

REPÚBLICA DE CUBA
MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR
UNIVERSIDAD DE CIENFUEGOS
FACULTAD DE INGENIERÍA



TRABAJO DE DIPLOMA EN OPCIÓN AL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO

TÍTULO

IMPACTO DEL USO DE COMBUSTIBLE ALGAL EN MOTORES DIÉSEL

Autor: Frederico António Canjeke

Tutores:

Dr.C. José P. Monteagudo Yanes. (CEEMA) UCf.

MSc. Reinier Jiménez Borges. (CEEMA) UCf.

Ing. Andrés Lorenzo Álvarez González. (CEEMA) UCf.

62 años de la Revolución

2019/2020

CIENTFUEGOS 2020.

DECLARACIÓN DE AUTORIDAD UNIVERSIDAD DE CIENTFUEGOS



Sistema de Documentación y Proyecto.

Hago constar que el presente trabajo constituye la culminación de los estudios en la especialidad de Ingeniería Mecánica en la Universidad de Cienfuegos, autorizando a que el mismo sea utilizado por el Centro de Estudio Superior para los fines que estime conveniente, ya sea parcial o totalmente, que además no podrá ser presentado sin la aprobación de dicha institución.

Firma del autor.

Los abajo firmantes certificamos que el presente trabajo ha sido según acuerdo de la dirección del centro y el mismo cumple los requisitos que debe tener un trabajo de esta envergadura, referido a la temática señalada.

Información Científico Técnico

Nombre y Apellidos. Firma.

Vice Decano.

Firma del Tutor

Nombre y Apellidos. Firma.

Sistema de Documentación y Proyecto.

Nombre y Apellido. Firma.

Pensamiento

“Nunca consideres el estudio como una obligación, sino como una oportunidad para penetrar en el bello y maravilloso mundo del saber. ”

Albert Einstein

Dedicatoria

A mi familia, cuyo sacrificio, dedicación y amor me convirtieron en el hombre que soy. Gracias a todos.

A mi hermano y mi papá, por ser la motivación para superarme cada día.

Agradecimiento

Primero lugar gracias Papá de los cielos por concedernos vida hasta ahora, a mis tutores Dr.C. José P. Monteagudo Yanes, MSc. Reinier Jiménez, y Ing. Andrés Lorenzo Álvarez González. Sin olvidar la gente de Relaciones Internacionales por todo lo que tienen hecho por mí, especialmente a la Lic. Lázara Pérez Clemente, Juan Carlos y Lurdes Pomares, por su guía durante todo este largo proceso, muchas gracias por sus pertinentes consejos.

A mi familia por todo su apoyo durante mis estudios.

A mi novia Brenda María Díaz Vilches y su familia en general por su apoyo incondicional, amor y paciencia.

Agradezco la oportunidad que me fue dada por la nación Angolana, sin olvidar a Cuba por el cariño y esfuerzo que nos brinda en todos momentos.

A mis amigos y compañeros por estar a mi lado sin importar las circunstancias.

A todos los profesores de la carrera quienes me guiaron hasta este día.

En general a todas esas personas que hicieron posible este resultado.

Resumen

Este trabajo de investigación se centra en el uso de biocombustible como alternativa a los combustibles fósiles, que, a pesar de los contrastantes descubrimientos a lo largo de los años de nuevos yacimientos de estos, no es sorpresa para nadie que las reservas de combustible fósiles son limitadas, producirlo ha tardado millones de años y se consumen a un ritmo mucho mayor del que se produce. De manera específica estudia las potencialidades de las microalgas como materia prima para la obtención de biocombustibles, puesto que estas suponen una alternativa a los cultivos agrarios oleaginosos, como Colza, Palma Africana, Jatropha Curcas (Piñón), Ricinos Communis (Higuerilla), Mostaza (Brassica nigra), los cuales son capaces de proliferar en suelos áridos, pobres en nutrientes, con altos niveles de radiación y baja precipitación pluvial, que actualmente se destinan a la producción de biocombustibles. A esto se suma que evitan la competencia alimentaria y la competencia por terrenos de uso agrario.

Palabras Claves: Biodiesel Algal, Biocombustible, Microalgas, Impacto Medioambiental y motor Diésel, Seguridad Alimenticia.

Abstract

This research work focuses on the use of biofuel as an alternative to fossil fuels, which, despite the contrasting discoveries over the years of new deposits of these, it is no surprise to anyone that fossil fuel reserves are Limited, it has taken millions of years to produce and is consumed at a much higher rate than it is produced. Specifically, it studies the potential of microalgae as a raw material for obtaining biofuels, since they represent an alternative to oilseed agricultural crops, such as Colza, Palma Africana, Jatropha Curcas (Piñón), Ricinos Communis (Higuerilla), Mustard (Brassica nigra), which are capable of proliferating in arid, nutrient-poor soils with high levels of radiation and low rainfall, which are currently used for the production of biofuels. In addition, they avoid food competition and competition for land for agricultural use.

Key Words: Biodiesel Algal, Biofuel, Microalgae, Environmental Impact and Diesel engine, Food Safety.

Contenido

Resumen	VI
Abstract	VII
Introducción	1
Problema científico:	2
Hipótesis:	2
Objetivo general:	2
Objetivos específicos:	2
CAPÍTULO 1 - Estado actual y tendencias en el uso del combustible algal como sustituto del combustible fósil destinado a motores diésel en el transporte automotor	3
1.1 - Estado actual y tendencias en el uso de combustible fósil para el transporte automotor diésel. Estadísticas mundiales y nacionales.	4
1.2 - Actual y tendencias en el uso de biocombustible como sustituto del combustible fósil en motores diésel. Estadísticas mundiales y nacionales.	7
1.3 - Situación actual del uso de biocombustibles.	7
1.4 - Biocombustibles	8
1.4.1 - Generación Cero.	8
1.4.2 - Primera Generación	9
1.4.3 - Segunda Generación	9
1.4.4 - Tercera Generación	9
1.4.5 - Cuarta Generación.	10
1.5 - Beneficios y limitaciones de los biocombustibles	11
1.5.1 - Beneficios socioeconómicos	11
1.5.2 - Beneficios medioambientales.	11
1.6 - El consumo de biodiésel.	13
1.7- Estadísticas mundiales y nacionales.	17
1.8 - Papel de la microalga en la obtención de biocombustible, análisis comparativos con otras fuentes de suministro de biodiesel. Comportamiento de las estadísticas a nivel mundial	21
1.8.1 - Las microalgas	21
1.8.3 - Ventajas del biodiesel	23
1.8.4 - Desventajas del biodiesel.	24
1.8.5 - Biodiesel de Algas.	24

1.9 - TIPOS DE SISTEMAS PARA PRODUCCIÓN DE MICROALGAS	25
1.9.1 - Sistemas Cerrados.	25
1.9.2 - Sistemas Abiertos.....	28
1.9.3 - Esperanza de sustitución de combustible diésel fósil por parte de los biocombustibles y en particular de las microalgas.	30
1.10 - Características físico químicas de obtención de microalgas o siembras (plantaciones) de microalgas destinada a la producción de combustible algal. .	31
1.10.2 - Producción biodiesel y bioetanol	1
CONCLUSIONES PARCIALES - 1	3
CAPÍTULO 2 - Anteproyecto de planta de laboratorio para la obtención de biocombustible a partir de microalgas.	1
2.1 - Definición de los tipos de microalgas nacionales con mejores potencialidades para la producción de biocombustible.	2
CONCLUSIONES PARCIALES - 2	15
CAPÍTULO 3 - Valoración preliminar del uso del biocombustible en motores diésel del transporte automotor cubano.....	16
3.1 - Estado actual y tendencias del uso de biocombustible obtenidos de las microalgas en el comportamiento técnico de los motores diésel.	17
CONCLUSIONES PARCIALES - 3	38
CONCLUSIONES GENERALES.....	39
RECOMENDACIONES	40
BIBLIOGRAFÍA	41
ANEXOS	46

Introducción

La búsqueda de combustibles alternativos y la reducción del impacto ambiental es cada vez más importante debido a factores económicos y medioambientales. La naturaleza no renovable de las reservas de combustibles fósiles y el cambio climático han suscitado preocupaciones sobre la seguridad energética, generando interés en la utilización de energías renovables como los biocombustibles (Acosta et al., 2009).

Estudios previos de biocombustibles, han demostrado la capacidad de algunos alimentos (aceite de soya y palma) para la producción de biodiésel, sin embargo, existe el debate sobre la factibilidad de utilizarlos para la obtención de energía, ya que podría ser una competencia directa con el uso de recursos para la alimentación humana y animal. En este sentido, en México la Ley de Promoción y Desarrollo de Bioenergéticos establece las normas en temas de producción y comercialización de insumos y permisos para el uso de maíz en los bioenergéticos.

El biodiésel ha surgido como una alternativa viable para sustituir el diésel derivado del petróleo (Taher et al., 2014), puesto que presenta varias ventajas por su biodegradabilidad y mínima toxicidad, además, su combustión produce menores emisiones de sulfatos, compuestos aromáticos, dióxido de carbono, monóxido de carbono, humo; hay más oxígeno libre que conduce a una combustión completa y emisiones reducidas (Omar S. Castillo, 2017)

Actualmente los métodos desarrollados se basan en fundamentos físicos y químicos para lograr la extracción; así mismo es importante mencionar los métodos de pretratamiento de la biomasa microalgal, utilizados conjuntamente a los métodos de extracción, que están orientados a alcanzar un mayor rendimiento de aceite. (Pérez, 2012)

El uso de aceite vegetal como combustible no es una idea nueva, cuando Rudolf Diésel inventó el motor diésel original en la década de 1890, se diseñó para trabajar con una amplia gama de combustibles, incluyendo los aceites vegetales; a partir de la década de 1900, los motores diésel fueron adaptados para funcionar principalmente con petrodiesel, un combustible más barato, no obstante, durante

la crisis energética de la década de 1970, los investigadores comenzaron a reconsiderar los combustibles de aceite vegetal y encontraron un método sencillo para convertir aceite vegetal en un útil combustible diésel.

Problema científico:

El transporte automotor resulta un alto consumidor de combustible diésel fósil y es una de las principales vías de contaminación ambiental en las grandes ciudades.

Hipótesis:

El uso de biocombustible proveniente de microalgas debe propiciar una reducción del impacto ambiental de los motores diésel utilizados en el transporte automotor y debe contribuir a la sustentabilidad de la economía cubana.

Objetivo general:

Realizar el análisis de factibilidad técnica y económica del uso de combustible algal en los motores de combustión interna diésel y valorar su efecto en las características externa del motor y el impacto ambiental.

Objetivos específicos:

1. Resumir el estado actual y tendencias de desarrollo de los biocombustibles provenientes de cultivos alimenticios y las algas. Tendencias internacionales. Efecto energético, ambiental y económico.
2. Desarrollar anteproyecto teórico de micro planta experimental para la obtención de biodiesel a partir de microalgas.
3. Valorar el efecto del uso del biocombustible procedente de las microalgas en los motores diésel.
4. Evaluar preliminarmente el efecto económico del uso del biocombustible en la economía cubana.

**CAPÍTULO 1 - Estado actual y tendencias en el uso del
combustible algal como sustituto del combustible fósil destinado
a motores diésel en el transporte automotor**

1.1 - Estado actual y tendencias en el uso de combustible fósil para el transporte automotor diésel. Estadísticas mundiales y nacionales.

