

Un acercamiento al desarrollo del biodiesel en Cuba

An approach to the development of biodiesel in Cuba

Ramón Piloto-Rodríguez^{1,*}

¹ Centro de Estudio de Tecnologías Energéticas Renovables (CETER). Universidad Tecnológica de La Habana, CUJAE. Calle 114, # 11901, e/Ciclovía y Rotonda, Marianao, La Habana, Cuba.

*Autor de correspondencia: email: rpiloto@tesla.cujae.edu.cu

Este documento posee una [licencia Creative Commons Reconocimiento/No Comercial 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)



Recibido: 21 mayo 2021 **Aceptado:** 1 julio 2021 **Publicado:** 14 julio 2021

Resumen

La producción de biodiesel en el mundo es una práctica establecida que contribuye a la reducción del impacto ambiental generado por el empleo de combustibles fósiles y reduce a su vez la dependencia energética de estos. El presente trabajo tiene como objetivo analizar el desarrollo de las investigaciones relacionadas con el tema de producción de biodiesel en Cuba, a partir de toda la literatura científica con revisión por pares que existe en el tema. Los resultados muestran que en Cuba el biodiesel aún no está generalizado y está parcialmente implementado. Las mayores investigaciones y resultados son mediante el empleo de *Jatropha curcas* como materia prima fundamental, pero se ha trabajado en varias materias primas comestibles, no comestibles o materiales de desecho. Para garantizar niveles de producción acorde a la capacidad instalada en las plantas de producción de biodiesel, debe entre otros factores evaluarse la cadena de suministros asociada a dicha tecnología y el elemento más crítico es la producción de aceite vegetal.

Palabras clave: biodiesel, *Jatropha curcas*, Cuba, agroindustria

Abstract

The production of biodiesel in the world is an established practice which contributes to the reduction of the environmental impact generated by the use of fossil fuels and also reduces the energy dependence on them. The actual work has the scope of analyze the development of the researches related to the biodiesel production in Cuba, based on a review of the peer reviewed scientific literature. The results showed that the biodiesel production in Cuba is not implemented neither is a generalized subject yet. Most of researches and results are related to the use of *Jatropha curcas* as feedstock, but there are reports based on different edible, non-edible and waste feedstock. To reach biodiesel production levels according to installed capacity, among other factors, the supply chain associated to this technology must be assessed and attended and straight vegetable oil production is the most critical element of this chain.

Keywords: biodiesel, *Jatropha curcas*, Cuba, agro industry

1. Introducción

El desarrollo y uso del biodiesel en el mundo es desde el punto de vista técnico, una práctica generalizada, sobre todo en base a oleaginosas bien establecidas como la colza, la palma y soya, así como a partir de aceites comestibles usados [1-5]. A pesar de no estar exento de polémica el tema de

la producción de los biocombustibles, muchas veces sin un sustento científico claro, no se puede negar que en el caso del biodiesel, su uso en motores de combustión interna (MCI) tiene un impacto ambiental positivo por reducción de las emisiones de la mayoría de los gases de escape de la combustión del motor, a excepción de los NOx. Además, la implementación de su tecnología con un enfoque de desarrollo local y rural, mediante empleo de desechos industriales, cultivos intercalados y mediante oleaginosas que no compitan directamente con la producción de alimentos, son elementos que hacen aún más atractiva esta propuesta [6,7].

Sin embargo, Cuba en el tema de biodiesel no ha avanzado aun hacia la generalización de esta tecnología, tan necesaria para reducir importaciones, incrementar la producción de un combustible tipo diesel, con la consecuente independencia energética, y con el aprovechamiento de los residuales que genera esta agroindustria.

El presente trabajo no pretende analizar ni discutir las causas de la no generalización y adecuada promoción de la producción y uso de biodiesel en Cuba, sino analizar el estado del arte histórico producido desde investigadores e instituciones cubanas en el tema, principales líneas, resultados, instituciones, así como la potencial aplicación de estos resultados obtenidos hasta la fecha. No se dedica espacio en el manuscrito a las bases del tema así como tampoco a los múltiples ejemplos de buenas prácticas y masivas evidencias a favor del biodiesel, sobre todo en países como Cuba. Sobre ello se puede profundizar en [8-12].

2. Consideraciones para el análisis de la literatura científica en el tema

Se consideró presentar un análisis de la realidad en Cuba en cuanto al ciclo completo de la tecnología objeto de estudio (biodiesel), en cuanto a investigaciones, desarrollo tecnológico, implementación, proyectos, así como la evaluación de la calidad del producto obtenido, su uso e impacto ambiental. El análisis no estuvo limitado a ningún aceite vegetal en particular ni a tecnología alguna, aunque se evidencia como resultado de este análisis hacia donde han estado encaminados los mayores esfuerzos de los diferentes actores.

Sin restar importancia a ninguna esfera de actuación, se organizó el análisis acorde a las etapas lógicas del desarrollo de una tecnología de este tipo en: 1) Investigación 2) Producción 3) Uso 4) Potencialidades.

Es necesario aclarar que lo que se presenta como resultado del análisis de información solo cubre las principales salidas de investigaciones (artículos científicos, patentes, tesis de doctorado defendidas y algunas ponencias en congresos de manera excepcional). El análisis además no se limita solo a lo hecho dentro del territorio nacional, ni necesariamente desarrollado solo por cubanos sino que se valoró la coautoría con entidades foráneas, pero solo cubre resultados referentes al biodiesel. Es imposible que todos los resultados queden reflejados, pero el trabajo es un intento desde búsquedas exhaustivas mediante diferentes estrategias de búsqueda.

Es importante aclarar que la búsqueda y análisis de la información abarcó aquellos documentos identificados mediante Google Académico, haciendo uso de palabras clave. No se consideraron documentos no descargables por ninguna vía ni aquellos que no tuvieron un proceso de revisión por pares. Se evita mencionar nombres de autores, aunque estos pueden ser identificados mediante el análisis del listado de referencias que se analizan y se indican al final del trabajo, con todos los autores declarados en el listado de referencias bibliográficas.

3. Investigaciones sobre biodiesel en Cuba

Las investigaciones en biodiesel en Cuba se han desarrollado fundamentalmente en las universidades pero no únicamente en ellas. Aunque también se ha investigado más en lo referente a la *Jatropha*

curcas, hay una amplia diversidad de fuentes de procedencia que serán abordadas en el presente trabajo.

