuestro caso predomina la primera, por garantizar la raíz principal en su desarrollo haciendo la planta más resistente a los huracanes y a la erosión de los suelos. Aquí se adicionan a la fuerza de trabajo, plaguicidas, bolsas de PE, abonos orgánicos y agua. Transcurrida esta fase, se trasladan las plántulas al campo y se siembran según el marco establecido para nuestro país de 3 x 4 ó 4 x 4 metros, con el objetivo de facilitar las actividades de cultivos de ciclo corto como frijoles y el silvopastoreo. Las tierras seleccionadas serán aquellas que por características edáficas no están aptas para cultivos, o tierras de cultivos que por malas prácticas de manejo han perdido las características que les permitían obtener cosechas aceptables, por tanto la actividad de reforestación como forma de recuperar suelos es la tarea primordial al sembrar campos de *Jatrophas curcas* y no la producción de biodiésel que se observa como actividad secundaria. Unido a esto la planta mediante sus hojas y sistema radicular aporta nutrientes al suelo, además las hojas sirven para el control de plagas, al ser tóxica. La planta es repelente de animales por lo que se aprovecha como poste para cercas. En el primer año de vida y para lograr la supervivencias, de ser posible, se puede suministrar agua a las plantas, así como abonos y plaguicidas. Las plantas mayores de un año no dispondrán de agua de forma artificial, ni de abonos y plaguicidas inorgánicos. La fase final es la cosecha, que ocurre en dos etapas marcadas en el año. En la Figura 6 se muestra un balance del inventario basado en la información obtenida de las plantaciones de Macambo (Guantánamo) y Las Mercedes – B. Massó (Granma)

Fase Industrial: Los frutos han de desmembrarse en cáscara y semillas, previo secado empleando energía solar. Las cáscaras secas se emplearán como nutrientes a las plantas. Las semillas secas pasan por una prensa extractora (manual o movida por energía eléctrica) y luego a un filtro (de tela a *batch* o al vacío), quedando el aceite crudo filtrado como producto y una torta aceitosa como residuo, la que al igual que la cáscara, posee altos valores de K-P-N y se transforma en abono orgánico de alta calidad. El aceite crudo filtrado pasa a la transesterificación básica, que no es más que la tecnología más empleada en la obtención de biodiésel de 1^{ra} generación, la que consiste en convertir un éster en otro, haciéndolo reaccionar con un alcohol en presencia de un catalizador como muestra la reacción siguiente:



Si el éster 1 es un triglicérido y el alcohol 1 es de cadena corta, como consecuencia de la reacción química se obtiene biodiésel, éster 2 (que es una mezcla de metil ésteres de ácidos grasos que formaban el aceite ó FAME – fatty acids methyl esters -), en el caso de hacerlo reaccionar con etanol, la mezcla será de etil ésteres y un alcohol 2, en este caso glicerina, formando dos fases bien diferenciadas, las que se separan por decantación con posterior lavado con agua y secado del biodiésel. El método de catálisis básica es el más adecuado para las condiciones cubanas, debido a que la materia prima no tiene un por ciento elevado de ácidos grasos libres y se puede utilizar este método sin mayores dificultades y logrando altos valores de conversión.

Teniendo en cuenta el factor costo, los catalizadores básicos presentan mejores perspectivas y tienen buenos resultados, además se han encontrado problemas con los catalizadores heterogéneos y con las enzimas que para nuestras condiciones no sería viable.

En la figura 7 se muestra el inventario basado en la información obtenida de Macambo en Guantánamo.