El transporte es una de las causas principales de los impactos negativos al medio ambiente, debido a las repercusiones ambientales en las zonas urbanas, en aspectos nocivos para la flora y fauna; pero el más importante son las afectaciones a la salud humana, derivadas de las necesidades de movilidad a través de medios automotores, cuyos efectos están relacionados con las emisiones contaminantes y el ruido, generados por la operación vehicular.

Combustibles fósiles, emisiones de CO₂ y cambio climático

Según la Agencia Internacional de la Energía (IEA, 2013) en 2011:

- La combustión de combustibles fósiles supuso la emisión a la atmosfera de 31 342 millones de toneladas de CO₂.
- La contribución en porcentaje del carbón, petróleo y gas natural y otros (residuos industriales y no renovables), se puede apreciar en la Figura 1.1.

Contribución en por ciento de los combustibles fósiles.

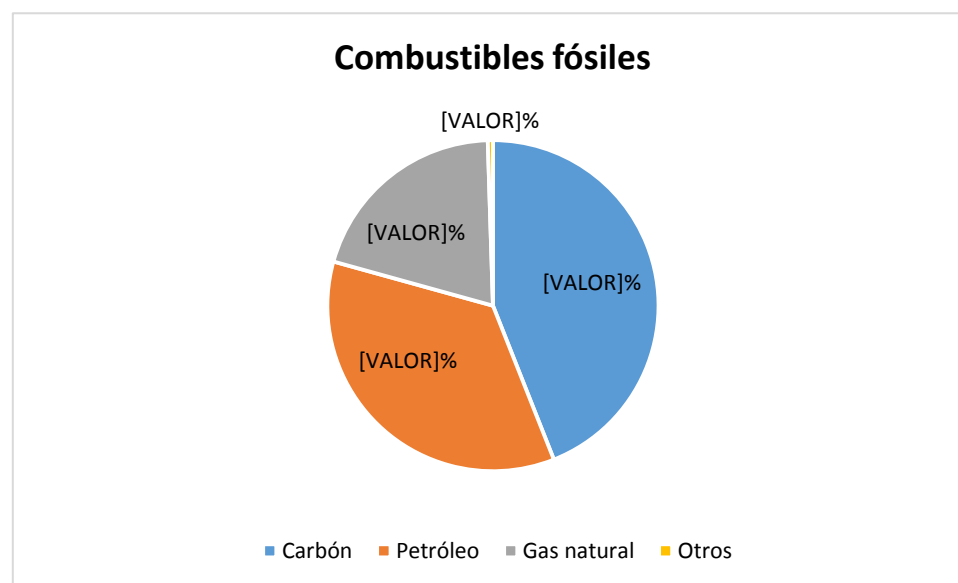


Figura 1.1 - Contribución en porcentaje de combustibles fósiles. (Carpio, 2011)

- Por regiones, las 31 342 millones de toneladas de CO₂ se desglosan según las cifras dadas en la (Figura 1.2) OCDE; China; Asia sin China; países ajenos a la OCDE de Europa y Eurasia; Oriente Medio; las emisiones provocadas por la combustión de combustibles fósiles en la aviación

internacional y el transporte marítimo. Países ajenos a la OCDE de América; África.

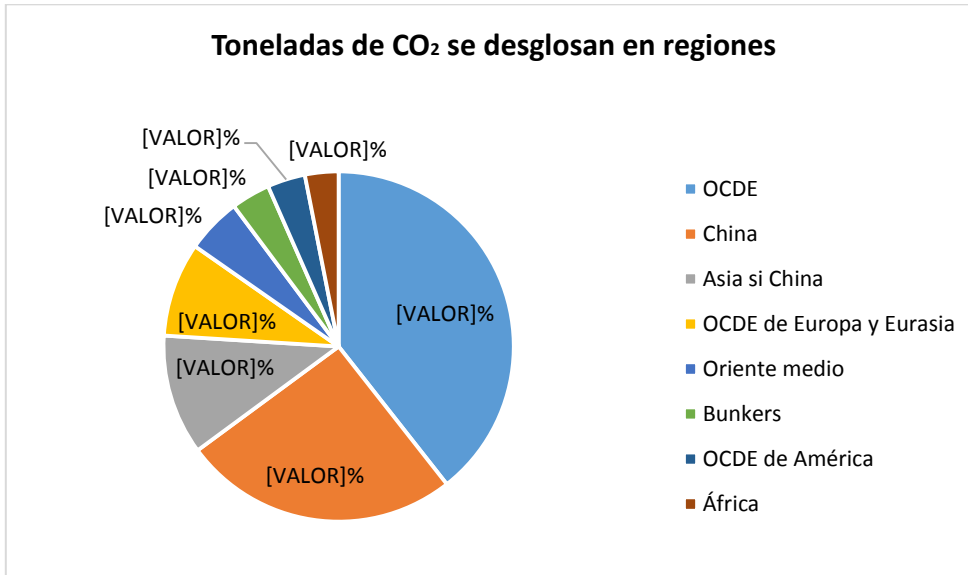


Figura 1.2 - Emisiones de CO₂ (%) por regiones. (Carpio, 2011)

Por otra parte, la Agencia Internacional de la Energía (IEA, 2013) estima que en 2011 las emisiones de CO₂ por sector se distribuyeron (Figura 1.3) Las emisiones de CO₂, por sector están distribuidas como se observa en la Figura 1.3 nos muestra las diferencias entre sectores. (Carpio, 2011)

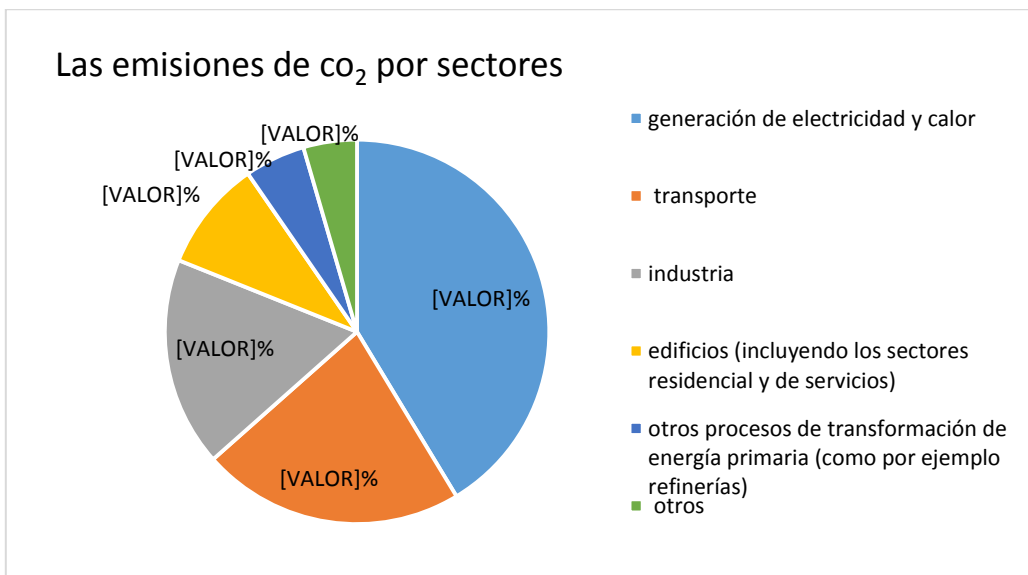


Figura 1.3 - Las Emisiones de CO₂ (%) por sectores. (Carpio, 2011)

Cuba no está de espaldas a esta realidad. Cuba es rica en recursos energéticos renovables y pobre en los no renovables; el sol, el viento, la biomasa (fundamentalmente la procedente de la caña de azúcar) y la hidroenergía son las fuentes a las cuales se les puede apostar con mayor certeza para la diversificación de la matriz energética. Lograr el 100% de autoabastecimiento energético con fuentes renovables de energía es un reto para esta generación.

De acuerdo con las potencialidades de las fuentes renovables de energía, las diferentes tecnologías y aplicaciones en Cuba pueden dividirse en dos grupos:

A. Las fuentes renovables de energía, sus tecnologías y aplicaciones con un mayor desarrollo técnico-comercial, productoras de electricidad y con una mayor aplicación actual en Cuba y el mundo:

- Energía eólica (parques eólicos, pequeños aerogeneradores y molinos de viento para el bombeo de agua).
- Solar fotovoltaica (aislada de la red y conectada a la red).
- Biomasa cañera para producir electricidad.
- Biomasa forestal para producir electricidad.
- Pequeñas hidroeléctricas.
- Biogás para la producción de electricidad.

B. Las fuentes renovables de energía, sus tecnologías y aplicaciones con un mayor desarrollo técnico-comercial que disminuyen los consumos de electricidad, gas y otros portadores energéticos:

- Cogeneración de calor (vapor) de la Industria azucarera.
- Energía solar térmica.
- Molinos de viento para el bombeo de agua.
- Biogás para la cocción de alimentos.
- Biomasa forestal para la cocción de alimentos.
- Biocombustibles para el transporte.

Con este amplio diapasón, no hay dudas de que la meta de 100% con energías renovables es alcanzable; no es un sueño inalcanzable. Por otro lado, no son pocos los años que estiman los países más avanzados para satisfacer esta meta. Se necesita un período de transición donde paulatinamente se vayan

introduciendo estas tecnologías en conjunto con un programa de medidas (ahorro, eficiencia energética y cogeneración) para disminuir la demanda hasta llegar a igualar esta demanda con la energía proporcionada con fuentes renovables de energía. (Figueredo, 2017)

1.2 - Estado actual y tendencias en el uso de biocombustible como sustituto del combustible fósil en motores diésel. Estadísticas mundiales y nacionales.

La participación de las tecnologías energéticas renovables crece a nivel mundial en 20% anual, si se tienen en cuenta todas sus manifestaciones. La mayoría de los países desarrollados invierten sumas millonarias para poner en explotación las diversas fuentes renovables de energía, por ser limpias y sobre todo sostenibles. Los mayores progresos se observan en las energías eólica y fotovoltaica. Avances importantes se aprecian en los biocombustibles y en el empleo de los desechos. Se puede afirmar, por tanto, que en no menos de diez años las fuentes renovables de energía serán las de mayor participación en el balance energético mundial.

1.3 - Situación actual del uso de biocombustibles.

El mundo se encuentra frente a una enorme campaña global, cuyo objetivo es incorporar de la forma más rápida posible diferentes materias primas tales como: caña de azúcar, soya, maíz, colza, remolacha, etc., a la producción de biocombustibles como substitutos perfectos de los derivados de petróleo. Las principales justificaciones encontradas para este fenómeno tienen su fundamento en el calentamiento global y en la contaminación del medio ambiente. (Fabiola & Serna, 2011)

El primer vehículo que emplea biodiesel producido en Cuba, recorrió sin complicaciones sus primeros 1 500 kilómetros. El automotor se desplaza con combustible orgánico obtenido del aceite de "Jatropha curcas", una oleaginosa no comestible conocida popularmente como Piñón, dijo el ingeniero José Sotolongo, director del Centro de Aplicaciones para el Desarrollo Sostenible (Catedes), citado por la Agencia de Información Nacional (AIN). (Agencia de Información Nacional , 2012)

Es necesario recordar lo que han dicho y hecho dos de los padres de la industria automotriz: Sir Rudolph Diésel y Henry Ford. El primero, que creó el motor de diésel en 1893 dijo: “El uso de aceites vegetales como combustibles puede parecer insignificante ahora. Pero estos aceites pueden convertirse con el paso del tiempo en tan importantes como los productos del petróleo o el carbón son ahora”. El primer motor de diésel funcionó con aceite de maní. Por otra parte, según se indicó en 1925 en el New York Times, Henry Ford predijo que el etanol será el combustible del futuro: “Existe combustible en cada partícula de materia vegetal que puede ser fermentable. Existe suficiente alcohol en la cosecha de un año de un acre de papas como para movilizar la maquinaria necesaria para cultivarla por 100 años.” (Chiriboga H. J., 2007)

1.4 - Biocombustibles.

