

# PRODUCCIÓN DE DIÉSEL RENOVABLE MEDIANTE HIDROTRATAMIENTO DE ÁCIDOS GRASOS DERIVADOS DE RESIDUOS ANIMALES

Cristian Arias<sup>2</sup>, Pablo Muñoz<sup>2</sup>, Cesar Casas<sup>1</sup>, Edwin Palacios<sup>1</sup>, Leonardo Mujica<sup>1</sup>, Cristian Hurtado<sup>2</sup>.

1: Universidad de Cundinamarca. Docente Catedrático, Investigador, Fusagasugá, Colombia

2: Universidad de Cundinamarca. Auxiliar de Investigación, Fusagasugá, Colombia

\* [epalaciosy@ucundinamarca.edu.co](mailto:epalaciosy@ucundinamarca.edu.co)

## RESUMEN

A través de este proyecto se pretende generar un biocombustible tipo diésel (energía renovable no convencional) mediante un proceso de producción mejorado, a partir de fuentes biológicas, específicamente los ácidos grasos de residuos grasos animales.

Se pretende dar a conocer de la manera más clara posible las diferentes investigaciones, artículos y patentes sobre la obtención de nuevas alternativas de biocombustible que han sido realizadas en el mundo, centrada y/o con una mayor preferencia en latino América.

Si bien la cantidad de investigaciones o artículos, es bastante extensa se pretende seleccionar los mejores de estos para que así, se pueda conocer las diferencias entre las energías convencionales que son derivadas del petróleo o en su defecto el mismo, con respecto a las energías renovables, vegetal o de residuos grasos animales, también las tendencias relacionadas con la producción de biocombustibles.

Esto con el fin de demostrar que actualmente es posible y se cuenta con la tecnología suficiente, para hacer que estas energías sean más fáciles y menos costosas de producir, y de esta manera lograr la masificación del uso de estas fuentes alternativas de energía.

**Palabras clave:** Energía Renovable, Biocombustibles, Diésel Renovable, Hidrotratamiento, Grasas Animales, Hidrolisis, Catalizadores.

## ABSTRACT

This project aims to generate a diesel type biofuel (non-conventional renewable energy) through an improved production process, from biological sources, specifically fatty acids from animal fatty residues.

It is intended to publicize as clearly as possible the different research, articles and patents on obtaining new biofuel alternatives that have been carried out in the world, focused and / or with a greater preference in Latin America.

Although the amount of research or articles is quite extensive, it is intended to select the best of these so that, in this way, it is possible to know the differences between conventional energies that are derived from petroleum or, failing that, with respect to renewable energies, vegetable or animal fatty waste, also trends related to the production of biofuels.

This in order to demonstrate that it is currently possible and has enough technology, to make these energies easier and less expensive to produce, and thus achieve mass use of these alternative sources of energy.

**Keywords:** Biofuels, Renewable Diesel, Hydro Treatment, Animal Fats, Hydrolysis, Catalysts.

## DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Después de casi un siglo, donde el petróleo ha predominado como fuente de energía y materia prima para la producción de otros productos químicos orgánicos, la demanda de este crudo crece proporcionalmente a las necesidades de la

población. Sin embargo, en el futuro, esta demanda creciente podría causar una reducción continua de yacimientos petrolíferos, obligando a los países petrolíferos a redefinir sus estrategias energéticas y replantear la explotación excesiva del petróleo. Tales preocupaciones han originado numerosas investigaciones sobre alternativas confiables que suplan el uso de los combustibles convencionales, buscando trabajar con una materia prima renovable y abundante en el planeta, para poder disminuir la demanda energética limitada de fuentes petroquímicas.