Se debe dejar claro que uno de los primeros trabajos con revisión por pares sobre biodiesel de *Jatropha curcas* o de biodiesel en general en Cuba data de 2007 [13]. Aun así, las publicaciones en el tema de biodiesel (excluyendo la *Jatropha*) en Cuba o desarrolladas por investigadores de la isla es anterior a dicha fecha (2005) [14].

Biodiesel de primera generación

En el CEETA se reportan investigaciones en el tema del biodiesel desde 2005, cubriendo varias líneas; entre ellas, factibilidad de su producción [14], impacto del uso del biodiesel en partes del sistema de inyección [15], aunque con el empleo fundamentalmente de biodiesel a partir de aceite de girasol [16]. Desde el año 2009 ya se reportan investigaciones en el CETER con diferentes tipos de biodiesel y sus aceites vegetales de partida. Particularmente se trabajó con aceites y biodiesel de colza, palma y soya en esa primera etapa [17-20] en investigaciones que abarcan la caracterización del aceite, la producción de biodiesel y caracterización de este, el análisis termogravimétrico (TG) para simular las etapas y la cinética de los procesos de descomposición térmica de estos, así como los ensayos de prestaciones en bancos de motores diesel, así como de presión y retardo de ignición en cámara de combustión. En el caso de la higuera, se trabajó la transesterificación, la termogravimetría y el impacto ambiental [17,21]. Con respecto al biodiesel de palma y colza, se desarrolló a partir de múltiples ensayos experimentales un modelo empírico tipo Arrhenius para predecir el tiempo de retardo de ignición de biodiesel en función de parámetros del proceso de combustión [7,19,22,23]. No obstante, parte de las investigaciones sobre estos aceites correspondió a una inercia en lo que se venía haciendo antes de 2009, que estuvo dada por las tendencias internacionales así como por los compromisos en proyectos internacionales financiados, pues ya por esa fecha se había enfocado el trabajo hacia el aceite y biodiesel de *Jatropha curcas* dado el escenario nacional e internacional respecto al tema de los biocombustibles.

En el caso de la producción de biodiesel a partir del aceite de *Moringa oleifera*, hay resultados desde la extracción de aceite, obtención del biodiesel hasta su empleo en mezclas biodiesel-diesel en motores en cuanto a prestaciones y emisiones [7,24-29]. Se incluye el biodiesel de *Moringa* en los de primera generación pues aunque no está demostrado que constituya un alimento para el ser humano, sí constituye una fuente de alimento animal. Se ha trabajado en la obtención y evaluación en motores de combustión interna (MCI) del biodiesel de girasol y de orujo [30].

Biodiesel de Jatropha curcas

Se debe hacer una distinción en el caso particular del biodiesel obtenido a partir de la *Jatropha curcas* (JC). A partir de 2011 comienzan a aparecer los primeros resultados de investigaciones específicos para el tema de la *Jatropha curcas*, especialmente el que reporta que el tipo de especie y las condiciones edafoclimáticas correspondiente a la región donde se cultiva, tiene una influencia significativa en el perfil de ácidos grasos del aceite de *Jatropha* y por tanto en las características del biodiesel obtenido [31,32]. El biodiesel de JC ha sido exhaustivamente investigado en su producción [13,31-35], pero también en cuanto a su empleo en motores diesel en estudios que han abarcado desde su uso en mezclas hasta B100 (100% de biodiesel), en cuanto a prestaciones, emisiones, combustión y ensayos de durabilidad del motor [7, 36-38].

Producción integrada de biodiesel y alimentos

Este aspecto ha sido ampliamente liderado por la EEPFIH. Los investigadores de dicha institución han desarrollado numerosos trabajos y proyectos sobre sistemas integrados de producción de alimentos y bioenergía, incluida la producción de biodiesel a partir de *Jatropha curcas* [6,33,34], así

como sobre la captura de CO₂ debida a la plantación de la planta oleaginosa. Han valorado que dichas plantaciones secuestran anualmente 1 956 000 t de dióxido de carbono, un importante gas de efecto invernadero (la *Jatropha* captura 6 kg de CO₂/año/árbol).

Modelación y simulación de procesos, parámetros y propiedades

Este es un tema que como en el caso de producción de biodiesel, las contribuciones provienen de instituciones de diferentes regiones de Cuba. Sin embargo, la posterior aplicación de estos resultados es escasa comparada con el número de resultados de que se dispone en la última década. Sin pretender abarcarlos todos, se mencionan a continuación una parte importante de estos.

La simulación del proceso de producción de biodiesel a partir del aceite de *Jatropha curcas* basado en la planta y los procesos implementados en Guantánamo esta reportada [39]; sin embargo, a pesar de que los autores definen que se basa en la agroindustria y planta de Guantánamo, hay operaciones y condiciones operacionales que formaron parte de esta simulación que no están implementadas en dicha industria. Para la simulación emplearon el simulador de procesos Hysys 3.2.

Bajo el título *Desarrollo de un software para la simulación del proceso de transformación del aceite vegetal usado en un biocombustible*, se desarrolló una herramienta para la simulación del proceso de obtención de biodiesel [40]. Sin embargo, la simulación se desarrolla en condiciones de bajas temperaturas y en la mayoría de los casos de bajas relaciones alcohol: aceite en comparación no solo con lo que reporta la amplia literatura respecto, sino también en cuanto a las condiciones en que el biodiesel se produce en Cuba en la agroindustria. Los resultados de la simulación evidencian bajos rendimientos en la producción de biodiesel, relacionados entre otros aspectos con las condiciones experimentales seleccionadas y con relativamente altos porcentajes de error respecto a los valores experimentales. El tiempo de reacción no se consideró en dicha simulación.

Modelos para predecir el número de cetano para biodiesel de diversa procedencia mediante el empleo de Redes Neuronales Artificiales han sido obtenidos [41-43], mejorados y optimizados en varios trabajos, constituyendo una herramienta muy útil para predecir tan importante propiedad del biodiesel a partir del perfil de ácidos grasos, sin recurrir a costosos ensayos en bancos especializados.

Mezclas aceite-diesel

Aunque en este caso no se trata de biodiesel, es un tipo de enfoque que se encuentra ligado a la producción y empleo del biodiesel, pues es el motivo doble del empleo de las mezclas con aceite: evitar la transesterificación y como resultado de las investigaciones, para muchas aplicaciones resulta inevitable la transesterificación.