Los biocombustibles son recursos energéticos procesados por el ser humano a partir de materias producidas recientemente por seres vivos, a las cuales se les denomina “biomasa”. Pueden ser líquidos, sólidos o gaseosos, y su finalidad última es liberar la energía contenida en sus componentes químicos mediante una reacción de combustión. Existen varios tipos de biocombustibles, a los cuales se les clasifica de acuerdo al insumo o materia prima y a la tecnología empleada para producirlos. Debido a los avances en la tecnología, esta clasificación se realiza por generaciones. (Maciel, 2009)

1.4.1 - Generación Cero.

Como es sabido, la humanidad ha hecho uso de la biomasa por varios miles de años. El uso directo de la misma sin procesamiento alguno podría constituir una Generación Cero de los biocombustibles, entre los cuales se pueden mencionar a la leña, la paja de trigo, el rastrojo de otras plantas de cultivo, el estiércol del ganado, y el carbón vegetal. No es sino hasta fines del siglo XIX que se comenzó a procesar la biomasa para producir combustibles derivados de la misma. A finales del siglo XX aparecieron los primeros mercados de estos recursos energéticos y se vislumbra un mayor crecimiento, desarrollo y expansión de los mismos tendiente a su globalización. (Maciel, 2009)

1.4.2 - Primera Generación.

Algunos de los insumos son de procedencia agrícola y están conformados por las partes alimenticias de las plantas, las cuales tienen un alto contenido de almidón, azúcares y aceites. Ejemplos de estas materias son el jugo de la caña de azúcar, granos de maíz, jugo de la remolacha o betabel, aceite de semilla de girasol, aceite de soya, aceite de palma, aceite de ricino, aceite de semilla de algodón, aceite de coco, aceite de maní o cacahuate, entre otros. También se emplean como insumos a las grasas animales, grasas y aceites de desecho provenientes de la cocción y elaboración de alimentos, y desperdicios sólidos orgánicos. Las ventajas de estos biocombustibles son su facilidad de procesamiento, sus bajas emisiones de gases de efecto invernadero (excepto en el caso del maíz, donde el balance de estas emisiones es casi nulo) y un balance positivo en dichas emisiones, pero tiene como desventaja el desvío de recursos alimenticios hacia la producción de energéticos. (Maciel, 2009)

1.4.3 - Segunda Generación.

Los insumos son residuos agrícolas y forestales compuestos principalmente por celulosa. Ejemplos de ellos son el bagazo de la caña de azúcar, el rastrojo de maíz (tallos, hojas y olote), paja de trigo, aserrín, hojas y ramas secas de árboles, etcétera.

La ventaja principal en la producción de estos biocombustibles es la inexistencia de desviaciones de alimentos provenientes de la agricultura hacia el sector energético, pero su desventaja es la poca ganancia en disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero durante el procesamiento de los insumos, respecto a los biocombustibles de primera generación. (Maciel, 2009)

1.4.4 - Tercera Generación.

Los insumos son vegetales no alimenticios de crecimiento rápido y con una alta densidad energética almacenada en sus componentes químicos, por lo que se les denomina “cultivos energéticos”. Entre estos vegetales están los pastos perennes, árboles y plantas de crecimiento rápido, y las algas verdes y verde azules. Los procesos de obtención de biocombustibles se encuentran en fase de desarrollo, sin embargo, se ha logrado producir biodiesel y etanol a nivel planta piloto. Las

ventajas de estos biocombustibles son el secuestro de anhídrido carbónico (CO_2) para la producción de los insumos y un balance positivo en la emisión de gases de efecto invernadero, pero su desventaja es la utilización de tierras de cultivo de alimentos para sembrar los insumos, con excepción de las algas verdes. (Maciel, 2009)

1.4.5 - Cuarta Generación.

Los biocombustibles son producidos a partir de bacterias genéticamente modificadas, las cuales emplean anhídrido carbónico (CO_2) o alguna otra fuente de carbono para la obtención de los biocombustibles. A diferencia de las generaciones anteriores, en las que también se pueden emplear bacterias y organismos genéticamente modificados como insumo o para realizar alguna parte de los procesos, en la cuarta generación, la bacteria es la que efectúa la totalidad del proceso de producción de los biocombustibles. Actualmente esta generación de biocombustibles se encuentra en fase teórica, sólo se conoce la posible ruta de síntesis del etanol a partir de anhídrido carbónico, sin embargo, depende totalmente de la información genética de una bacteria artificial y puede tener limitaciones termodinámicas importantes. (Maciel, 2009)

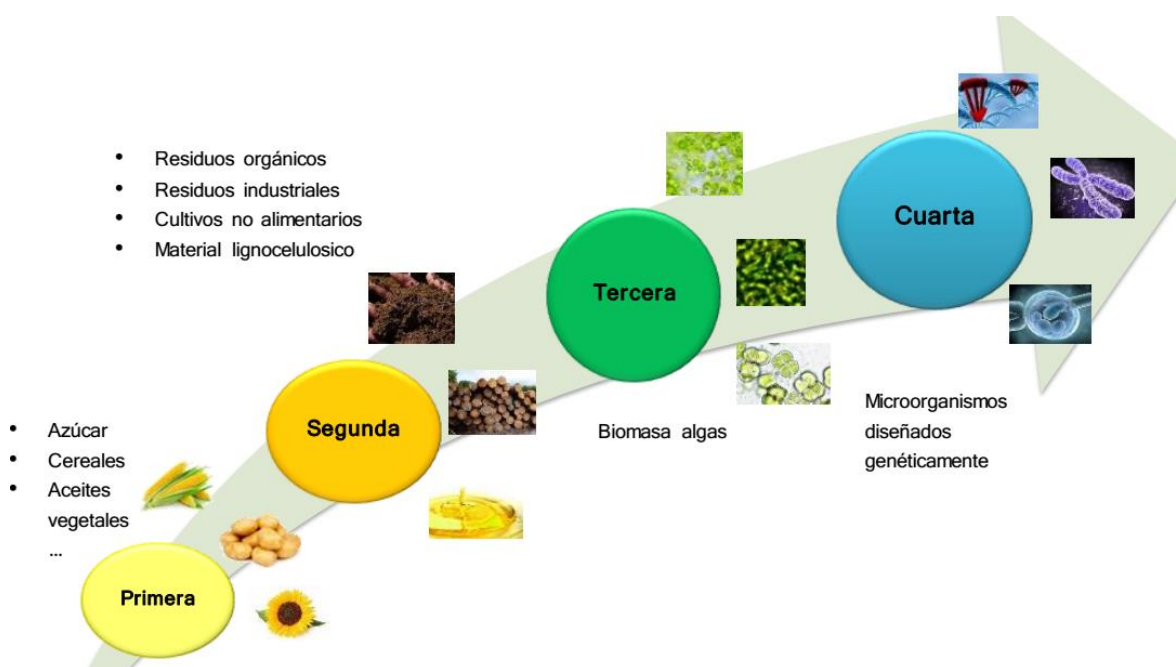


Figura 1.4 - Clasificación de los biocombustibles en función de la naturaleza de la biomasa. (Álvarez, 2019)

1.5 - Beneficios y limitaciones de los biocombustibles.

1.5.1 - Beneficios socioeconómicos.

La valorización de la biomasa lleva consigo la necesidad de generar actividad económica y empleo, ya que la producción de cultivos con fines energéticos es una alternativa atractiva para zonas agrícolas abandonadas. Esto contribuye a la revitalización de las economías rurales, generando empleo al favorecer la puesta en marcha de un nuevo sector agrícola. Además, el uso de biomasa renovable hace de los biocombustibles fuentes inagotables de energía capaces de producirse en cualquier lugar, lo que provoca una menor dependencia y una mayor competencia energética dando lugar a un aumento de la riqueza nacional. En las biorrefinerías, se busca también el uso de residuos para la producción de otros productos que permita el aumento en la rentabilidad de las instalaciones. Todo ello hace que la incorporación de estas nuevas industrias y el desarrollo de los procedimientos necesarios para su funcionamiento, en definitiva, genere conocimiento y permita la transferencia del mismo.

1.5.2 - Beneficios medioambientales.

Los biocombustibles se presentan como una alternativa eficaz para frenar la emisión y acumulación de gases de efecto invernadero y contaminantes a la atmósfera que producen los combustibles fósiles, como son el dióxido y el monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno y azufre, así como otras sustancias nocivas. Además, permiten una reducción del peligro originado por los derrames debido a que son más biodegradables que los de origen fósil. El aprovechamiento de los residuos para la obtención de subproductos hace que el volumen de estos disminuya considerablemente, provocando un ahorro en la gestión y tratamiento de los mismos. Esta disminución de emisiones y residuos causada por el desarrollo de las biorrefinerías provocaría una reducción notable del deterioro ambiental actual, ayudando así a la conservación de la biodiversidad. (Sánchez & Álvarez, 2019)

Actualmente en el mundo se están invirtiendo muchos recursos para investigación, dirigida a minimizar los costos de la materia prima para la obtención de biodiesel (Li *et al.*, 2007), algunos estudios recientes se han inclinado en el uso de semillas

de jatropha y karanja y de microalgas como fuente de lípidos, sin embargo, para que cualquiera de ellas pueda sustituir eventualmente los combustibles fósiles debe tener características como ser competitiva en cuanto a su precio con respecto a los combustibles derivados del petróleo, requerir poca cantidad de suelo y agua, que contribuya a mejorar la calidad del aire (por ejemplo, que en su proceso de producción se utilice CO₂), que exista en cantidad suficiente para que dicha producción tenga un impacto significativo en la demanda y que proporcione una ganancia neta de energía sobre la demandada para producirlo (Demirbas, 2009; Meng *et al.*, 2009). Un aspecto de vital importancia es que el biocombustible obtenido cumpla con las especificaciones de calidad internacionales (ASTM D6751; EN 14214). El uso de microalgas podría cumplir estas condiciones, y por lo tanto, contribuir de manera significativa a la resolución de la demanda de energía primaria y al mismo tiempo, proporcionar beneficios ambientales a través de la captura de CO₂ (Wang *et al.*, 2008; Brennan y Owende, 2010). Las ventajas del uso de microalgas para la obtención de biodiesel ya han sido demostradas, sin embargo, aún no se ha definido una cepa ideal, dada la diversidad de factores que influyen en la productividad de los lípidos y por ende en el costo de producción del biodiesel.