Como alternativa a los combustibles fósiles, han surgido los biocombustibles, que son provenientes de fuentes renovables como aceites vegetales o biomasa en general. Los primeros tipos de biocombustibles que surgieron se denominaron de "primera generación", o sea, aquellos provenientes de materias comestibles como maíz, caña de azúcar, o aceites vegetales, entre otros. Al igual que los combustibles de primera generación, los combustibles de segunda generación también se producen a partir de materias primas sostenibles, pero, en este caso, estas materias primas no se usan normalmente para el consumo humano. Las materias primas no alimentarias de segunda generación incluyen cultivos leñosos y residuos agroindustriales. Por esta razón, se necesitan tecnologías de conversión avanzadas en el proceso, que es también la razón por la cual los biocombustibles de segunda generación se conocen como "biocombustibles avanzados". El lado positivo de los biocombustibles de segunda generación es la mayor eficiencia, ya que se aprovecha la mayor parte de la materia prima suministrada.

Las características finales del biodiesel dependen de la materia prima utilizada para su procesamiento y generalmente está asociada a la disponibilidad del recurso primario existente en cada país. El costo de este biocombustible dependerá finalmente de la capacidad de la planta de producción, calidad de materia prima utilizada, tipo de alcohol y catalizador. Sin embargo, se puede partir de que el costo de producción dependerá entre el 70% y el 90% del costo de la materia prima.

Este problema técnico del biodiesel que limita las mezclas con el diésel petroquímico es causado principalmente por la formación de sedimentos y nubosidades (hazes) en diferentes etapas del proceso, transporte y el almacenamiento.

Una alternativa para obtener un biocombustible que sea compatible con diésel petroquímico es el hidrotreatmento para obtener diésel renovable o green diésel. Este proceso lo que busca básicamente es saturar por completo la molécula, hidrolizar los triglicéridos y finalmente eliminar el oxígeno presente en los ácidos grasos y así finalmente tener hidrocarburos que se puedan mezclar con el diésel en diferentes proporciones.

En el contexto colombiano, el gobierno ha impulsado el tema de los biocombustibles mediante la implementación de leyes y programas que impulsan su uso con fines energéticos y de transporte. En el documento CONPES 3510 [12] se presentan las directrices orientadas a promover la producción de biocombustibles en Colombia, proponiendo las estrategias a seguir. Dentro de estas estrategias se pueden resaltar: “incorporar los desarrollos previstos del mercado de biocombustibles como una variable para la planeación de la infraestructura de transporte, definir un plan de investigación y desarrollo en biocombustibles, armonizar la política nacional de biocombustibles con la política nacional de seguridad alimentaria y desarrollar acciones específicas para abrir nuevos mercados y diferenciar el producto colombiano en los mercados internacionales”.

También son de suma importancia para nuestro país los planteamientos de proyección, presentados en el PLAN ENERGÉTICO NACIONAL (PEN) 2006-2025 [13], en donde se propone elementos que sirven de orientación para la toma de decisiones del sector energético nacional con una perspectiva a largo plazo.

En primer lugar, para este proyecto se usará una materia prima de bajo costo, las grasas de origen animal provenientes de plantas de sacrificio del departamento de Cundinamarca. Estas grasas tienen alta disponibilidad comercial e industrial. Actualmente el uso que se le da a esta materia prima es principalmente en la elaboración de jabones, la cual es una aplicación de bajo valor agregado. Al hacer uso de esta materia prima se estaría afectando positivamente la rentabilidad del proceso de hidrotreatmento. Otro de los costos que se debe reducir es el de los costos de operación. El proceso que se propone involucra una etapa previa de hidrólisis de las grasas, con el fin de obtener ácidos grasos. Estos ácidos grasos se someterán a hidrotreatmento para obtener el diésel renovable.

Finalmente este proyecto busca estar enlazado con la dinámica energética del país y las proyecciones a futuro, en donde se busca obtener biocombustibles de alta calidad y propuestas con un alto componente innovativo, en el que se busque ampliar la canasta de la materia prima para los biocombustibles y obtener procesos auto-sostenibles, íntegros y económicos. Específicamente se buscará mejorar la economía del proceso e impulsar este tipo de tecnologías que ayudan a aminorar las consecuencias del cambio climático, la dependencia que se tiene frente al petróleo y la seguridad energética para el país.