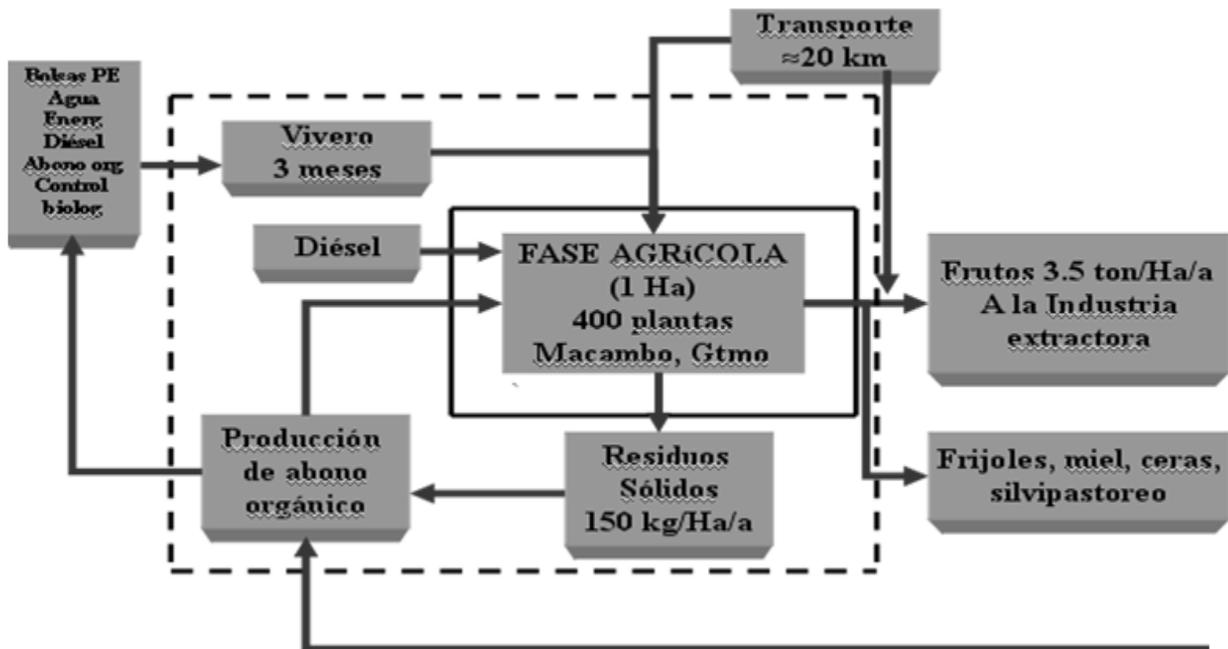


Figura 6. Inventario Fase Agrícola para la obtención de biodiésel a partir de JCL