En el tema de formulación y empleo en MCI de mezclas de aceite de *Jatropha curcas* con combustible diesel también se ha estado investigando todos estos años con algunos resultados [7,44-46]. En este caso, la mayoría de los estudios han tenido un enfoque de ensayos en bancos de motores en cuanto a prestaciones y emisiones de gases contaminantes. Varios estudios que comprenden la caracterización del aceite de *Jatropha curcas* [47] con vistas a su uso como biocombustible por diferentes salidas energéticas u otras aplicaciones también han sido desarrollados.

Análisis de Ciclo de Vida

Los estudios de ACV en el tema de producción y uso de biodiesel, han sido tratados con cierta amplitud y están bien documentados, para todo el sistema *From well to Wheel* o partes de este. En este sentido destacan los trabajos [7,21,48-51].

Estudios de factibilidad

En un trabajo que data de 2005 se reporta un análisis preliminar sobre la posibilidad de obtener el biodiesel en las condiciones propias de países subdesarrollados, teniendo en cuenta varios factores, como son: la selección de un cultivo oleaginoso, su obtención considerando la experiencia a escala de laboratorio y la estimación del costo del biodiesel obtenido. Se concluyó que es posible obtener biodiesel en países del tercer mundo a partir de la utilización de aceite vegetal y etanol con propiedades químicas y físicas aceptables, resultando adecuado el cultivo de girasol para la producción de aceite vegetal a emplear en la elaboración de biodiesel, debido a sus relativamente bajos costos de producción (alrededor de 0,50 USD/L) y el balance energético positivo que se alcanza con este cultivo, generando 4,5 litros de aceite por cada litro de combustible consumido en el proceso agroindustrial de obtención del aceite [14]. También se reporta un estudio de las potencialidades que tiene el aprovechamiento eficiente del aceite crudo de palma africana como materia prima para la producción de biodiesel con vistas a garantizar las operaciones de una planta de reciclaje de residuos de aluminio [52].

Destilados de ácidos grasos

El aceite vegetal crudo está compuesto principalmente por triglicéridos, pero también contiene numerosos compuestos no comestibles que es necesario eliminar mediante un proceso de refinado antes del consumo humano. Algunos subproductos de bajo valor comercial se obtienen a partir de estos procesos de refinación. A partir de grandes cantidades de aceite vegetal crudo se obtienen subproductos tales como: grasas de jabón, destilados de ácidos grasos y aceite ácido como resultado de los procesos de refinación del aceite vegetal. Estos subproductos son perjudiciales para el medio ambiente si se vierten directamente: Sin embargo, al ser usados como biocombustibles producen energía y se elimina el problema del destino final de estos residuales. No obstante, es importante definir que no todas las tecnologías de refinación de aceite vegetal producen el subproducto de destilados.

La obtención de biodiesel a partir de destilados de ácidos grasos (DAG) es un tema trabajado con énfasis hace unos años en Cuba. Se reportan resultados en la producción de biodiesel [53-55], su empleo en motores en B100 o sus mezclas, así como usos energéticos del DAG mezclado con combustible diesel [7] o como base en la formulación de un combustible emulsionado [56,57], lo cual no se ajusta al campo específico del biodiesel pero es una salida energética en el más amplio campo de los combustibles alternativos. No obstante, de todos los estudios y propuestas mencionadas, es precisamente la producción del biodiesel la mejor opción, ya que los DAG por su composición química y grado de acidez, tienen un potencial corrosivo muy alto en caso de su uso directo o mezclado y a ello debemos agregar las no favorables propiedades físicas como la viscosidad.

Aprovechamiento de los residuales de la producción de biodiesel

Esta línea de investigación es complementaria para este campo del conocimiento. Aunque estas investigaciones no aplican directamente al tema biodiesel, contribuyen al sistema de producción del biocombustible, contribuyendo a la economía circular y a la reducción de costos de producción de biodiesel y del impacto ambiental de su industria. Tal es el caso de la producción de energía para otros procesos o para el propio proceso de transesterificación [58]. En este sentido se reportan estudios en cuanto a: uso de la cáscara de *Jatropha curcas* o de otras oleaginosas como la *Moringa oleifera* con fines energéticos como es el caso de la gasificación o pirólisis, lo cual ha abarcado desde la caracterización del residual, evaluación de su potencial, simulación de procesos y estudios de ACV e impacto ambiental [59-62].

Biodiesel a partir de algas

Las investigaciones en la producción de biodiesel a partir de microalgas y macroalgas es un tema no bien estudiado en Cuba, a pesar del enorme potencial que tiene dada su posición geográfica y ser una isla rodeada de mar. La producción de energía a partir de algas y especialmente el biodiesel tiene ventajas desde varios puntos de vista, es estado del arte en investigaciones y desarrollo tecnológico en este campo en el mundo y no presenta los problemas y desventajas de los biocombustibles de primera generación.

En el tema de microalgas se ha trabajado fundamentalmente en producir biodiesel o cualquier biocombustible derivado de la *Chlorella vulgaris* [63], la cual tiene importante presencia en la naturaleza cubana. Sin embargo, hay varios desafíos estructurales y tecnológicos en este objeto de estudio que son aún más complejos que los referentes a cualquier tipo de biomasa convencional o no convencional. Las futuras investigaciones deben estar encaminadas a resolver dichos problemas para hacer viable esta vía de producción de bioenergía.

Con respecto a las macroalgas, existe un espectro mucho más amplio, pero es una tecnología que tiene igualmente desafíos, ventajas y desventajas, pero con gran potencial. No obstante, se debe puntualizar que para el caso de producción de biodiesel, su viabilidad dependerá del contenido lipídico de la macroalga, sin descuidar otras particularidades técnicas, y sobre todo químicas de la biomasa en cuestión. Hay un estudio reportado sobre la caracterización de la macroalga *Chaetomorpha gracilis* [64] que determina que a partir de esta macroalga no es viable la producción de biodiesel. A partir de estas características de las macroalgas y de su contenido lipídico, se estudian actualmente los procesos de conversión termoquímica más adecuados para su empleo como portador energético, tomando como base las caracterizaciones de varias macroalgas, simulaciones de procesos de conversión, así como experimentos en laboratorio [59].

Son de resaltar un grupo importante de resultados encaminados a potenciales aplicaciones del aceite de *Jatropha curcas* como lubricante biodegradable [65,66]. También se reporta el diseño de planta piloto para estudiar el escalado de la tecnología de producción de biodiesel a partir de residuos de la industria azucarera, así como estudios de transferencia de tecnología de producción de biodiesel en esta industria en particular [67,68].