Todavía tenemos una cultura demasiado dependiente de los combustibles fósiles, para los cuales se ha convertido en grande y con respecto a los cuales existen muchos intereses creados. El calentamiento global debe forzar a los gobiernos a invertir más en investigación, especialmente en combustibles de segunda generación, que son los que mayor potencial tienen. Seguiremos dependiendo de los combustibles fósiles por lo menos durante las próximas 2 décadas, en las que se estima que se desarrollarán nuevas tecnologías para la producción de biocombustibles asequibles a precios moderados. Brasil es una excepción, pues ya cuenta con una industria de etanol a partir de caña de azúcar muy estructurada, con una producción de 13,4 millones de metros cúbicos de etanol, que representa alrededor del 40% del combustible utilizado en Brasil en vehículos de combustión interna. (Chiriboga J. H., 2007)

Las algas son unas de las plantas de mayor crecimiento de biomasa, y aproximadamente el 50% de su peso es aceite. De los triglicéridos contenidos en los aceites de las algas se puede obtener biodiesel con la misma tecnología de segunda generación, mediante transesterificación y pirólisis. Las algas podrían producir más de 2 000 galones de aceite por acre por año, en comparación con los rendimientos de la palma de aceite (650 galones por acre por año), la caña de azúcar (450 galones por acre por año), el maíz (250 galones por acre por año) y la soya (50 galones por acre por año); además de no competir con alimentos por suelo ni insumos, su cultivo no necesita agua limpia para su proceso, puede requerir muy poca agua fresca y su consumo no añade emisiones de gases de efecto invernadero. La agencia estatal británica Carbón Trust, que promueve las tecnologías bajas en carbono, pronostica que los biocombustibles de algas podrían reemplazar más de 70 mil millones de galones de combustibles fósiles por año a nivel mundial en el año 2030, que equivalen al 12% del consumo total de gasolina de avión o el 6% del consumo total de diésel en vehículos terrestres. (Rodríguez, 2011)

1.6 - El consumo de biodiésel.

Durante los últimos años, la producción de biocombustibles, principalmente del biodiésel, ha presentado un crecimiento importante a nivel mundial. Durante el período 2000-2013, el crecimiento promedio de la industria fue del 17%, mientras que el del biodiésel fue del 34% y el del etanol del 15% ver Figura 1.5.

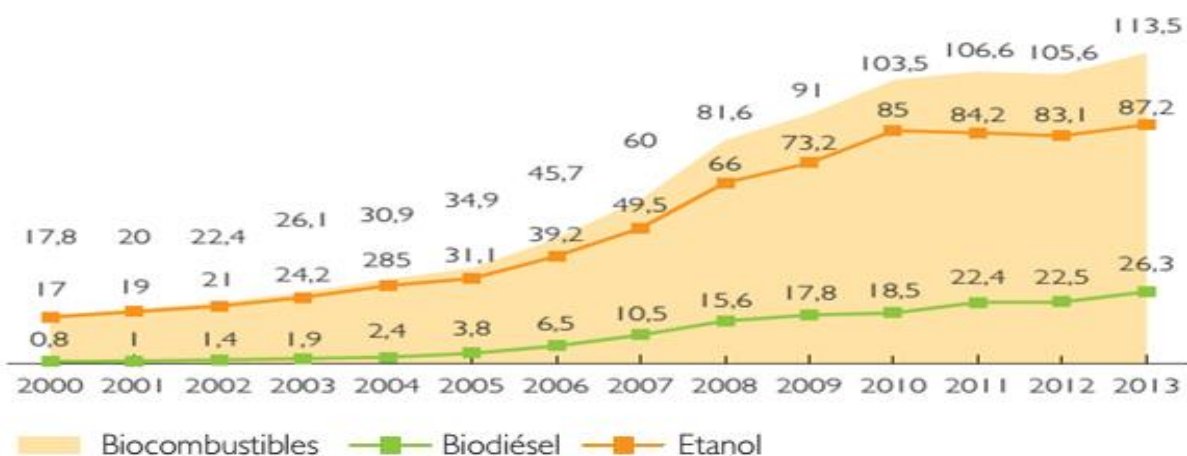


Figura 1.5 - Producción mundial de biocombustible. (Coy, Jurado, Acevedo, & Velásquez, 2015)

La mayor producción de biodiésel en el mundo se da en la Unión Europea. Para el año 2013, esta región aportó aproximadamente el 40% de la producción mundial. No obstante, en cuanto a la cuota de países el mayor productor es Estados Unidos, también se destaca el papel desempeñado por Brasil y Argentina, especialmente en los últimos años. La Unión Europea es líder en términos de desarrollo de la industria de biodiésel y de la cantidad producida a nivel mundial. En esta región, la materia prima que predomina en la producción de biodiésel es el aceite de colza. Aunque se afirma que la participación de la Unión Europea en la producción mundial de biocombustible ha disminuido en los últimos años, Europa sigue manteniendo el liderazgo en producción y consumo. Los inicios de la industria del biodiésel en Europa se remontan a la década de los 80 cuando empezó a hablarse de biocombustibles, especialmente del biodiésel, con el fin de mejorar las condiciones de vida del área rural y de responder a la creciente demanda energética; pero solo hasta mediados de la década de los 90, esta industria empezó a fortalecerse. Las políticas de biocombustibles en Europa están fundamentadas en el desarrollo agrícola, en contrarrestar el cambio climático e incrementar la canasta energética (García & Calderón, 2012). Alemania encabeza la lista de los mayores productores de biodiésel de la Unión Europea, siguen Francia, España e Italia. (Coy, Jurado, Acevedo, & Velásquez, 2015)

En la tabla 2, se muestra la producción de biodiésel de los principales países productores en Europa, iniciando desde el año 2008 y finalizando para el año 2014.

Tabla 1.1 - Principales países productores de biodiésel en la UE. Cifras en millones de litros.							
Año	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014(p)
Alemania	3.250	2.600	3.180	3.400	2.950	3.180	3.180
Francia	2000	2.370	2.260	1.770	1.870	1.930	1.930
Benelux	430	840	910	960	1.360	1.820	1.990

España	280	690	1.040	790	550	670	970
Polonia	310	420	430	410	670	740	740
Portugal	160	290	400	390	370	360	360
Italia	760	900	910	700	330	340	340
Reino Unido	450	400	230	230	320	340	400
Otros	2830	2.540	2.660	2.660	1.695	2.320	2.260
Total	10.470	11.050	12.020	11.310	10.115	11.700	12.170

Fuente: United State Department Agriculture. Foreign Agricultural Service. EU. Biofuels Annual, 2014 (p) pronóstico.

En cuanto a los países, Estados Unidos es la nación que lidera la producción de biodiésel en el mundo. Según U.S. Energy Information Administration – EIA, en el año 2013 este país produjo 1 359 millones de galones frente a los 991 millones de galones que se registraron en el 2012 (ver tabla 1.2). Para estimular el sector de biodiésel, Estados Unidos ha establecido subsidios a la producción, protección a las importaciones, financiamiento en investigaciones, inversiones en infraestructura, vías de transporte y construcción.

Tabla 1.2 - Producción de biodiésel en Estados Unidos año 2013. Cifras en millones de galones.	
Mes	Producción mensual B100
Enero	69
Febrero	70
Marzo	101
Abril	107
Mayo	111
Junio	113
Julio	129
Agosto	130
Septiembre	127
Octubre	137

Noviembre	129
Diciembre	135
Total	1.359

Fuente: U.S. Energy Information Administration. Monthly Biodiesel Production, Abril 2014. (Coy, Jurado, Acevedo, & Velásquez, 2015)

Dentro de los países suramericanos se destaca la participación de Argentina. Este país se caracteriza por ser uno de los grandes productores de biodiésel del mundo. En el año 2013, llegó a ser el mayor exportador de biodiésel del mundo y el tercer productor a nivel mundial luego de Estados Unidos, desplazando a Francia y Brasil. La competitividad del sector de biodiésel en Argentina se debe, en gran medida, a la elevada productividad agrícola para la obtención de las materias primas, en especial la soja, los altos niveles de inversión en la capacidad de procesamiento del aceite de soja, las políticas gubernamentales que favorecen la industria y la estructura de impuestos que estimulan la exportación. Sin embargo, los exportadores argentinos de biodiésel han tenido que enfrentarse a políticas proteccionistas, complejos requisitos y a características de calidad del biodiésel que han impuesto diferentes países, especialmente los europeos (Agrositio, 2013).

La producción de biocombustible ha ido creciendo en los últimos años en el mundo, por el desarrollo de nuevas tecnología para su producción.

1.7- Estadísticas mundiales y nacionales.

La Figura 1.6 presenta el ranking mundial de los principales países productores de biocombustible en 2018 (en miles de toneladas equivalentes de petróleo).

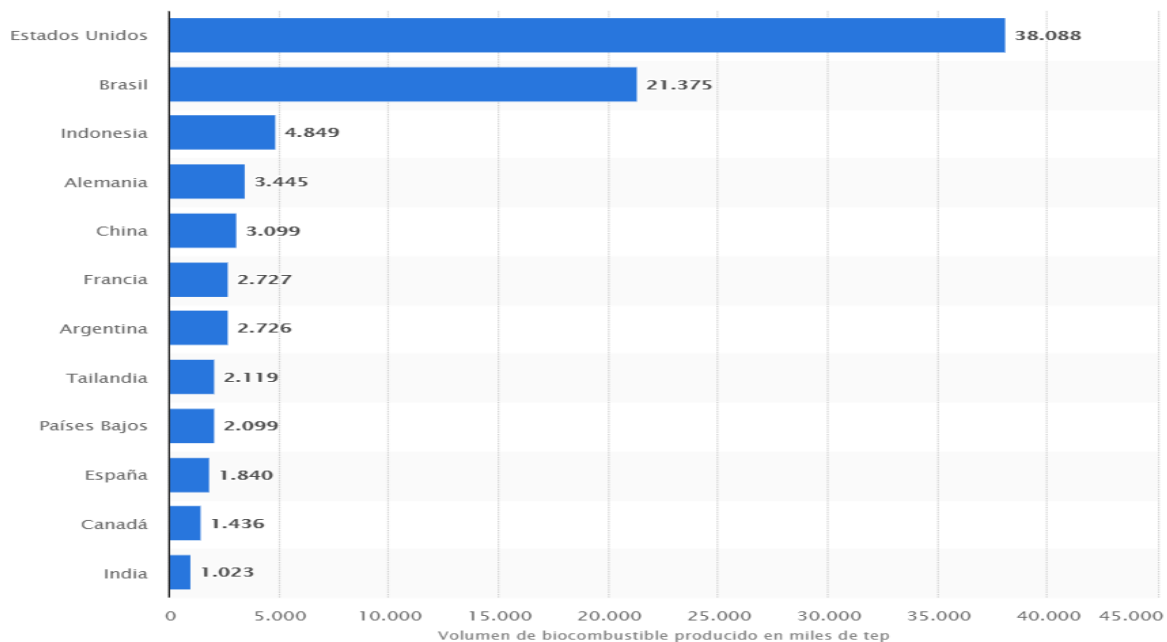


Figura 1.6 - Principales países productores de biocombustible. (Sevilla, 2019)

Esta estadística muestra el ranking mundial de los principales países productores de biocombustible en el año 2018. En ese año, Estados Unidos y Brasil fueron los principales países productores de biocombustibles a nivel mundial. En el primero, la producción ascendió a aproximadamente 38 millones de toneladas equivalentes de petróleo. En el segundo, esta se situó en torno a 21,4 millones de toneladas. España, por su parte, ocupó la décima posición, con alrededor de 1,8 millones de toneladas de biocombustible producidas. (Sevilla, 2019)

El consumo por el tipo de ministerio o actividad económica anuario estadístico de Cuba.