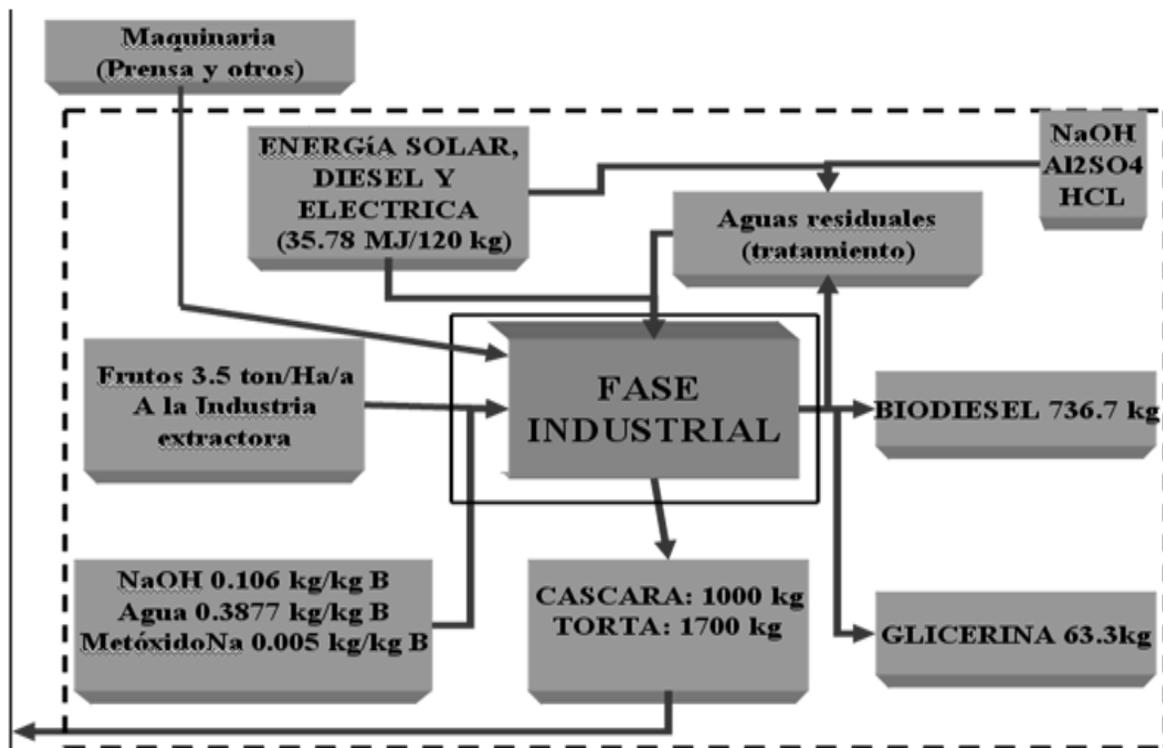


Figura 7. Inventario Fase Industrial para la obtención de biodiésel a partir de JCL

Fase Combustión en MCI

Finalmente para completar el estudio, el biodiésel obtenido se lleva a un banco de motores para pruebas con equipos estandarizados y luego con equipos de campo para medir el rendimiento en km/L, h/L ó MJ/L, emisiones, así como la observación de las camisas, mangueras y juntas para apreciar la posibilidad de encrustamientos para determinar los ciclos de mantenimiento.(Figura 8)