## INTRODUCCIÓN

La grasa animal que se desecha producto del tratamiento o acondicionamiento de la explotación pecuaria constituye una materia prima de bajo costo y con alta disponibilidad en el departamento de Cundinamarca. De

acuerdo a la información reportada en la literatura científica y técnica se pueden obtener biocombustibles tipo diésel por reacciones de hidrotreatmento, a partir de aceites vegetales, grasas animales. La investigación propuesta presentará un componente novedoso partiendo desde los ácidos grasos de residuos grasos animales buscando con esto: a) reducir tiempos de reacción comparado con los procesos convencionales; b) reducir gastos de energía en el proceso, debido a que se pueden tener condiciones de reacción menos drásticas que los procesos de hidrotreatmento convencionales; c) minimizar el consumo de hidrógeno en el hidrotreatmento; d) el producto obtenido se puede categorizar como un nuevo biocombustible para realizar mezclas con combustibles comerciales tipo diésel que actualmente se emplean en el país y complementarían o reemplazarían el empleo de biocombustibles como el biodiesel (Metilésteres de ácidos grasos).

El desarrollo del proyecto se realizará en cinco etapas:

- Inicialmente se realizará la selección de la materia prima a partir de una revisión previa a nivel departamental de los residuos grasos animales de acuerdo a su impacto ambiental, oferta y disponibilidad. La materia prima seleccionada será caracterizada y acondicionada de acuerdo a los requerimientos del proceso.
- En una segunda etapa se separaran los ácidos grasos de la grasa animal empleando un proceso de hidrólisis ampliamente trabajado en la literatura científica e industrial:
- En una tercera etapa se realizará un diseño experimental factorial multinivel para evaluar las reacciones de hidrotreatmento de los ácidos grasos obtenidos en la etapa de hidrólisis, empleando un catalizador comercial de molibdeno modificado con azufre.

- En una cuarta etapa, se determinará el grado de acondicionamiento necesario para obtener un biocombustible que cumpla con las especificaciones de calidad de un combustible tipo diésel o sus mezclas con productos tipo diésel comerciales, de acuerdo a normatividad nacional e internacional vigente.
- Finalmente, se desarrollará el diseño y la implementación de un prototipo de planta experimental para la obtención de diésel renovable, además de un estudio de mercado para identificar el potencial de mercado a explotar más allá de la temporalidad del proyecto.

## METODOLOGIA

El proyecto tiene su enfoque en la producción y síntesis de biodiésel a partir de residuos grasos. En la figura 1 se observa una descripción simple de la metodología utilizada.

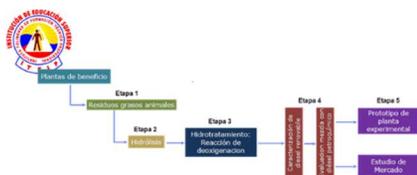


Figura 1. Esquema general de la metodología

A continuación se describen por objetivo específico las actividades planteadas.

1. Seleccionar y caracterizar la materia prima más adecuada para este proceso que esté disponible como residuo en el departamento de Cundinamarca.

### Primera Etapa

Se realiza la selección de la materia prima, teniendo en cuenta aspectos como propiedades, impacto ambiental, oferta y disponibilidad. La cual será luego caracterizada según los requerimientos con sus respectivos métodos de ensayo: Índice de Yodo (ASTMD-5554), Índice de Saponificación (ASTM D-5558), Porcentaje de acidez (ASTM D-1980), Material insaponificable (ASTM D-1965), Humedad

(ASTM D-4377) y Composición de ácidos grasos (Cromatografía CG-MS).

2. Determinar las mejores condiciones de síntesis para la obtención de los ácidos grasos mediante hidrólisis de residuos grasos animales.

### Segunda Etapa

Se realiza la transformación de los residuos grasos animales (Triglicéridos) a ácidos grasos y glicerol. El proceso experimental para la hidrólisis de las grasas animales se realiza a partir de condiciones tomadas de la literatura [80–83]. La reacción se realizara en un reactor batch de alta presión por 30 minutos, con temperaturas entre 200 a 400 °C y manejando una presión autógena que no debe ser mayor a 100 bares. La reacción se muestra en la figura 2.