Tabla 1.3 - Consumo de petróleo crudo y derivados del petróleo Miles de toneladas						
Productos	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Turbo combustible	131.7	133.9	144.3	118.2	108.2	115.3
Queroseno	79.7	80.9	81.3	80.7	80.7	81.7
Nafta industrial y Solventes	105.1	123.6	126.2	94.7	81	80.5
Gasolina de motor (excluye aviación)	264.3	225.9	234.6	231.3	228	197.1
Gasolina de aviación	4.5	4.5	4.3	3.9	3.9	3.9
Gas licuado de petróleo	114.7	114	113.7	111	118.8	118.9
Gas combustible	27.9	31.4	34	18.4	30.3	27.1
Fuel oil	4942.4	4940.4	5132.3	5197.5	4959.8	4913.7
Coque combustible	3.4	7.5	6.7	1.2	17.9	12.4
Combustible diésel	1435.5	1294.3	1193	1238	1290.5	1228.7
Asfalto	84.6	86.6	80	73.9	77.9	65
Aceite y grasas lubricantes terminados	47.4	46.4	42.1	44.7	49.1	49.3
Total	7241.2	7089.4	7192.5	7213.5	7046.1	6893.6

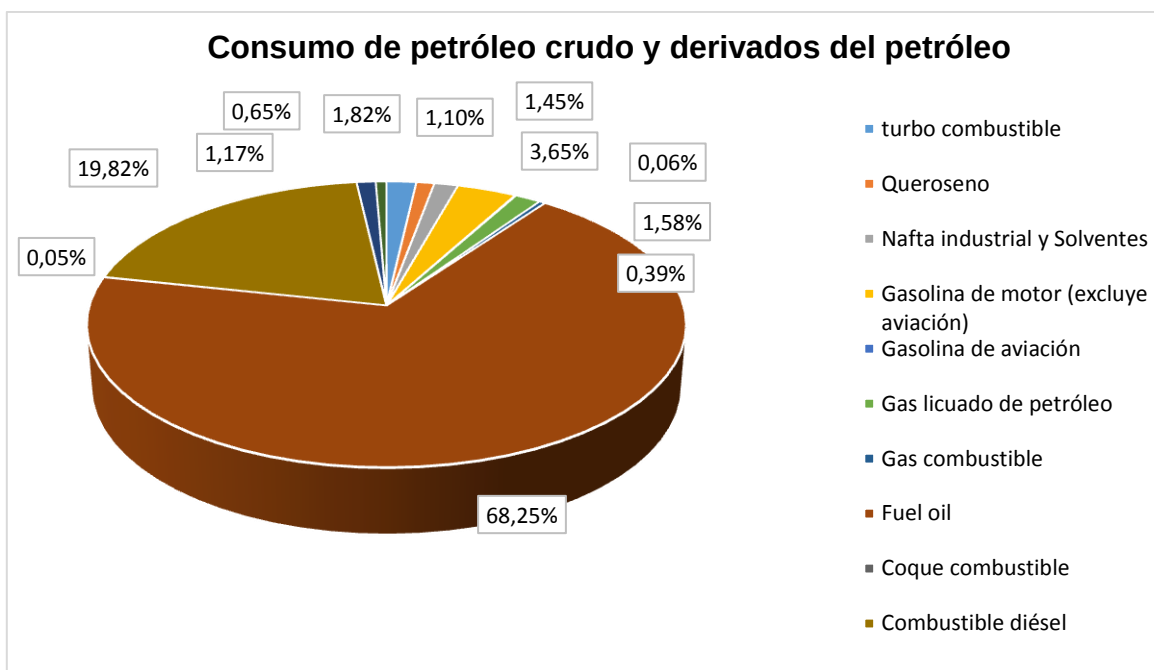


Figura 1.7 - Consumo de petróleo crudo y derivados del petróleo.

Según el consumo por el tipo de ministerio o actividad económica anuario estadístico de Cuba, el consumo de petróleo crudo y derivados del petróleo, el combustible diésel desde el año 2009 hasta 2014 se consumió 7680 miles de toneladas, eso vienen a representar unos 68.25 por ciento.

Tabla 1.4 - Resúmenes de emisiones de gases.		
Año	2009/2014	
Combustible en toneladas	7680	
Propiedades	Diésel	Microalgal
Masa (Kg)	7680000	7680000
Energía (MJ)	330240000	337920000
Cantidad de Emisiones de NOX (Kg)	7680000.00	7072744.19
Cantidad de Emisiones de CO2 (Kg)	26419200.00	13516800.00
% de NOX	100%	86%
% de CO2	100%	48%
Emisiones de NOX (Kg/MJ)	0.023	0.021
Emisiones de CO2 (Kg/MJ)	0.08	0.04

Tabla 1.5 - consumo de petróleo crudo y derivados del petróleo en actividades económicas y por la población Miles de toneladas.

Productos y actividad	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Población	1.9	2	2.1	2.3	2.5	2.3
Servicio a empresas. Act. inmob. Y de alquiler	0.9	0.9	0.8	0.7	0.8	0.7
Transporte, almacenamiento y comunicaciones	8.4	5.8	5.8	7.3	9.2	7.9
Comercio y reparación de efectos personales	2.3	2.1	2	1.9	2	2.6
Construcción	4.9	4.8	4.5	4.5	4.7	4.7
Industrias manufacturas	5.1	5.6	4.7	4.7	5	7.3
Industrias azucarera	10.3	10.1	10.7	11.3	12.5	12.3
Explotación de minas y canteras	1.4	1.5	1.5	1.5	1.3	1.3
Agricultura, ganadería y silvicultura	5.1	4.7	4.4	4.4	4.6	4.4
Total	40.3	37.5	36.5	38.6	42.6	43.5

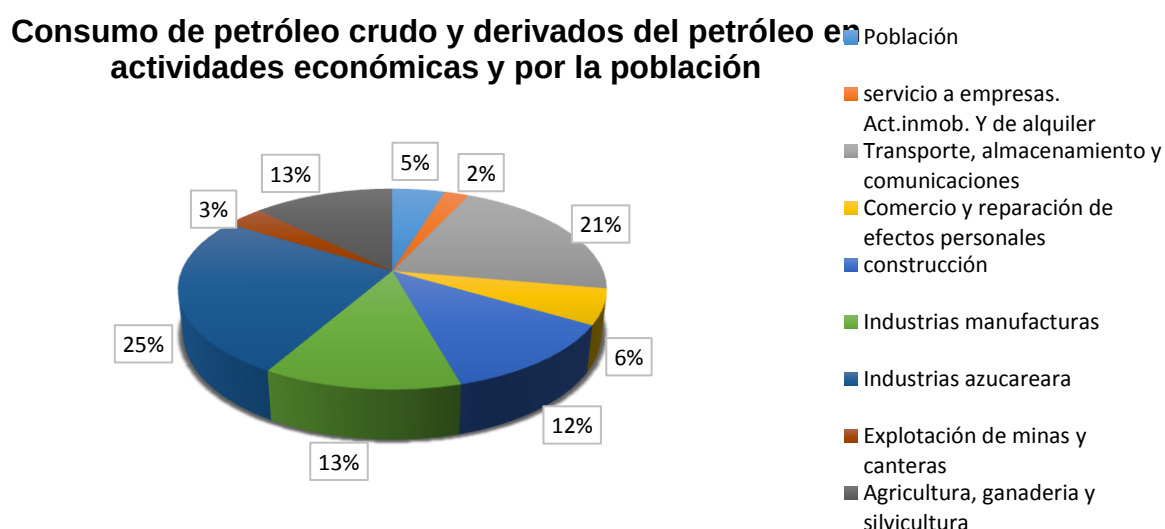


Figura 1.9 - consumo de petróleo crudo y derivados del petróleo.

1.8 - Papel de la microalga en la obtención de biocombustible, análisis comparativos con otras fuentes de suministro de biodiesel. Comportamiento de las estadísticas a nivel mundial.

1.8.1 - Las microalgas.

Son un conjunto heterogéneo de microorganismos fotosintéticos unicelulares procariontes (cianobacterias) y eucariontes que pueden encontrarse en diversas

aguas marinas, dulces, salobres, residuales y en el suelo bajo un amplio rango de temperaturas, pH y nutrientes. Se les considera las responsables del 50 % de la producción de O₂ y de la fijación del 50 % del carbono en el planeta.

El interés en el potencial biotecnológico de las microalgas surgió en las décadas de los años 50 y 60 en Alemania, al ser consideradas como una fuente abundante de proteínas de bajo costo para la alimentación humana. A partir de estas experiencias, se extendió a todos los continentes.

Posteriormente, la aplicación de las algas se diversificó a la acuicultura, el tratamiento de aguas residuales, la obtención de sustancias químicas finas, las producciones farmacéuticas y los procesos de bioconversión energética. A partir de la crisis energética de 1973, algunos países como EE.UU., Japón y Australia reconocen la producción de microalgas como una fuente bioenergética con potencial económico. (ICIDCA, 2012).

1.8.2 - Clasificación de las microalgas

Principalmente, se dividen teniendo en cuenta su estructura celular, pigmentación, ciclo de vida, naturaleza. Teniendo en cuenta estos parámetros se pueden clasificar de la siguiente manera: Procariotas y Eucariotas.

Dentro de esta clasificación se tienen especies que generalmente obtienen la energía de la luz solar salvo algunas excepciones que son capaces de crecer empleando materia orgánica como fuente de energía o de carbono. Por tanto, hay que hacer la siguiente diferenciación en cuanto a su modo de alimentación, distinguiendo entre: Fotoautótrofas, Fotoheterótrofas, Mixotróficas y Heterótrofas (Fernández, 2018)

A continuación, se describen las especies más comunes que podemos encontrar tanto en los entornos naturales como a nivel comercial:

Algunas de las especies más importantes dentro de las clorofíceas son:

- **Pediastrum:** clorofícea clorococal colonial con morfología muy característica. (Vargas, 2016)

- **Scenedesmus**: clorofícea clorococal. Es común en aguas dulces y salobres en condiciones de nutrientes medio-altas. La relación óptima de nutrientes N:P para este alga es 16:1 (Vargas, 2016)
- **Chlorella**: clorofícea clorococal especialmente conocida por su capacidad de eliminar nutrientes del agua. Se desarrolla por tanto en medios ricos en nutrientes. Es conocida por ser una de las microalgas de más rápido crecimiento. Las rodofitas o algas rojas son representativas del medio marino, encontrándose pocas en aguas dulces. Sus pigmentos fotosintéticos incluyen tres tipos de ficobilinas que les confieren su color característico.(Vargas,2016)

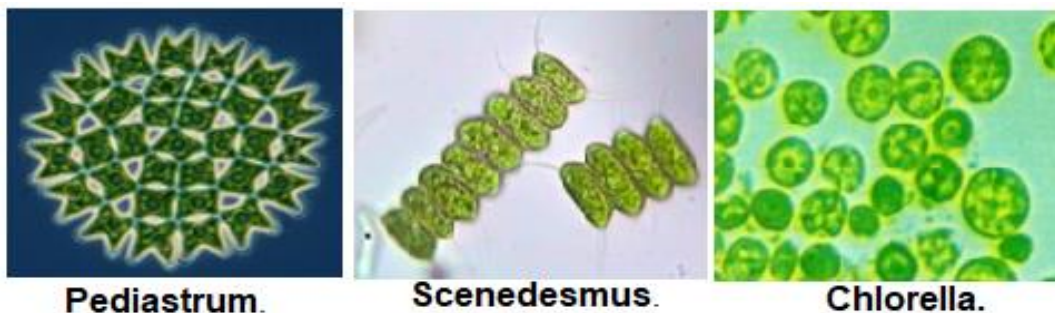


Figura 1.10 - Microalgas al microscopio, Fuente: Adaptada de (Vargas, 2016)

1.8.3 - Ventajas del biodiesel.