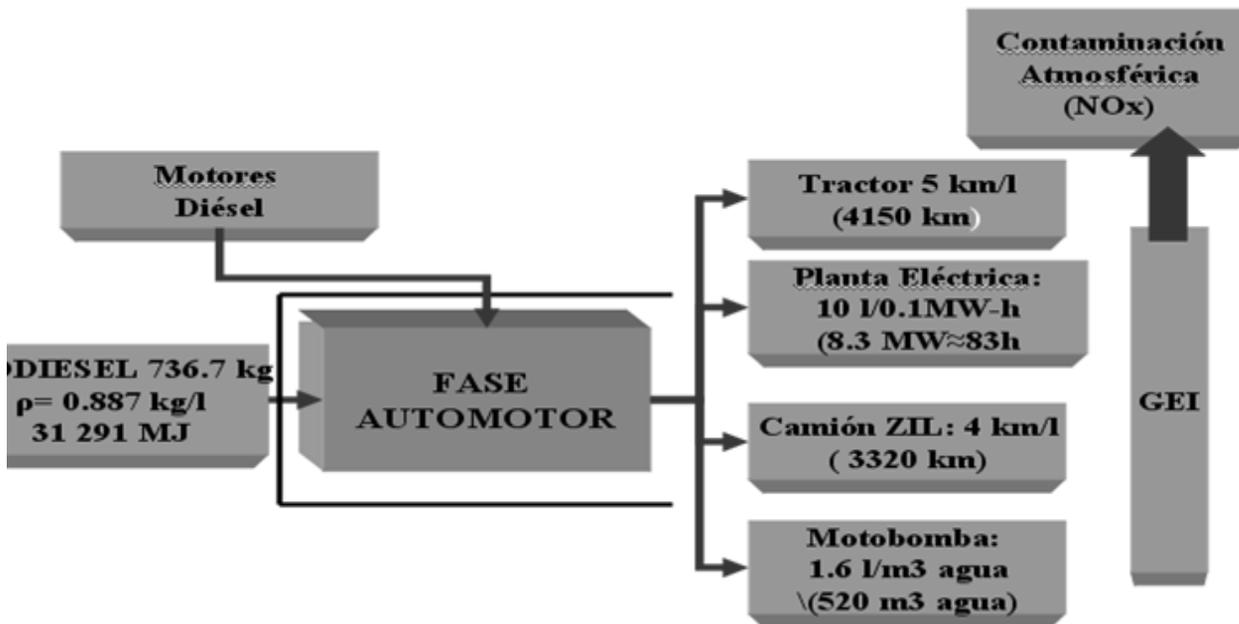


Figura 8. Inventario Fase Motor para la obtención de biodiésel a partir de JCL

En el caso de Cuba, han sido pocas las pruebas realizadas con biodiésel en motores y estas han sido fundamentalmente en motores de prueba y de forma aislada; los valores anteriores se fundamentan en lo expuesto y en la práctica internacional.

Inventarios

Cachaza

El siguiente esquema (Figura 9) resume el inventario de la obtención de biodiésel a partir de la cachaza, centrándonos en el esquema tecnológico de la cachaza-biodiésel.

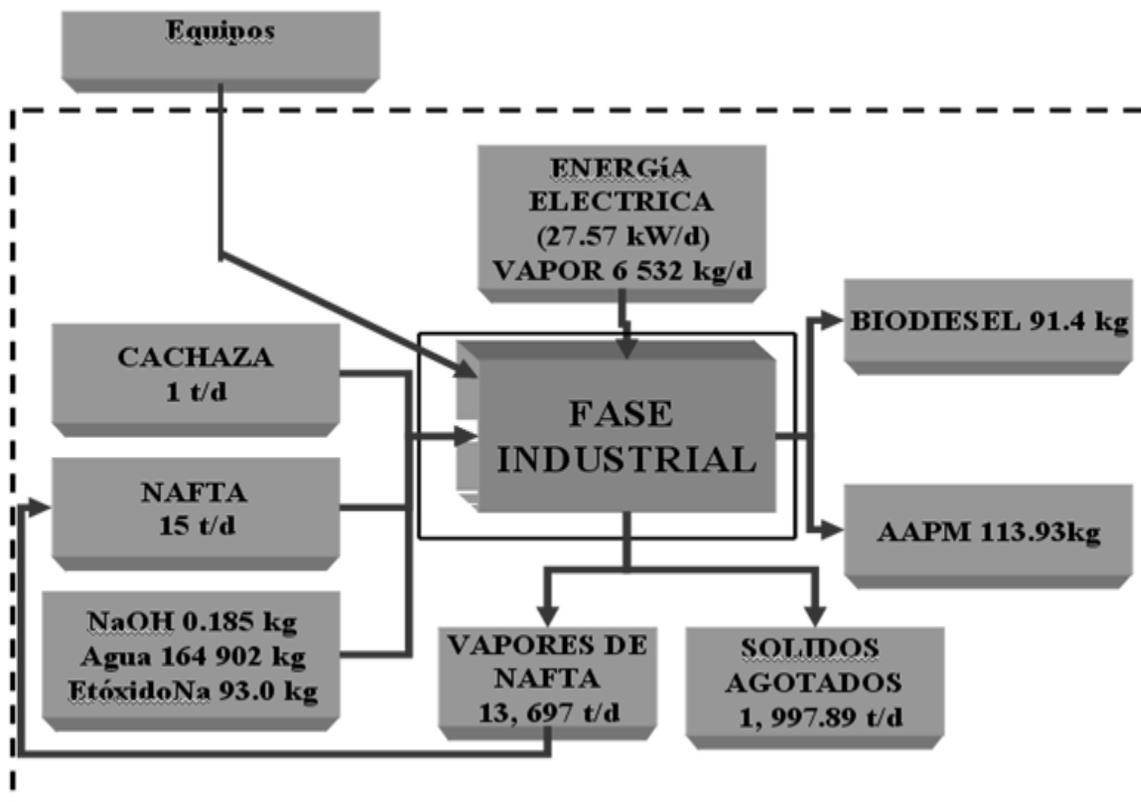


Figura 9. Inventario para la obtención de biodiésel a partir de la cachaza

La fase industrial de la cachaza, que a diferencia de la tecnología para obtener biodiésel a partir de JCL, requiere de un equipamiento más sofisticado y mayor número de operaciones y reactivos que en una pequeña comunidad no se puede realizar, pero sí en un central azucarero, diversificando las producciones de este para obtener alcoholes de alto peso molecular (AAPM) como producto fundamental de alta cotización en el mercado por su amplio uso en la industria farmacéutica (11 \$/kg). La tecnología se puede subdividir en los pasos siguientes: (Ver anexo I)