Colaboración institucional y de investigadores en producción y uso de biodiesel en Cuba

La colaboración entre investigadores en el tema de biodiesel en Cuba no ha sido amplia pero tampoco despreciable. Es de señalar que el tema de biodiesel, como cualquier rama, tema, o campo del conocimiento de las ciencias técnicas que se intente abordar de manera efectiva, debe hacerse desde la transdisciplinariedad, pero también en la unión de esfuerzos y recursos, y gracias a la colaboración entre investigadores, constatada en resultados y en proyectos. A partir de un análisis del estado del arte en la temática, solo considerando autores cubanos y sus propias redes de colaboración nacional e internacional, se llega al resultado siguiente: se evidenciaron redes de colaboración en torno a autores de la CUJAE, EEPFIH, UO y UCLV que son fuertes y redes de menor magnitud en otras instituciones. Es de destacar la colaboración interinstitucional en resultados entre CUJAE-EEPFIH y EEPFIH-UO.

Por último, un análisis de valor agregado es la concurrencia por palabras clave de los trabajos identificados en el tema. En este caso destaca la *Jatropha curcas* como la fuente seleccionada para la producción de biodiesel. No obstante se reportan estudios a partir de destilados de ácidos grasos, cachaza, ricino y *Moringa oleifera* fundamentalmente.

Muchos trabajos han estado relacionados con la caracterización de aceites vegetales y su posterior producción de biodiesel y/o la caracterización del biodiesel obtenido, empleando diferentes métodos

y técnicas. Se ha trabajado ampliamente en las pruebas en motores de combustión tema y también se reporta la modelación de plantas para producir biodiesel. Se deben mencionar además trabajos que integran la producción de biodiesel con el aprovechamiento energético de los residuales de esta industria, contribuyendo a la eficiencia energética, a la economía circular y al concepto de cero desechos.

En 2006 la EEPFIH convocó a un grupo de instituciones cubanas y solicitó el apoyo de la Agencia Suiza de Cooperación para el Desarrollo (COSUDE), con el fin de sentar las bases de un proyecto de innovación transdisciplinaria, dirigido a introducir, desarrollar y/o mejorar tecnologías y sistemas idóneos para utilizar la biomasa como fuente renovable de energía, y, por tanto, contribuir a mejorar las condiciones de vida en las zonas rurales. Esta concepción partió de las capacidades de I+D+i existentes, que fueron ampliadas con disciplinas sociales para garantizar, desde el inicio, el anclaje social de las propuestas tecnológicas y en consecuencia, asentar la argumentación frente a las autoridades gubernamentales, con el propósito de promover las soluciones propuestas.

Destacable en la formulación del proyecto fueron la definición pionera en Cuba, en diciembre de 2006, de la utilización de plantas oleaginosas no comestibles (*Jatropha curcas*, *Ricinus communis*, *Aleurites spp.* y *Moringa oleifera*) para la producción de biodiesel y bioetanol, asociada con cultivos alimenticios y el establecimiento de los procesos de vigilancia tecnológica. En conjunto con la EEPFIH fueron relevantes, tanto en la formulación como en la ejecución de este proyecto, el Centro de Aplicaciones Tecnológicas para el Desarrollo Sostenible (CATEDES), en Guantánamo; el Centro de Estudios de Eficiencia Energética de la Universidad de Oriente, en Santiago de Cuba; las Estaciones de Pastos de Las Tunas y Sancti Spíritus; la Facultad de Ingenierías Química y Mecánica, de la Universidad de Matanzas, el Instituto Cubano de Investigaciones Azucareras y Cubaenergía. El objetivo general del proyecto (en su fase I, 2008-2011) fue demostrar y comunicar, a través de experiencias piloto, qué alternativas tecnológicas locales para la generación de energía, a partir de la biomasa, eran efectivas económica, social y ambientalmente para mejorar las condiciones de vida de mujeres y hombres en zonas rurales del país. Entre las alternativas energéticas estuvo comprendida la producción de biodiesel a partir de *Jatropha curcas* y mediante las acciones del proyecto fue montada en la granja Paraguay en Guantánamo una planta de producción de biodiesel con capacidad para 400 L/día, que posteriormente fue transferida a la gestión de la empresa Labiofam-Guantánamo.

Bioenergía. Tecnologías limpias para el desarrollo rural (2016-2021). Este proyecto en el tema de la producción de biodiesel es una continuación de Biomas Cuba. El objetivo del proyecto es incrementar el acceso a la bioenergía en Cuba mediante la promoción del uso de tecnologías de biodiesel y biogás por agricultores. Este representa un proyecto de transferencia de tecnología; en el mismo se elabora una propuesta de estrategia para el fomento del biodiesel en Cuba, en conjunto con el Grupo Empresarial Labiofam. En el proyecto se definieron 230 ha para plantaciones de *Jatropha curcas* en Yaguajay y Manatí y se realizó una defectación de las instalaciones a adaptar para el montaje de plantas de biodiesel en ambos municipios.

Célula de conocimientos en biocombustibles (a partir de fuentes no comestibles y materiales de desecho) para su uso en motores de combustión interna (2009-2013). Este fue un proyecto financiado por el VLIR (Vlaamse Interuniversitaire Raad), el cual estuvo enfocado fundamentalmente en el biodiesel y el aceite de *Jatropha curcas*, focalizado en el montaje de laboratorios de bancos de motores diesel que posteriormente han sido empleados para la evaluación de biodiesel de procedencia nacional. También este proyecto trabajó la síntesis del biodiesel y su caracterización avalado por múltiples resultados ya analizados en el presente capítulo.

Nivel de madurez tecnológica de la producción y uso de biodiesel en Cuba

Existen diferentes niveles de madurez de cualquier tecnología, conocidos por sus siglas en idioma inglés (TRL). Este es un concepto que surgió en la NASA pero posteriormente fue generalizado y es aplicable a cualquier proyecto y no necesariamente a los proyectos aeronáuticos o espaciales. En concreto, un TRL es una forma aceptada de medir el grado de madurez de una tecnología.

No es posible considerar el mismo grado o nivel de innovación para determinado proyecto si se parte para su realización de tecnologías maduras o de tecnologías probadas con éxito en entornos reales (TRL 8-TRL 9) y que pueden encontrarse disponibles de forma libre o mediante licencia, que el que se enfrenta partiendo de tecnologías en fase de desarrollo y validación (TRL 4-TRL 7) o el que se aborda a partir de tecnologías que se encuentran todavía en un nivel más básico, a nivel de idea, concepto o investigación básica (TRL 1-TRL 3).