La lubricidad que posee el biodiesel es considerablemente mayor a la del diésel de origen fósil, esta característica da mayor vida útil a los motores.

Posee un punto de inflamación de 100 °C, por lo que es seguro de transportar y almacenar.

Puede ser usado como solvente para limpiar derrames de diésel fósil, debido a que se degrada de 4 a 5 veces más rápido que el diésel fósil.

Su producción no genera SO₂ (dióxido de azufre).

El biodiesel, como combustible vegetal no contiene ninguna sustancia nociva, ni perjudicial para la salud, a diferencia de los hidrocarburos, que tienen componentes aromáticos y bencenos (cancerígenos). La no emisión de estas sustancias contaminantes disminuye el riesgo de enfermedades respiratorias y alergias.

1.8.4 - Desventajas del biodiesel.

Al estar expuesto a bajas temperaturas ($< 0\text{ }^{\circ}\text{C}$) el biodiesel presenta problemas de congelamiento.

Por lo general la materia prima para la producción del biodiesel es costosa por lo que el producto final es de costos considerables.

Su almacenamiento debe ser en tanques limpios para evitar que los motores sean contaminados con impurezas provenientes de los tanques, debido a su alto poder solvente.

Se emplea mayor cantidad de biodiesel para suplir el mismo contenido energético del diésel debido a que posee 12 % menor en peso u 8% en volumen.

El biodiesel de baja calidad puede incrementar las emisiones de NO_x (óxidos de nitrógeno) (Badillo & FloresTomalá, 2011)

Las algas son muy variadas y se pueden clasificar siguiendo diferentes criterios. Por el tipo de agua donde viven pueden ser de agua dulce y de agua salada, por el color rojas, pardas y verdes. El azul verdoso algunos autores las clasifican como bacterias y otros como algas, y las diatomeas, que constituyen buena parte del fitoplakton marino y que tienen membrana silíceas, también son consideradas como algas por muchos autores.

1.8.5 - Biodiesel de Algas.

De las algas se extraen diferentes productos que pueden ser utilizados en el sector farmacéutico, alimenticio, de la cosmética y en el sector energético. Entre estos productos destacan los ficoloides o hidrocoloides polisacáridos, que son unos polisacáridos complejos obtenidos de las algas de las divisiones Phaeophyceae (feofitas) y Rhodophyceae (rodófitas), que forman sustancias coloidales cuando son dispersados en agua. Los polisacáridos recuperados de algas, más importantes son los alginatos, el agar, la laminarina, fucoidina, galactanos, y la carragenina, que tienen diversos usos. (Almazan, 2015)

Tabla 1.6 - Composición química de algunas algas expresada en base a materia

seca en (%). Fuente: (Becker, 1994).				
Presión	Proteínas	Carbohidratos	Lípidos	Ácido nucleico
Scenedesmus obliquus	50-56	10 - 17	12 - 14	3 – 6
Scenedesmus quadricauda	47	-	1,9	-
Scenedesmus dimorphus	8 -18	21 - 52	16 - 40	-
Chlamydomonas reinhardtii	48	17	21	-
Chlorella vulgaris	51 – 58	12 - 17	14 - 22	4 – 5
Chlorella pyrenoidosa	57	26	2	-
Spirogyra sp.	6 – 20	33 - 64	11 - 21	-
Dunaliella bioculata	49	4	8	-
Dunaliella salina	57	32	6	-
Euglena gracilis	39 – 61	14 - 18	14 - 20	-
Prymnesium parvum	28 – 45	25 - 33	22 - 38	1 – 2
Tetraselmis maculata	52	15	3	-
Porphyridium cruentum	28 – 39	40 - 57	9 - 14	-
Spirulina platensis	46 – 63	8 – 14	4 - 9	2 – 5
Spirulina máxima	60 – 71	13 - 16	6 - 7	3 – 4,5
Synechococcus sp	63	15	11	5
Anabaena cilíndrica	43 - 56	25 – 30	4 - 7	-

1.9 - Tipos de sistemas para producción de microalgas

El gran auge que está viviendo la tecnología del cultivo de microalgas hace que cada día sea más importante el estudio de los sistemas de producción a gran escala de forma que se pueda optimizar el tamaño o volumen de los fotobiorreactores, los costes de construcción y explotación (energía demandada), así como el mantenimiento y la vida útil.

1.9.1 - Sistemas Cerrados.

Como ya se comentó anteriormente, los sistemas cerrados para la producción de microalgas es a lo que comúnmente se le llama fotobiorreactor (PBR). Los

fotobiorreactores se pueden clasificar según diversos aspectos según el diseño o el modo de operación. (Vargas, 2016)

En función de los aspectos relativos al diseño, los fotobiorreactores pueden ser:

- De placa o tubular.
- Horizontales, inclinados, verticales o en espiral.
- De tubos múltiples o en serpentina.

El modo de operación de los fotobiorreactores, estos puede clasificarse en:

- De mezcla mediante aire o bombeo.
- Reactores monofase (donde el intercambio gas-líquido tiene lugar en un intercambiador separado) o reactores bifase (donde el intercambio gas-líquido sucede en el mismo reactor).

Los fotobiorreactores tienen, en general, un mayor coste que los sistemas abiertos. Sin embargo, ofrecen ventajas importantes frente a los estanques, como serían:

- Minimizan la contaminación del cultivo y permiten trabajar con monocultivos.
- Ofrecen un mayor control sobre las condiciones de operación tales como el pH, temperatura, luz, concentración de CO₂, etc.
- Suponen una menor pérdida de CO₂.
- Evitan la evaporación de agua.
- Permiten alcanzar concentraciones de biomasa superiores a la de los sistemas abiertos.

Los dos tipos de fotobiorreactores más utilizados en el cultivo de microalgas actualmente son:

- Fotobiorreactor tubular: Se componen de un tubo vertical u horizontal transparente tal que permite la penetración de la luz a su través. La introducción de gas se produce desde la parte inferior del reactor mediante difusores. Con el burbujeo se consigue el mezclado del cultivo, la transferencia de masa de CO₂ y la eliminación de O₂ producido durante la fotosíntesis. (Vargas, 2016)

El tipo más común de fotobiorreactor tubular es el tipo *airlift*, que se conforma de dos tubos cilíndricos comunicados entre sí, donde la densidad del cultivo en uno de ellos desciende debido a la introducción del gas, provocando que aumente el nivel de agua en ese compartimento y que se produzca el movimiento del agua.

En general, existen 2 tipos de fotobiorreactor airlift: de bucle interno o de bucle externo. En los de bucle interno, las regiones con cultivo de microalgas se encuentran separadas, normalmente por una fracción de tubo cilíndrica u otro tipo de barrera. Por otro lado, en los reactores airlift de bucle externo, el cultivo se encuentra separado físicamente en dos tubos diferentes comunicados entre sí por arriba y/o por abajo, de forma que únicamente se introduce aire (para bajar la densidad del fluido) en el tubo en el que se pretende mover el cultivo. (Vargas, 2016)

La configuración de fotobiorreactor airlift posee una ventaja importante frente a otros tipos, como es que se consiguen patrones de mezcla circular donde el cultivo pasa continuamente desde la fase oscura a la fase lumínica, otorgando el efecto de luz intermitente a las células de algas. Otras ventajas que posee esta configuración es que se consigue un alto grado de mezcla en el cultivo y alta eficiencia fotosintética. (Vargas, 2016)

La desventaja principal del fotobiorreactor tipo *airlift* es que tiene alta complejidad de implantación y operación, haciendo muy difícil su comercialización a escala industrial. (Vargas, 2016)

- Fotobiorreactores de placa plana:

Los fotobiorreactores de placa plana (flat plate en inglés) son, sin duda, los que poseen el diseño más robusto. Estos fotobiorreactores están formados mediante láminas de plástico o vidrio, pudiendo de esta forma alcanzarse volúmenes importantes. La mayor superficie se orienta de tal forma que reciba la máxima cantidad de rayos solares. (Vargas, 2016)

Un parámetro de diseño básico en los fotobiorreactores de placa plana, y que afecta mucho al crecimiento de las microalgas, es la distancia de penetración de la luz, que para maximizar la eficiencia fotosintética debe

ser el ancho del reactor, puesto que se corresponde con la menor dimensión. Dicha longitud puede ir desde unos pocos mm hasta 30 cm. Los fotobiorreactores de placa plana se caracterizan además por tener un alto ratio superficie/volumen. (Vargas, 2016)

Aunque este diseño de fotobiorreactor ya ha sido empleado desde hace décadas para el cultivo de microalgas para biodiesel y otras aplicaciones, es en la actualidad cuando verdaderamente se está llevando a cabo estudios exhaustivos para mejorar la eficiencia en la operación. (Vargas, 2016)

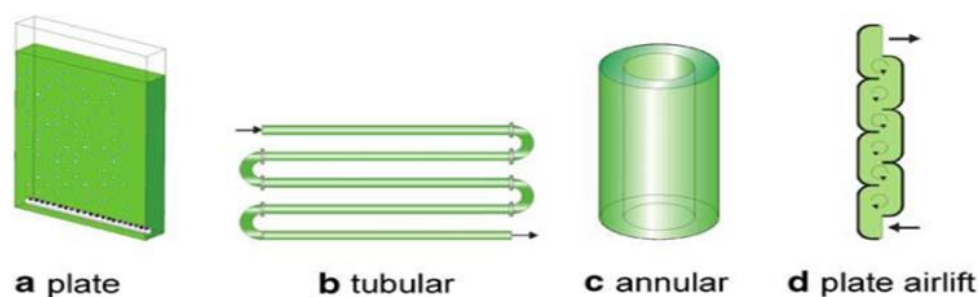


Figura 1.11 - Sistemas de fotobiorreactores: a) Planos, b) Tubulares, c) Anular y d) Planos con flujo de aire. Fuente: (Gavilanes, 2013)

1.9.2 - Sistemas Abiertos.

Actualmente, el cultivo de microalgas con fines comerciales en sistemas abiertos sólo se lleva a cabo puntualmente. La principal razón que lleva a optar por sistemas abiertos es que son sistemas más fáciles y menos caros de construir y operar, y también ofrecen una mayor durabilidad que los grandes reactores cerrados.

Varios tipos de estanques han sido proyectados y probados para el cultivo de microalgas. Éstos varían en tamaño, forma, material utilizado en su construcción, tipo de agitación e inclinación. A menudo, el diseño de la construcción es esencialmente dictado por las condiciones locales y los materiales disponibles.

Los materiales para la construcción de las paredes laterales y el fondo varían desde arena simple o arcilla, a ladrillo o cemento, plásticos como PVC, fibra de vidrio o poliuretano.

A pesar de que existen diferentes tipos de sistemas abiertos, sólo tres grandes diseños se han desarrollado y operado a una escala relativamente grande:

Sistemas inclinados: donde la agitación se logra a través de la mezcla que proporciona el bombeo y la gravedad del flujo.

Estanques circulares: donde la agitación y el movimiento del flujo es proporcionada por un brazo giratorio.

Estanques raceway: son estanques contruidos en forma de bucle infinito, en el que se hace circular el cultivo de microalgas mediante ruedas con paletas giratorias.