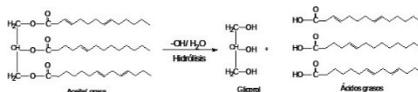


Figura 2. Hidrólisis de grasas/aceites.

Los productos también se caracterizan según los índices de la etapa 1.

3. Sintetizar y evaluar el desempeño de catalizadores para la producción de hidrocarburos tipo diésel mediante el hidrot ratamiento de los ácidos grasos derivados de residuos animales.

### Tercera Etapa

Con el fin de realizar el proceso mejorado de hidrot ratamiento, se realizan reacciones de desoxigenación, empleando como materia prima los ácidos grasos de la anterior etapa (Figura 3).

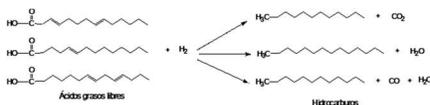


Figura 3. Hidrot ratamiento de ácidos grasos

Como catalizador se empleara Níquel-Molibdeno, el cual es comercial y esta soportado en sílice y modificado con azufre.

Para estudiar la reacción de desoxigenación, se evaluará un diseño experimental factorial 3<sup>3</sup>

que incluye la modificación de 3 variables de entrada.

Variab les de entrada: Temperatura (tres niveles), Presión (tres niveles) y Tiempo (tres niveles).

Total experimentos: 54 se incluyen los duplicados

Variab le de salida: Conversión y Pureza del biocombustible obtenido. Los cuales se estimarán a partir de cromatografía gaseosa.

Con esto se busca reducir gastos de energía del proceso debido a condiciones de reacción menos drásticas (menor presión, temperatura y tiempo), reducir consumo de hidrogeno y categorizar como un nuevo biocombustible no isomerizado para realizar mezclas con combustibles comerciales tipo diésel que se emplean en el país.

4. Analizar las propiedades de los biocombustibles tipo diésel obtenidos.

El producto obtenido de esta etapa de desoxigenación será caracterizado mediante la medición de índices claves de calidad de combustibles como los que se presentan en la siguiente Tabla 6 de acuerdo a la tabla 3C resolución 90963 del 10 de septiembre de 2014 que rige en el país:

5. Determinar el grado de mezcla para la producción de un biocombustible a partir de diésel y diésel renovable cuyas propiedades se encuentren dentro de las especificaciones de calidad establecidas en la normativa nacional.

### Cuarta etapa

De acuerdo a los resultados de la caracterización realizada en la etapa anterior se harán al menos 5 mezclas de los productos obtenidos con diésel comercial (B2, B5, B8, B10 y B20) para comparar la variación en las propiedades del combustible mezclado. La caracterización de estas mezclas se hará de acuerdo a los parámetros de calidad con sus respectivos métodos de ensayo : Azufre máximo (ASTM D4294), número e índice de cetano mínimo (ASTM D613), contenido de biocombustible máximo, Corrosión al cobre (ASTM D130), Gravedad API (ASTM D4052, ASTM D1298),

Aguas y Sedimentos (ASTM D1796 ó ASTM D2709), punto de fluidez máximo (ASTM D 97 ó D5949), Punto de inflamación, Cenizas (ASTM D 482), Estabilidad térmica (ASTM D 6468) y Estabilidad de oxidación (ASTM D 2274), entre otros.

6. Diseñar un prototipo de planta experimental para la producción de diésel renovable a partir de residuos grasos.

7. Realizar estudio de mercado que permita establecer el potencial de mercado a explotar más allá de la temporalidad del proyecto.