Para el caso de la introducción de la producción y uso de biodiesel a partir de *Jatropha curcas*, al ser esta una tecnología de producción que no se está desarrollando en el país, sino que se encuentra en introducción y adecuación, hay niveles de TRL que es obvio que se garantizan, aun cuando son ayudados por los proyectos I+D+i y las investigaciones ya mencionadas. De esta manera queda muy claro el nivel de madurez para el caso de Cuba hasta un TRL 7. Sin embargo, la introducción en el mercado, correspondiente tanto a TRL 8 como a TRL 9 no se han podido alcanzar a pesar de los financiamientos y los proyectos y a pesar de partir de implementar una tecnología que es ciencia constituida en el mundo, por lo que el paso de un nivel a otro tomando como partida los niveles más bajos es mucho más rápida que cuando se desarrolla una tecnología novedosa. No obstante, las acciones tanto de Labiofam como del proyecto Bioenergía están encaminadas a lograr un TRL 9 a mediano plazo. El tan necesario alcance de los niveles 8 y 9 de TRL pasa necesariamente por una producción de biodiesel que permita la introducción y penetración de este producto en el mercado nacional. Ante la interrogante de cómo llegar a estos niveles, se visualizan claramente barreras productivas más que tecnológicas.

Para garantizar niveles de producción acorde a la capacidad instalada en las plantas de producción de biodiesel, debe entre otros factores evaluarse la cadena de suministros asociada a dicha tecnología. Para el caso particular de la producción de biodiesel, el esquema general de la cadena de suministros se muestra en la Figura 1. Se representan en color verde aquellos elementos que son particulares para el caso de la producción en Cuba, toda vez que la idea de la producción de biodiesel en el país es dirigida al consumo local en áreas rurales y no para la clásica distribución y comercialización. La cadena representada cubre (implícita la transportación) fase agrícola, inventario, almacenamiento, pre-procesamiento, producción de biodiesel, distribución, comercialización y uso final.

Para este tipo de producto, la parte crítica es la correspondiente a la producción de biodiesel (midstream) y ello se debe a la diversa y cambiante naturaleza química que se puede presentar en la materia prima. Sin embargo, para el caso de Cuba, se concibe por el momento la producción de biodiesel solo a partir de fuentes no comestibles y eso restringe enormemente el tipo y composición del aceite de partida, sin contar con que la única oleaginosa en planes para producción a escala semi-industrial o industrial es la *Jatropha curcas*.

Tampoco es un problema la parte inferior de la cadena (downstream) debido a que conceptualmente la producción de biodiesel a escala local y para autoconsumo como motor de la sostenibilidad, hace que la distribución y uso sean eslabones muy simplificados comparados con similares en otros contextos. La parte superior de la cadena (upstream) es sin dudas aquella que se ha convertido en el elemento crítico para producir biodiesel y por ende alcanzar los niveles de TRL 8 y 9 y cumplir con los objetivos de desarrollo sostenible y de independencia energética trazados. Además de ello, también es un factor clave y crítico correspondiente al sector industrial el suministro de los insumos

químicos necesarios para la transesterificación (metanol y álcali), lo cual depende de importaciones y de acceso a financiamiento o capital financiero constantemente. Una reducción considerable de este riesgo o dependencia estaría basada en la sustitución del catalizador y la catálisis básica homogénea por catálisis heterogénea empleando biocatalizadores de producción nacional o catálisis enzimática. Es muy complejo garantizar la sostenibilidad y soberanía energética con elementos de la cadena dependientes de financiamiento en moneda libremente convertible y en importaciones.

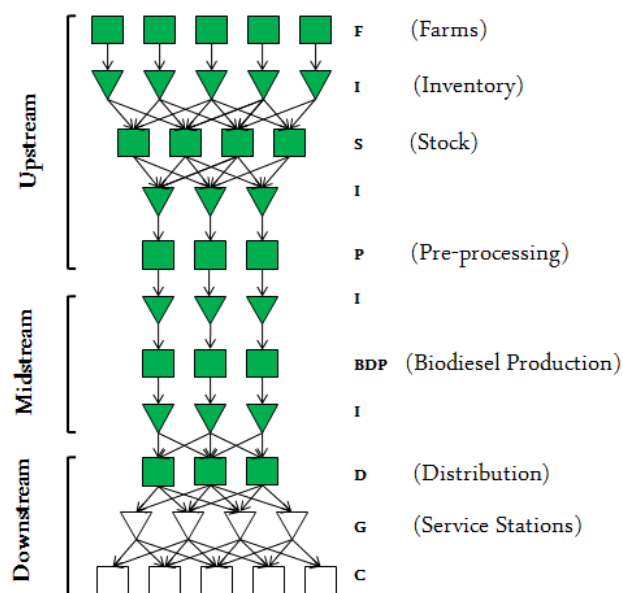


Fig.1 Estructura general y particular de la cadena de suministros [68]

4. Conclusiones

En el presente trabajo se analizó el desarrollo de las investigaciones relacionadas con el tema de producción de biodiésel en Cuba, a partir de toda la literatura científica con revisión por pares que existe en el tema. Los resultados demostraron que en Cuba el biodiésel aún no está generalizado y está parcialmente implementado. Las mayores investigaciones y resultados han sido mediante el empleo de *Jatropha curcas* como materia prima fundamental, pero se ha trabajado en varias materias primas comestibles, no comestibles o materiales de desecho. Para garantizar niveles de producción acorde a la capacidad instalada en las plantas de producción de biodiésel, debe entre otros factores evaluarse la cadena de suministros asociada a dicha tecnología y el elemento más crítico es la producción de aceite vegetal.