1. Extracción de la cera con solvente orgánico. Se empleará nafta como solvente para extraer la cera de la cachaza. Los parámetros óptimos para esta etapa (tabla 1) ya han sido encontrados por varios autores.¹² Los valores empleados fueron:
Tabla 1. Parámetros de trabajo de la extracción de la cera

T = 75°C	P = 1 atm	R = 3 L Nafta / 1 L Cachaza	Tiempo de la operación = 1 hora	Velocidad de agitación = 700 rpm
----------	-----------	-----------------------------	---------------------------------	----------------------------------

Tabla 1. Parámetros de trabajo de la extracción de la cera

Estos parámetros de operación aseguran una extracción del aceite con valores elevados sin afectar las propiedades del mismo. La extracción será en dos etapas con corrientes cruzadas, donde a cada etapa se adiciona una cantidad igual de cachaza fresca y se utiliza la solución de lixiviación proveniente de la etapa anterior, logrando con esto enriquecer más esta solución, aprovechando la capacidad de extracción que aún presenta el solvente a la salida de la primera etapa

2. Evaporación del solvente.

Luego de la etapa de extracción y filtración, se realiza una etapa de separación del solvente mediante evaporación al vacío, recuperando el 76 % del total inicial de nafta, para continuar reusándola.

3. Reacción de transesterificación. (tabla 2)

Primero, determinar la masa de aceite obtenido en la etapa de extracción y calentar hasta que se licúe suficientemente, se añade la cantidad predeterminada de etanol al aceite y junto con este, el catalizador necesario y se coloca la mezcla reaccionante en un termostato, con agitación, dejándolo reaccionar por un tiempo de 4 horas.^{3,12}

4. Extracción del AAPM.

La mezcla resultante se deja enfriar a temperatura ambiente, se disuelve en solvente orgánico y se mantiene durante 12 horas a una temperatura de 4-6 °C. en esta etapa cristalizan los alcoholes grasos o AAPM, estos se filtran al vacío, purificándolos mediante un lavado con etanol en tres etapas, y un lavado final con acetona. El licor resultante de la filtración se evapora para eliminar el etanol que no reaccionó y el solvente orgánico.

Tabla 2. Parámetros de la reacción de transesterificación.

Parámetros de trabajo.	
Etanol Extrafino (96° GL) Aceite de cachaza	$R_{\text{catalizador/aceite}} = 0.3 \frac{\text{ml de etóxido}}{\text{g de aceite}} \quad R'_{\text{etanol/aceite}} = 3.5 \frac{\text{moles de etanol}}{\text{moles de aceite}}$
Etóxido de sodio	
Temperatura: 70 °C	$R''_{\text{catalizador/aceite}} = 10 \frac{\text{moles de etanol}}{\text{moles de aceite}}$
Presión: 1 atm	
Tiempo de reacción: 4 h	
Velocidad de agitación: 200 rpm	

. Purificación del biodiésel.

Se valora la acidez del biodiésel y se neutraliza con ácido.

Resultados

De cada fase de inventario hemos analizados no sólo sus valores de entrada y salida, sino que hemos valorado tecnologías, sus créditos y limitaciones. (tablas 3,4 y 5)

Tablas 3, 4 y 5. Créditos y limitaciones de las fases de ACV aportadas por los inventarios

Fase Agrícola. Jatropha.	
Créditos	Limitaciones
1. Agua sólo por precipitaciones, en caso extremo bombeo.	1. Adecuado marco de siembra.
2. Uso de tracción animal	2. Falta de conocimientos y resistencia al cambio.
3. Abono orgánico.	
4. Recuperación del suelo	
5. Reforestación.	
6. Cultivos y silvopastoreo	
7. Brigada integral de trabajo (empleos)	
8. Plaguicidas naturales	

□

+

Fase Industria. Jatropha.	
Créditos	Limitaciones
1. Cáscara y torta residual se emplea como abono.	1. Uso de agua para el lavado del <u>biodiésel</u> , requiriendo posterior tratamiento.