El ejemplo más simple de los estanques tipo raceways consiste en una zanja poco profunda excavada en el suelo y cubierta con láminas de plástico que envuelven los terraplenes. Esta construcción es relativamente barata, pero su coste está fuertemente influenciado por las características del suelo a excavar. El revestimiento debe fijarse cuidadosamente en el suelo para evitar el desplazamiento por los vientos. La formación de burbujas debido a la acumulación de gas o de agua por debajo del revestimiento es otro problema que puede aparecer en estos sistemas. Otro diseño diferente se consigue con paredes formadas por bloques de hormigón, ladrillos o incluso el adobe (barro secado al sol).

Por otra parte, los estanques raceway tienen algunas desventajas. Por ejemplo, no pueden operar con un nivel de agua menor a 15 cm, ya que de lo contrario se produciría una severa reducción del flujo y la turbulencia. Dado que poseen una alta longitud de paso de luz, no es posible obtener concentraciones de microalgas superiores a 60 mg·L⁻¹, lo que supone un encarecimiento importante de los costes de producción. Además, se generan altas pérdidas por evaporación, especialmente en climas cálidos secos, y resulta muy difícil controlar la temperatura (Vargas, 2016)



a)



b)

Figura 1.12 Sistemas de producción de microalgas. a) sistema abierto tipo “circuito” tipo de sistema con paletas giratorias para la circulación del agua. b) Fotobiorreactor tubular. (Torres & Machuca, 2014)

1.9.3 - Esperanza de sustitución de combustible diésel fósil por parte de los biocombustibles y en particular de las microalgas.

El biocombustible a partir de las algas, es una de las alternativas estudiadas actualmente para la obtención del biodiesel a partir de la extracción de algas marinas, ya que las algas cuentan con un alto contenido de lípidos.

Las algas necesitan del agua, luz y del dióxido de carbono para su reproducción, por lo que se las considera como unas de las mejores alternativas para la producción del biodiesel. Algunas de ellas poseen un gran valor nutricional como fertilizante para cultivos y cumplen con las normas de agricultura orgánica que se han establecido. En la actualidad los científicos definen a las algas como un “petróleo” biológico, al ser un recurso biológico renovable y que absorbe CO_2 en un ciclo sin fin.

Producir biodiesel utilizando algas tiene mayor rendimiento que producirlo con la soja, las palmas, el girasol y otros, además del tiempo de crecimiento de las algas es de días, ambas razones son las principales por la que actualmente existe fuertes inversiones por los países desarrollados para implementar esta nueva forma de producir combustible.

Se considera que el uso de algas en especial las micro-algas es la alternativa más limpia de producir combustible que existe, debido a que ellas absorben grandes

cantidades de dióxido de carbono para su alimentación, necesitan menos espacio que las otras alternativas para producir la misma cantidad de biodiesel y sobretodo se reproducen de manera masiva en cualquier ambiente acuático, sin siquiera cuidarlas tanto como a las otras plantaciones. Además no compiten con productos alimentarios como otros cultivos energéticos y tienen bajo costo de producción. (Badillo & Tomalá, 2011)

Los biocombustibles líquidos, para sustituir el consumo de la gasolina y el diésel deben considerar un análisis objetivo en escenarios de mediano y largo plazo, lo que pudiera propiciar valoraciones en cuanto a la racionalidad y distribución de su consumo para poder satisfacer en un futuro las necesidades de todos los países y durante el mayor tiempo posible. El biodiesel presenta diferentes características como sustituto del diésel: no contiene azufre, es biodegradable, mejora la lubricidad del diésel en mezclas, reduce las emisiones de gases de efecto invernadero en lo que corresponde al CO₂ (existen emisiones de óxidos de nitrógeno), posee un número de cetano mayor que el diésel, no es de origen fósil y, por tanto, es un combustible renovable. (Díaz & Delgado, 2011)

1.10 - Características físico químicas de obtención de microalgas o siembras (plantaciones) de microalgas destinada a la producción de combustible algal.

El biodiesel tiene mejores propiedades lubricantes y mucho mayor índice de cetano que el diésel de poco azufre. Este último concepto guarda relación con el tiempo que transcurre entre la inyección del carburante y el comienzo de su combustión, denominado “Intervalo de encendido”. Cuanto más elevado es el número de cetano, menor es el retraso de la ignición y mejor es la calidad de combustión. Dichas propiedades lubricantes reducen el desgaste del motor. (Vargas, 2016)

Características físico químicas del diésel y biodiesel

Tabla 1.7 se muestra Comparación de las propiedades físico-químicas del diésel y biodiesel. (Dufour, 2012)

Propiedades	Diésel	Biodiesel
-------------	--------	-----------

Densidad a 15 °C (kg/m ³)	840	880
Contenido en oxígeno (%m/m)	0	11
Contenido en parafinas (%m/m)	67.8	0
Contenido azufre (mg/kg)	< 10	< 1
Contenido calorífico (M j/kg)	43	38
Emisiones de NO _x frente al diésel (Kg/MJ)	-	+ 10%
Emisiones de CO ₂ (Kg/MJ)	0.08	0.06

Estas propiedades pueden variar según la materia prima a partir de la cual se le obtuvo (aceites vegetales nuevos o usados de distinto origen o grasas animales).

Tabla 1.8 Comparación del área requerida para producción de biodiesel a partir de diversos aceites de plantas. (Gavilanes, 2013)

Fuente Vegetal	Biodiesel (L*ha ⁻¹ año ⁻¹)	Área necesaria para producir la demanda global de combustibles (ha *10 ⁶)	Área requerida como porcentaje de la masa global del planeta	Área como porcentaje de la tierra que se utiliza para sembríos en el planeta
Algodón	325	15.002	100,7	756,9
Soya	446	10.932	73,4	551,6
Semillas de mostaza	572	8.524	57,2	430,1
Girasol	952	5.121	34,4	258,4
Colza / canola	1.190	4.097	27,5	206,7
Jatropha	1.892	2.577	17,3	130 (0 ^a)
Aceite de palma	5.950	819	5,5	41,3
Algas (10 g/(m ² *d)) a 30% TAG)	12.000	406	2,7	20,5 (0 ^a)
Algas (50 g/(m ² *d)) a 50% TAG)	98.500	49	0,3	2,5 (0 ^a)

1.10.2 - Producción biodiesel y bioetanol

A continuación, se presenta el esquema con el proceso de producción de biocombustibles, tanto de biodiesel como bioetanol, a partir de microalgas

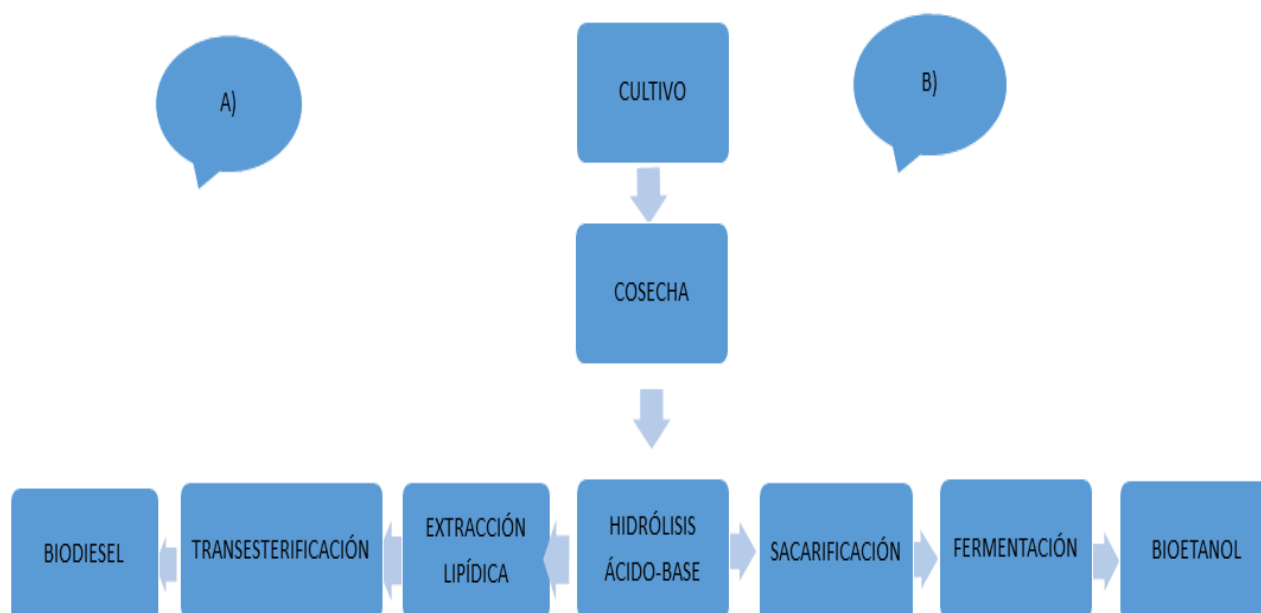


Figura 1.13 - A: Proceso de producción de biodiesel y bioetanol acoplados; B: Proceso de producción de biodiesel. (Verónica Braida, 2016)

12 Tecnologías de producción de biocombustibles algales

Las algas pueden ser procesadas de diferentes maneras para obtener un amplio espectro de productos. De un tiempo a esta parte, su uso como una alternativa a las actuales materias primas biomásicas para la generación de biocombustibles ha ido ganando cada vez mayor interés entre la comunidad científica, los empresarios y el público general. De hecho, se reconoce que las algas constituyen una fuente potencial para la producción de biodiesel debido a su alto contenido en aceites y su rápido crecimiento. (Morán, 2014)



Figura 1.10 - Instalaciones de Algenol para la producción directa de biocombustibles a partir de algas (extraída de la página web de Algenol)

La destilación del biodiesel crudo asegura en forma continua un producto de alta calidad sin el riesgo de que se produzca problemas de flujo en zonas frías por la presencia de glicéridos.

CONCLUSIONES PARCIALES - 1

1. Las microalgas son de rápido crecimiento y una buena productividad de aceite. Como ventaja no entran en conflicto por las tierras agrícolas y las normas sobre el uso de alimentos para la producción de biocombustibles. La posibilidad de cultivar estas algas en piletas al aire libre, con diferentes condiciones hídricas, elimina la necesidad de tierra cultivable de los oleaginosos. Su producción se puede realizar a lo largo de todo el año y es un combustible menos contaminante a la atmosfera.
2. La tabla 1.8 muestra la menor área requerida para producción de biodiesel a partir de diversos aceites de plantas con relación a otros cultivos.
3. Los Raceways son sistemas menos caros que los fotobiorreactores debido a su menor coste de construcción y operación, aunque la producción de biomasa también es menor. Pero no se espera que tengan el mismo impacto en bioprocesos a gran escala que el atribuido a Raceways.
4. El costo de producción de biomasa en fotobiorreactores cerrados más alto que en sistemas abiertos; donde a pesar de obtener mayor concentración celular y productividad en fotobiorreactores cerrados no se compensa el costo del producto final por los altos costos de construcción y de operación.

CAPÍTULO 2 - Anteproyecto de planta de laboratorio para la obtención de biocombustible a partir de microalgas.

2.1 - Definición de los tipos de microalgas nacionales con mejores potencialidades para la producción de biocombustible.