Glosario de términos relativos a instituciones mencionadas

Siglas	Nombre de la institución
CATEDES	Centro de Aplicaciones Tecnológicas para el Desarrollo
CEETA	Centro de Estudios Energéticos y Tecnologías Ambientales
CETER	Centro de Estudio de Tecnologías Energéticas Renovables
CUJAE	Universidad Tecnológica de La Habana
EEPFH	Estación Experimental de Pastos y Forrajes Indio Hatuey
UCLV	Universidad Central de Las Villas
UO	Universidad de Oriente

Referencias

1. Candeia, R.A., Silva, M.C.D., Carvalho-Filho, J.R., Brasilino, M.G.A., Bicudo, T.C., Santos, I.M.G., Souza, A.G., *Influence of soybean biodiesel content on basic properties of biodiesel-diesel blends*. Fuel, 2009. **88**: p. 738-743.
2. Zhong-Ming, W., Jin-Suk, L., Ji-Yeon, P., Chuang-Zhi, Z., Zhen-Hong, Y., *Novel biodiesel production technology from soybean soapstock*. Korean J. Chem. Eng., 2007. **24**(6): p. 1027-1030.
3. Mwithiga, G., Moriasi, L., *A study of yield characteristics during mechanical oil extraction of pretreated and ground soybeans*. Journal of Applied Sciences Research, 2007. **3**(10): p. 1146-1151.
4. Budiman, A., Lelyana, A., Rianawati, D., *Biodiesel production from palm fatty acid distillate using reactive distillation*. Jurnal Teknik Kimia Indonesia, 2012. **11**(2): p. 101-107.
5. Bart, J., Palmeri, N., Cavallaro, S., *Biodiesel Science and Technology: From Soil to Oil*, 2017. Ed. Publishing, W. ISBN: 978-184-569-776-1
6. Suarez, J., Martin, G., *La biomasa como fuente renovable de energía en el medio rural*, 2012. Matanzas, Cuba: Estación Experimental de Pastos y Forrajes Indio Hatuey. ISBN: 978-959-7138-14-3.
7. Piloto-Rodríguez, R., *Biocombustibles para su uso en motores diesel.*, 2014. Habana: IDICT. ISBN: 978-959-234-095-4.
8. Demirbas, A., *Biorefineries for biomass upgrading facilities*, 2010. Green Energy and Technology, Ed. Springer. London: Springer.
9. Demirbas, A., *Biodiesel. A realistic fuel alternative for diesel engines*, 2008. London: Springer-Verlag.
10. Demirbas, A., *Importance of biodiesel as transportation fuel*. Energy Policy, 2007. **35**: p. 4661-4670.
11. ElBassam, N., *Handbook of bioenergy crops*, 2010. Ed. Earthscan. London.
12. Castro, P., Coello, J., Castillo, L., *Opciones para la producción y uso del biodiésel en el Perú*, 2007. Ed. Prácticas-ITDG, S.: Lima.
13. Sotolongo, J.A., Beaton, P., Díaz, A., Montes de Oca, S., del Valle, Y., García, S., Zanzi, R., *Jatropha curcas L. as a source for the production of biodiesel: a cuban experience*. 15th European Biomass Conference and Exhibition, 2007. Berlin.

14. Villegas, P.J., Zanzi, R., Bucki, B., Bonnet, E., López, I., Herrera, I., Viedma, E., *Algunas consideraciones preliminares acerca de la factibilidad de la obtención de biodiesel en países en vías de desarrollo*. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, 2005. **9**: p. 1-6.
15. Villegas, P.J., López, I., Herrera, I., Bucki, B., Mendoza, K., Oquendo, Y., *Evaluación preliminar de la influencia del biodiesel en el desgaste del sistema de alimentación de los motores de combustión interna*. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, 2006. **10**: p. 1-5.
16. Herrera, I., López, I., Villegas, P.J., Bucki, B., Bonnet, E., *Estudio comparativo de los parámetros de funcionamiento de un motor diesel cuando usa biodiesel y diesel como combustible*. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, 2005. **9**: p. 1-6.
17. Piloto-Rodríguez, R., Sierens, R., Verhelst, S., *Thermal and kinetic evaluation of biodiesel derived from soybean oil and higuera oil*. J Therm Anal Calorim, 2009. **96**(3): p. 897-901.
17. Piloto-Rodríguez, R., Sierens, R., Verhelst, S., *Evaluación del desempeño de un motor Yuchai trabajando con Biodiesel cubano*. 31, 2009. **3**: p. 70-79.
18. Piloto-Rodríguez, R., Verhelst, S., Sierens, R., *Evaluación cinética de la descomposición térmica de diferentes tipos de biodiesel mediante termogravimetría*. Revista CNIC, Ciencias Químicas, 2009. **40**(3): p. 135-138.
19. Piloto-Rodríguez, R., *Determination of biodiesel influence on the performance of diesel engines*. Tesis de Doctorado, 2010. Department of Flow, Heat & Combustion Mechanics, Ghent University. ISBN: 978-90-8578-362-6.
20. Rodríguez, P., Rubio, D.R., Zumalacarregui, L., Perez, O., Penabaz, L., *Production and environmental impact of Ricinus Communis L oil with biofuel purposes*. Revista Dyna, 2019. **86**(210): p. 137-142.
21. Piloto-Rodríguez, R., Sierens, R., Verhelst, S., *Ignition delay in a palm oil and rapeseed oil biodiesel fuelled engine and predictive correlations for the ignition delay period*. Fuel, 2011. **90**: p. 766-772.
22. Piloto-Rodríguez, R., *Determinación de la influencia del uso de biodiesel en el funcionamiento de motores diesel*. Revista CNIC, Ciencias Químicas, 2010. **41**(1): p. 57-58.
23. Díaz, Y., Tabio, D., Rondón, M., Piloto-Rodríguez, R., Fernández, E., *Phenomenological model for the prediction of Moringa oleifera extracted oil using a laboratory Soxhlet apparatus*. Grasas y Aceites, 2021. **72**(3): p. e422.
24. Díaz, Y., Rondón, M., Tabio, D., Melo-Espinosa, E.A., Fernández, E., Piloto-Rodríguez, R., *Influence of Moringa oleifera biodiesel-diesel blend on combustion, performance and emissions in a diesel engine*. Afinidad. Revista de química teórica y aplicada, 2020. **78**(593): p. 45-55.
25. Díaz, Y., Tabio, D., Goyos, L., Fernández, E., Rondón, M., Fischer, T., Piloto-Rodríguez, R., *Rheological behavior and properties of biodiesel and vegetable oil from Moringa oleifera Lam*. Afinidad. Revista de química teórica y aplicada, 2019. **587**: p. 83-90.
26. Díaz-Domínguez, Y., Tabio, D., Rondón, M., Fernández, E., Muñoz, S., Ameneiros, J.M., Piloto-Rodríguez, R., *Extraction and characterization of Moringa oleifera Lam var. Supergenius seed oil from Cuba*. Revista CNIC, Ciencias Químicas, 2017. **48**(1): p. 17-26.
27. Díaz, Y., Tabio-García, D., Goyos-Pérez, L., Fernández-Santana, E., Muñoz-Rodríguez, S., Piloto-Rodríguez, R., Verhelst, S., *Extraction and characterization of oil from Moringa oleifera for energy purposes*. Wulfenia Journal, 2017. **24**(5): p. 86-103.
28. Tabio, D., Díaz, Y., Rondón, M., Fernández, E., Piloto-Rodríguez, R., *Extracción de aceites de origen vegetal*. ISBN 978-959-261-553-3 2017.
29. López, I., Díaz, C., Quintana, E., Rodríguez, L., Dorado, M.P., Pascualino, J., *Prestaciones de un motor de encendido por compresión alimentado con éster metílico de girasol y orujo*