2. Se puede alcanzar la temperatura (<u>60 °C</u>) mediante calentadores solares.	2. Cuba no produce metanol y el etanol nacional no es anhidro.
3. Se obtiene glicerina, la que se puede	3. No hay producción nacional de la prensa,

<u>comercializar.</u>	<u>filtro y reactor de biodiésel.</u>
4. El NaOH y el etanol son de producción nacional.	4. Consumo de energía eléctrica.
5. Uso de la energía solar para el secado del <u>fruto</u> , semillas y la cáscara.	5. Interés de solo obtener jabones o combustión del aceite en fogones, evitando la tecnología de transesterificación al verlo como un obstáculo.

□

Fase Motor. <i>Jatropha</i> .	
Créditos	Limitaciones
1. Disminuyen las emisiones de CO ₂ , MP, HC.	1. No existe experiencia anterior de uso de <u>biodiésel</u> en amplia escala en Cuba.
2. Se incrementan en un 10 % las emisiones de NOx.	2. Resistencia a su uso.
3. Puede ser mezclado (5-20 % con diesel).	3. No existe un inventario de ACV del diesel (nacional o importado)
4. Existencia de motores robustos para la <u>generación y laboreo agrícola</u> .	
5. No genera olores y muy bajo contenido de <u>SOx</u> .	

Cachaza.

Aunque la pureza del etanol puede ser un problema, en la reacción presenta varias ventajas:

- La utilización de otro recurso renovable.
- Por las diferentes propiedades que le confiere al biodiésel. Así, el producto obtenido presenta un menor punto de escurrimiento cuando se usa etanol respecto de metanol.
- Se obtiene una mayor miscibilidad con el aceite, lo que implica mayor velocidad de reacción, dado que se eliminan o disminuyen los problemas de la transferencia de masa.
- El costo de adquisición del etanol es inferior al del metanol.

El metanol es mucho más tóxico y difícil de manipular cuando forma el metóxido. Pero, se ha demostrado que se puede elaborar biodiésel a partir de un alcohol de 96° GL utilizando un exceso de etanol de alrededor de 3,5 mol de etanol/mol de aceite, para asegurar conversiones altas en el equilibrio, siempre que no se sobrepase el límite máximo de exceso de etanol hallado (menor de 15 mol de etanol/mol de aceite) por lo que favorece el desarrollo de la producción de biodiésel no sólo de la cachaza sino que es extrapolable para el de JCL para las condiciones cubanas.¹² A priori, hemos determinado una matriz DAFO que daría lugar a un proyecto de desarrollo sostenible desde la perspectiva ambiental, económica y social como es objetivo de este trabajo, teniendo en cuenta las necesidades de nuestro país. (tabla 6)

Tabla 6. Matriz DAFO.

	DEBILIDADES	AMENAZAS
AMBIENTALES	<ul style="list-style-type: none"> • Uso de fertilizantes y agroquímicos. • Consumos de agua. • Uso de sustancias peligrosas 	<ul style="list-style-type: none"> • Altos consumos de recursos hídricos. • Posibles daños al ambiente
ECONÓMICAS	<ul style="list-style-type: none"> • Necesidades de inversión. 	<ul style="list-style-type: none"> • Otras fuentes energéticas renovables
SOCIALES	<ul style="list-style-type: none"> • Desconfianza de las comunidades 	<ul style="list-style-type: none"> • Desconfianza del consumidor. • Posibles daños a la salud