### Quinta etapa

- Recolección de Información. Análisis del estado del arte (Publicaciones arbitradas), análisis del Estado de la Técnica (Búsqueda de Patentes), búsqueda de antecedentes, caracterización de RSO, plaza de Mercado Fusagasugá.
- Diseño e implementación del prototipo Planta experimental para Producción de diésel renovable mediante hidrotreatmento de ácidos grasos derivados de residuos animales, con miras a postulación de modelo de utilidad ante la SIC (Desarrollo de Hardware y de Software).
- Verificación y Validación del Prototipo a partir de realización de pruebas de desempeño y análisis de los parámetros de calidad del producto final, de acuerdo a la normatividad vigente.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Tendencias en producción de ácidos grasos por el proceso de hidrotreatmento

El biodiesel o diésel verde como energía renovable, que se presenta como alternativa del diésel convencional a base de crudo de petróleo, se convierte en un biocombustible impórtate para la vigilancia de publicaciones, enfocada en los procesos utilizados para su elaboración,

desarrollos tecnológicos, avances de innovación para mejorar la calidad del producto y posibles nuevos subproductos en su proceso de producción.

En los desarrollos del biocombustible encontramos que México es uno de los principales países dedicados a la investigación del desarrollo del mismo, junto con Colombia y España. En la Figura 4 observamos el comportamiento que las publicaciones sobre la producción de biodiesel, el cual presenta unos periodos de un alto número de publicaciones cada 2 años aproximadamente además de tener un promedio del 2010 al 2018 de 1 a 2 artículos por año de publicaciones o artículos relacionados con el diésel renovable y sus procesos de elaboración.

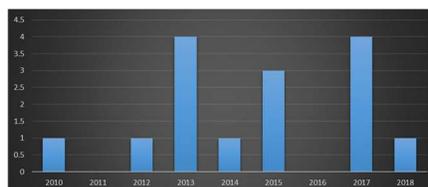


Figura 4. Dinámica de publicaciones en artículos para producto. 2010-2018

La dinámica de publicaciones nos ayuda a identificar el potencial de desarrollo tecnológico del producto, ya que podemos observar la actividad por periodos que ha tenido la investigación del proceso para obtener biodiesel.

En la Figura 5 tenemos la participación en la publicación de desarrollo de biodiesel de los principales países, que han desarrollado investigaciones sobre la producción de este biocombustible. México encabeza el índice de participación con un 53% de las publicaciones de este campo, seguido por Colombia con un 27% y España con el 13%.

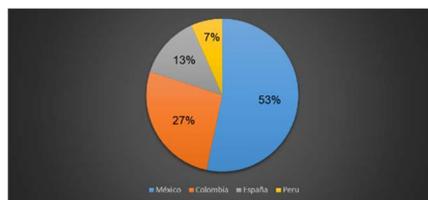


Figura 5. Participación de los países líderes en publicaciones en artículos para producto. 2011-2018

La tabla 1 enseña el perfil de los principales

temas de interés o clúster de investigación, en el clúster 1, se caracteriza por mostrar producto obtenido después del proceso de hidrotreatmento, el cual es Biodiesel o diésel verde, ya que hay publicaciones que enfatizan la producción de diésel tradicional con el proceso.

El clúster dos expone la dinámica de publicaciones en las cuales se utiliza un catalizador NiMo (Níquel-Molibdeno) o CoMo (Cobalto-Molibdeno) soportado en zeolitas o alúmina los cuales son los más comúnmente usados para la producción de biodiesel, también describen otros catalizadores no tan comunes.

El clúster tres se enfoca en la identificación de las temperaturas utilizadas en el proceso de producción de biodiesel, en este podemos observar que está separado en rangos de temperatura menor a 200°C de temperatura, son común mente asociados a la materia prima utilizada que en este caso serían los aceites vegetales y aceites reutilizados para la producción del biocombustible, en los rangos de temperatura superiores a 200°C vemos que son más relacionados a materias primas como lo serian grasas extraídas de origen animal y crudo de petróleo.

Los siguientes dos clúster que son los finales están enfocados en ver las materias primas utilizadas generalmente, entonces en el cuarto clúster vemos que en 4 investigaciones se relaciona la producción de biodiesel a las grasas de origen animal, y en el quinto y último clúster está dirigido a la producción de Diesel verde con materia prima vegetal o aceites vegetales.