- de forma comparativa con combustible diésel*. UCE Ciencia. Revista de postgrado, 2014. 2(2): p. 1-10.
30. Piloto-Rodríguez, R., Goyos, L., Alfonso, M., Duarte, M., Caro, R., Galle, J., Sierens, R., Verhelst, S., *Characterization of Jatropha curcas oils and their derived fatty acid ethyl esters obtained from two different plantations in Cuba*. Biomass & Bioenergy, 2011. 35: p. 4092-4098.
 31. Piloto-Rodríguez, R., Goyos, L., Sierens, R., Verhelst, R., *Thermal behavior of Jatropha curcas oils and their derived fatty acid ethyl esters as potential feedstocks for energy production in Cuba*. Journal of Thermal Analysis & Calorimetry, 2012. 109(2): p. 1005-1012.
 32. Suárez, J., Martín, G., Cepero, L., Blanco, D., Savran, V., Sotolongo, J.A., López, A., Donis, F., González, O., Peña, A., Hernández, M., Hernández, M., *Producción integrada de alimentos y bioenergía: la experiencia cubana*. Agroecología, 2017. 12(1): p. 47-55.
 33. Suárez, J., Martín, G., Cepero, L., Blanco, D., Sotolongo, J., Savran, V., del Río, E., Rivero, J.L., *Procesos de innovación local en Agroenergía, orientados a la mitigación y adaptación al cambio climático en Cuba*. Revista Cubana de Ciencia Agrícola, 2014. 48(1): p. 17-20.
 34. García-Muentes, S.A., Lafargue-Pérez, F., Labrada-Vázquez, B., Díaz-Velázquez, M., Sánchez, A.E., *Propiedades fisicoquímicas del aceite y biodiesel producidos de la Jatropha curcas L. en la provincia de Manabí, Ecuador*. Revista Cubana de Química, 2018. 30(1): p. 142-158.
 35. Tobío-Pérez, I., *Evaluación de biodiesel de Jatropha curcas y mezclas diesel-biodiesel para su uso en transporte agrícola*. Tesis de Maestría, 2019. Universidad Tecnológica de La Habana.
 36. Tobío-Pérez, I., Melo-Espinosa, E.A., Sotolongo, J.A., Suarez-Hernandez, J., Piloto-Rodríguez, R., *Evaluación de mezclas de biodiesel de Jatropha curcas (L.) en bancos de motores diesel*. Pastos y Forrajes, 2018. 41(4): p. 300-309.
 37. Piloto-Rodríguez, R., Ortiz-Alvarez, M., Suarez-Hernández, J., Tobío-Pérez, I., Melo-Espinosa, E.A., Díaz, Y., Sotolongo, J.A., *Data on combustion chamber measurements of a diesel engine fuelled with biodiesel of Jatropha curcas and fatty acid distillates*. Data in Brief, 2020. 31: p. 105799.
 38. Castillo-Peña, A., Labrada-Vázquez, B.L., Penedo-Medina, M., Sánchez-del-Campo-Lafita, A.E., *Simulación del proceso de producción de biodiésel a partir del aceite de Jatropha curcas*. Tecnología Química, 2013. 33(2): p. 107-120.
 39. Ordoñez, Y.C., Bonilla, B., Gandón, J., García, M., *Desarrollo de un software para la simulación del proceso de transformación del aceite vegetal usado en un biocombustible*. UCE Ciencia. Revista de Postgrado, 2016. 4(3): p. 1-11.
 40. Piloto-Rodríguez, R., Sánchez-Borroto, Y., Lapuerta, M., Goyos-Pérez, L., Verhelst, S., *Prediction of the cetane number of biodiesel using artificial neural networks and multiple linear regression*. Energy Conversion and Management, 2013. 65: p. 255-261.
 41. Piloto-Rodríguez, R., Sanchez, Y., Goyos, L., Verhelst, S., *Prediction of cetane number of biodiesel from its fatty acid ester composition using Artificial Neural Networks*. Renewable Energy and Power Quality Journal, 2013. 10(11): p. 1-5.
 42. Piloto-Rodríguez, R., Sánchez-Borroto, Y., Melo-Espinosa, E.A., *Assessment of the prediction capability of biodiesel cetane number by Artificial Neural Networks*. Revista Cubana de Ingeniería, 2020. 10(3): p. 34-45.
 43. Piloto-Rodríguez, R., Tobío-Pérez, I., Suárez-Hernández, J., *Diesel engine fuelled with blends of Jatropha curcas oil and diesel fuel*. Revista Cubana de Ingeniería, 2020. 11(2): p. 12-19.