	FORTALEZAS	OPORTUNIDADES
--	-------------------	----------------------

AMBIENTALES	<ul style="list-style-type: none"> • Reducción de las emisiones de SO₂, CO₂ • Fuentes renovables y/o alternativas de energía. 	<ul style="list-style-type: none"> • Evitar la contaminación y la restauración de zonas degradadas natural y antropogénicamente
ECONOMICAS	<ul style="list-style-type: none"> • Reducción de la dependencia del petróleo. • Empleo de materias primas naturales o residuos derivados de un proceso industrial 	<ul style="list-style-type: none"> • Ingresos • Sustitución de importaciones. • Diversificación industrial
SOCIALES	<ul style="list-style-type: none"> • Accesibilidad a la energía • Potenciar y diversificar el desarrollo rural 	<ul style="list-style-type: none"> • Fuentes de empleo • Posibilidad de desarrollar otros cultivos, pastoreo y actividades agroindustriales

Conclusiones

1. Se ha determinado la viabilidad tecnológica de producir biodiésel en Cuba tanto de la JCL, como de la cachaza.
2. Las tecnologías analizadas son bastante asequibles y los reactivos son de producción nacional.
3. Ha de mantenerse un estricto control de proceso para mantener una calidad de los productos así como para garantizar la seguridad tecnológica del proceso.
4. El empleo del etanol disminuye los riesgos al medio ambiente y disminuye los costos.
5. Se requiere de ver los procesos integrados, pues los créditos superan las posibles soluciones de otras fuentes de biodiésel muy censuradas por atentar contra la seguridad alimentaria.
6. La definición de las fases y sus límites permitirá un adecuado inventario suficiente para poder hacer las fases siguientes con una óptima calidad informativa.
7. Los inventarios recogen información de la práctica real en las condiciones del país.
8. Es viable y necesario un ACV para poder demostrar la fiabilidad de la producción de biodiesel en Cuba a pequeña escala, con los beneficios propios y colaterales que aporta y para trabajar en la mejora continua de estas producciones.

Bibliografía

1. Castro, F.: Discurso pronunciado en la Cumbre de Río o de la Tierra, Río de Janeiro, Brasil, 1992.
2. De la Vega, J.: Biodiésel: *Jatropha curcas* L., Ed México, Ciudad de México, México, 2007.
3. Feit, R.: “Estudio y diseño de una Planta Demostrativa para la producción de Biodiésel a partir de un residuo de la Industria Azucarera”, Tesis de grado. Facultad de Química-Farmacía, UCLV, Santa Clara, Cuba, 2007.
4. Fullana, P. y J. Riveradevall: *Estado actual y perspectivas de futuro del análisis del ciclo de vida en España*, Ed. CV, Barcelona, España, 2000.
5. González, E. *et al.*: Biodiésel, Ed. Argentina, Argentina, 2006.
6. Holbein, B.; J. Stephen y D. Layzell: *Canadian Biodiesel Initiative: Aligning Research needs and priorities with the emerging industry*, BIOCAP, Queen’s University, Kingston, Ontario, Canadá, 2004. www.biocap.ca
7. López, P. *et al.*: *Los biocombustibles ¿Una oportunidad Agrícola?*, Ed. ITAP, Pontevedra, España, 2006.
8. NC ISO 14 040:97 “Análisis de Ciclo de Vida” 2000.
9. Pant, K., *et al.*, “Report of the committee on development of bio-fuel. Planning comisión, Government of India, New Delhi, 2003.
10. Riveradevall, J. *et al.*: ACV: *Envases en centros de comidas rápidas*, Ed. CV, Barcelona, España,
11. Rosa, E.: ACV. Una herramienta de Gestión Ambiental, Curso UCLV, Santa Clara, 2007.
12. Villanueva, G.: Curso de tecnologías para la producción de biodiésel a partir de residuos de la industria azucarera”. Facultad de Química-farmacía, UCLV, Santa Clara, Cuba, 2000.

PROPUESTA TECNOLÓGICA PARA LA OBTENCIÓN DE BIODIESEL A PARTIR DE CACHAZA