44. Piloto-Rodríguez, R., Errasti, M., Ferrer, N., Melo, E.A., Goyos, L., Verhelst, S., *Engine performance of a single cylinder direct injection diesel engine fuelled with blends of Jatropha Curcas oil and standard diesel fuel*. Renewable Energy and Power Quality Journal, 2013. **10**(11): p. 5-10.
45. Errasti, M., Piloto-Rodríguez, R., Frontela, N., Melo, E.A., de Dios, A.W., Goyos, L., *Caracterización de un motor diesel trabajando con mezclas de aceite de Jatropha y combustible diesel*. Energética, 2013. **34**(3): p. 198-207.
46. Chitue-de-Assunção-Nascimento, J., Lafargue-Pérez, F., Díaz-Velázquez, M., Barrera-Vaillant, M., Marrero-Delange, D., Varela-Hernández, K., *Análisis cromatográfico del aceite vegetal de Jatropha curcas L. crudo y refinado*. Revista Cubana de Química, 2013. **25**(2): p. 143-149.
47. Rodríguez, P.A., Zumalacarregui, L., Perez, O., Piloto-Rodríguez, R., Melo-Espinosa, E.A., *Life cycle assessment of biodiesel from Jatropha Curcas L oil. A case study of Cuba*. Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization and Environmental Effects. doi.org/10.1080/15567036.2018.1487479, 2018.
48. Ortiz-Alvarez, M., Piloto-Rodríguez, R., Rodríguez, P.A., *Análisis de ciclo de vida de biodiesel de Jatropha curcas*. Convención Científica de Ingeniería y Arquitectura, 2018: La Habana.
49. Rodríguez, P., Goyos, L., Piloto-Rodríguez, R., Zumalacarregui, L., Pérez, O., Ometto, A., Lombardi, G., *Impacto medioambiental del aceite de Jatropha curcas utilizado como biocombustible*. Ingeniería Química, 2014. **4**(44): p. 33-40.
50. Corvea, D., Rodríguez, P., *Cálculo del impacto medioambiental de la producción de biocombustibles derivados del aceite de Jatropha curcas*. Revista Cubana de Ingeniería, 2013. **4**(1): p. 51-58.
51. Muto, D., González, E., Hernández, G.D., Mino, J.E., González, I., *Inversiones en biodiesel de aceite de palma africana para el reciclado de aluminio en Cabina, Angola*. Revista Científica Visión de Futuro, 2018. **22**(2): p. 71-90.
52. Piloto-Rodríguez, R., Melo, E.A., Goyos, L., Verhelst, S., *Conversion of by-products from the vegetable oil industry into biodiesel and its use in internal combustion engines: a review*. Brazilian Journal of Chemical Engineering, 2014. **31**(2): p. 287-301.
53. Piloto-Rodríguez, R., Díaz, Y., Melo, E.A., Rodríguez, P., *Biodiesel a partir de desechos de la industria de refinación de aceites vegetales*, 2016. ISBN 978-959-261-496-3.
54. Piloto-Rodríguez, R., Díaz, Y., Melo-Espinosa, E.A., Sanchez-Borroto, Y., Goyos, L., Lapuerta, M., *Conversion of fatty acid distillates into biodiesel: engine performance and environmental effects*. Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization and Environmental Effects, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1080/15567036.2019.1587085>.
55. Melo-Espinosa, E.A., Piloto-Rodríguez, R., Sanchez-Borroto, Y., Verhelst, S., *Effect of emulsified fuels based on fatty acid distillates on single cylinder diesel engine performance and exhaust emissions*. Applied Thermal Engineering, 2017. **120**: p. 187-195.
56. Melo-Espinosa, E.A., Piloto-Rodríguez, R., Van der Meeren, P., Denon, Q., Balcaen, M., Verhelst, S., *Emulsified fuels based on fatty acid distillates and rapeseed oil: A physicochemical characterization*. Fuel, 2016. **185**: p. 734-742.
57. Bárzaga, J., Rodríguez, Y., Mena, E.R., Beltrán, R., Lorente, L.L., *Utilización de la planta Jatropha Curcas como energía renovable para el desarrollo ambiental y sostenible de una finca en la provincia Granma, Cuba*. Infociencia, 2015. **9**: p. 67-71.
58. Pfeil, M., Piloto-Rodríguez, R., Díaz, Y., Sanchez-Borroto, Y., Melo-Espinosa, E.A., Denfeld, D., Pohl, S., *Data on the thermochemical potential of six Cuban biomasses as bioenergy sources*. Data in Brief, 2020: p. 105207.

59. Piloto-Rodríguez, R., Tobío, I., Ortiz-Alvarez, M., Díaz, Y., Konradi, S., Pohl, S., *An approach to the use of Jatropha curcas byproducts as energy source in agroindustry*. Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization and Environmental Effects, 2020. DOI: 10.1080/15567036.2020.1749192.
60. Tobío-Pérez, I., Díaz, Y., Pfeil, M., Denfeld, D., Piloto-Rodríguez, R., Pohl, S., *Simulation of the biomass gasification process from Jatropha curcas and Dichrostachys cinerea*, 2020. 591: p. 217-224.
61. Pfeil, M., Tobío-Pérez, I., Denfeld, D., Díaz, Y., Pohl, M., Piloto-Rodríguez, R., *Characterization and assessment of Jatropha curcas and Moringa oleifera husk and their potential use in gasification*. Energy, Ecology and Environment, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40974-020-00179-x>.
62. Sanchez-Borroto, Y., Tobío-Pérez, I., Romero-Lopez, T.J., Díaz-Dominguez, Y., Melo-Espinosa, E.A., Piloto-Rodríguez, R., *Evaluación de las condiciones experimentales básicas para la producción de biomasa a partir de la microalga Chlorella vulgaris*. Afinidad. Revista de química teórica y aplicada, 2018. **585**: p. 63-69.
63. Sánchez-Borroto, Y., Lapuerta, M., Melo-Espinosa, E.A., Bolonio, D., Tobío-Pérez, I., Piloto-Rodríguez, R., *Green-filamentous macroalgae Chaetomorpha cf. gracilis from Cuban wetlands as a feedstock to produce alternative fuel: A physicochemical characterization*. Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization and Environmental Effects, 2018. DOI: doi.org/10.1080/15567036.2018.1476931.
64. Chitue-de-Assunção-Nascimento, J., Lafargue-Pérez, F., Rodríguez-Martínez, C., Díaz-Velázquez, M., García-Rodríguez, J.L., *Comportamiento reológico de una biograsa de aceite vegetal de Jatropha curcas L y jabón de litio*. Tecnología Química, 2013. **33**(2): p. 1-6.
65. Rodríguez-Martínez, C., Lafargue-Pérez, F., Sotolongo-Pérez, J.A., Rodríguez-Poveda, A., Chitue de Assuncao Nascimento, J., *Determinación de las propiedades físicas y carga crítica del aceite vegetal Jatropha curcas L*. Ingeniería Mecánica, 2012. **15**(3): p. 170-175.
66. García, R., Gómez, C.R., González, E., Villanueva, G., *Planta Piloto, con Fines Experimentales, para la Producción de Biodiesel*. Centro Azúcar, 2011. **38**(1): p. 8-15.
67. García-Prado, R., Pérez-Martínez, A., González-Herrera, I., Villanueva-Ramos, G., González-Suárez, E., *Transferencia de tecnología para producir biodiesel con cachaza en la industria azucarera de Guatemala*. Ingeniería, Investigación y Tecnología, 2017. **20**(1): p. 1-10.
68. Piloto-Rodríguez, R., Ortiz-Alvarez, M., Sotolongo, J.A., Suarez, J., *Supply chain network of Jatropha curcas biodiesel industry based on local production and consumption in Cuba*. Proceedings of NetLog 2021. ISSN: 2595-0738, 2021.

Conflicto de Intereses

El autor declara que no existen conflictos de intereses con otros autores o instituciones.

Contribución del autor

Ramón Piloto Rodríguez. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2583-489>.

Diseño y desarrollo de la investigación.