Microalgas Materia Prima para la Producción de Biocombustibles en Cuba

El estudio sobre el uso de las microalgas como materia prima para la producción de biocombustibles, a partir de los resultados experimentales reportados en la literatura científica nacional e internacional. Acorde a las investigaciones experimentales, la importancia de la utilización de las microalgas como materia para la producción de biocombustibles radica en que las microalgas no compiten con los cultivos alimenticios y tierras utilizadas con este fin, su productividad supera a la de los cultivos oleaginosos dado su alto contenido de lípidos y rendimiento por hectárea, además su potencial de crecimiento es 100 veces mayor que la de otros cultivos, (RTVE, 2013). Por otro lado, las investigaciones desarrolladas en Cuba sobre las microalgas con fines energéticos han estado encaminadas fundamentalmente a la extracción del aceite y la obtención de biodiesel a partir de microalgas cultivadas a escala de laboratorio. De las microalgas estudiadas nacionalmente la especie de microalga *Chlorella vulgaris* ha sido la que ha presentado la mejor fuente de ácidos grasos para la producción de biodiesel, además de presentar el mayor contenido lipídico (42 mg/L/d) en su estructura y la mayor productividad de biomasa (0.15 g/(L*d)). (RTVE, 2013)



Figura 2.1 - Proceso de Transformación de las Microalgas en Biocombustibles. (Chiralde, 2018)

Microalgas

En ficología aplicada y biotecnología, el término microalgas define a organismos microscópicos con clorofila a, que realizan fotosíntesis oxigénica y sin diferenciación en raíces, tallo y hojas. Incluyen tanto a microorganismos eucariotas (clasificados tradicionalmente según sus pigmentos fotosintéticos en rodofitas, clorofitas, dinofitas, crisofitas, prymnesiofitas, bacillariofitas, xantofitas, eustigmatofitas, raphidofitas y feofitas) como a procariotas (cianobacterias y proclorofitas) distribuidos por todos los hábitats terrestres y acuáticos) (Cubero, 2014)

2.2 - Materias primas para la producción de biodiesel.

Si bien se puede obtener biodiesel a partir de grasa animal y aceite de fritura usado, la materia prima más abundante son los aceites vegetales. Las dos etapas necesarias para la obtención de biodiesel a partir de aceites vegetales, son:

La conversión de la materia prima en aceite vegetal.

Su transformación química en éster.

Entre los principales aceites vegetales usados se encuentran los de colza, palma, soya, girasol, microalgas, jatropha, semilla de algodón, canola, grasas animales y aceites usados.

La investigación en materias primas es liderada principalmente por Estados Unidos, China, Japón, India, Alemania y Turquía, que trabajan primordialmente en soya, colza, girasol y palma. Se observa una estrecha relación entre la disponibilidad de materia prima y a publicación de artículos científicos ya que cada país investiga principalmente sobre la materia prima que tiene disponible. También se consideran materias primas de importancia a las grasas animales, los aceites de cocina y, tal vez el más promisorio sea, el jatropha Curcas.

2.3 - Factores que influyen en el proceso de producción.

En la sección anterior únicamente se hace referencia a la obtención del biodiesel por transesterificación con catálisis básica, que es la forma más común de obtenerlo. Sin embargo, el proceso de producción del biodiesel se puede enmarcar dentro de la secuencia general de tratamiento de la biomasa, que se efectúa mediante el empleo de dos tipos de procesos de conversión genéricos que

son el termoquímico y el bioquímico, los que se representan simplificadaamente en la figura 2.2

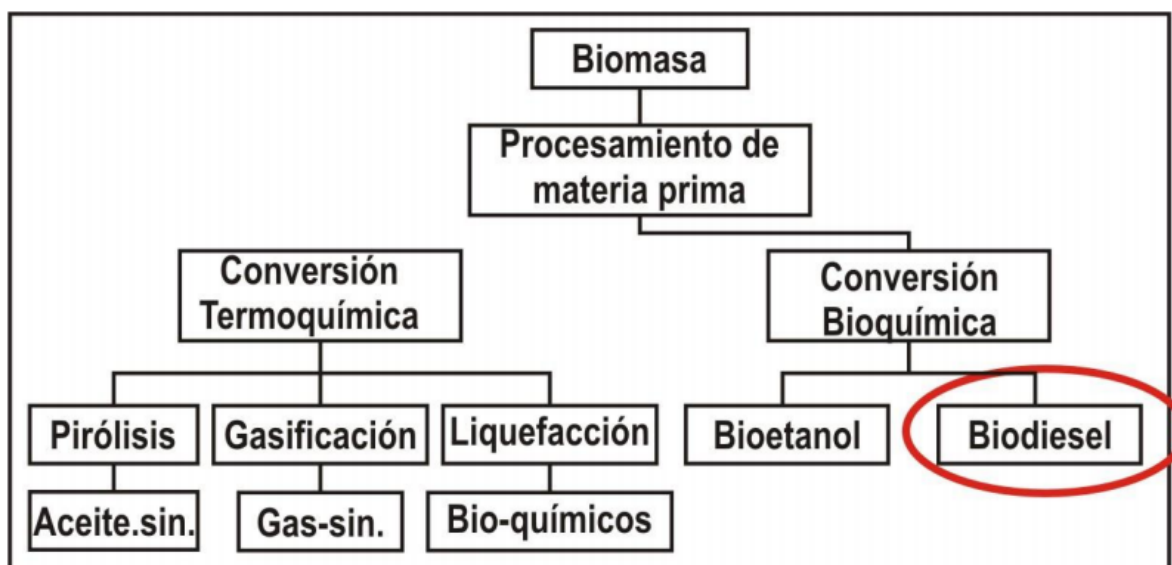


Figura 2.2: Proceso de producción de biodiesel

Como ya se indicó, el biodiesel se produce principalmente mediante el proceso de transesterificación, que está considerado como un proceso de conversión bioquímica, y su materia prima está constituida mayormente por aceites vegetales, representados como biomasa en el diagrama anterior.

La transesterificación se puede dar por catálisis alcalina, catálisis ácida, catálisis de lipasas y alcoholes en condiciones supercríticas. Las vías más utilizadas son la catálisis alcalina y la catálisis ácida. En el cuadro a continuación se resumen las ventajas y desventajas de los principales procesos de producción de biodiesel por transesterificación. (León, y otros, 2009)

Tabla 2.1: Ventajas y desventajas de las principales vías de transesterificación de biodiesel. (León, y otros, 2009)

	Ventajas	Desventajas	Características de la transesterificación
Catálisis alcalina	- Es la tecnología más utilizada comercialmente - Condiciones moderadas de presión y temperatura - Se obtienen conversiones en tiempos de reacción de 60 min. aprox.	Requiere que el aceite y el alcohol sean anhidro y limitar el contenido de ácidos grasos libres en la alimentación para evitar la formación de jabones.	- Cantidad apreciable de operaciones unitarias para la separación de los productos. - Reacción en condiciones atmosféricas - Requiere catalizador alcalino.
Catálisis ácida	- Se utiliza en la adecuación del aceite (esterificación de los ácidos grasos libres con metanol). - Puede procesar materias primas con altos niveles de ácidos grasos libres (grasas animales y aceites usados).	Los tiempos de reacción son mucho más lentos en comparación con la catálisis alcalina.	- Se utiliza como un proceso de pre-esterificación antes de realizar dicho proceso vía la catálisis alcalina. - Requiere uso de catalizador ácido.
Catálisis de lipasas	La reacción no es afectada por la presencia de agua en las materias primas ni por contenidos de ácidos libres.	Los tiempos de reacción son elevados, por lo que no pueden ser procesos continuos.	Se usan solventes orgánicos como medio de reacción, porque mejoran la reactividad y brindan la posibilidad de reutilización. El alcohol se adiciona por etapas, para evitar la inhibición.
Alcoholes supercríticos	- Bajos tiempos de reacción - Se pueden procesar materias primas con altos contenidos de ácidos grasos libres y agua - No es necesaria la utilización de un catalizador.	Altos costos debidos a las condiciones de la reacción a altas temperaturas y presiones.	Se emplean temperaturas y presiones elevadas.

2.4 - Producción de Biodiesel Algal.

El proceso de obtención de biodiesel a partir de algas comienza con el cultivo de las mismas en estanques y lagos artificiales. Este método se conoce como “sistema abierto” y es el más utilizado a nivel mundial. Otros métodos son instalaciones de estanques dentro de invernaderos, y la utilización de fotobiorreactores, de un alto rendimiento, pero costos elevados.

Las algas luego son sometidas a estrés ambiental con el objetivo de maximizar su acumulación de lípidos. Esto se logra mediante reducir el nivel de nitrógeno que reciben las algas, o modificar la temperatura, pH del medio acuoso, entre otras.

El siguiente paso es la extracción del aceite. Se retira las algas de su medio de cultivo y se obtiene su aceite mediante el uso de prensas, solventes, enzimas, entre otros métodos. El aceite obtenido debe pasar por un proceso de transesterificación, que consiste en la utilización de un catalizador mediante el cual la composición química del aceite cambia y se torna menos viscoso, logrando obtener el biodiesel. (Fernando Navarrete, 2015)

Los aceites vegetales y grasas animales están constituidos fundamentalmente por triglicéridos y, junto al alcohol adecuado (metanol generalmente), se obtiene la glicerina como subproducto y el éster (metiléster o éster metílico al emplearse metanol), que ya puede utilizarse como biocarburante. Se tiene la particularidad que la glicerina y el éster no son miscibles, no se agrupan, por lo que el rendimiento de la reacción comentada es cercano al 100 %.

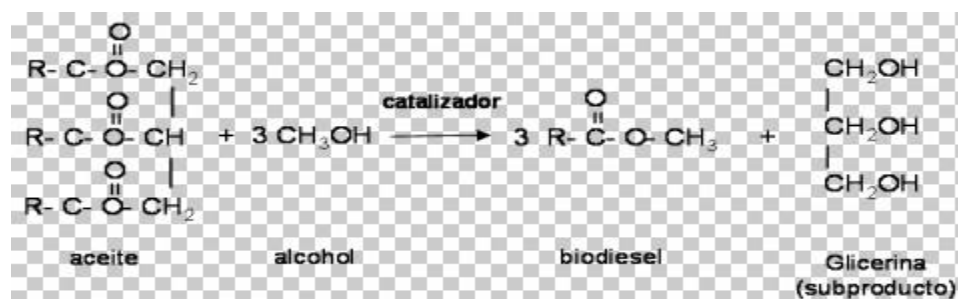


Figura 3.5 – Ración de Transesterificación. (CEUPE, 2015)

2.5 - Tipos predominantes. Potencialidades de uso de las más difundidas en la producción de biocombustible.

La microalga *Chlorella Vulgaris* que contiene 30% de lípidos en base a su peso seco, ha sido una de las microalgas más utilizadas recientemente en la producción industrial de biodiesel por lo que es posible encontrar datos relevantes y fiables, es de hecho la variedad de microalga que fue elegida para este proyecto. De ésta forma, las microalgas aparecen como la única fuente de biodiesel que tiene el potencial de reemplazar completamente el diésel fósil. A diferencia de las otras cosechas de aceite, las microalgas crecen rápidamente y muchas tienen un contenido alto de aceite. El contenido de aceite en microalgas puede exceder 80% del peso de la biomasa seca. Además, las microalgas comúnmente doblan su biomasa en un intervalo de 24 horas, y todo esto, sin afectar de manera negativa el suministro de alimentos y otros productos cultivados. (Zarini, 2011)

2.6 - Capacidad de generación de biocombustible por hectárea de siembra o cultivo.

La productividad es muy variable y dependerá de las condiciones del clima, el suelo, la humedad, las técnicas agronómicas utilizadas, las variedades y muchos otros factores. En forma general, en el siguiente cuadro se presentan los

rendimientos que se están alcanzando en la producción de etanol y biodiésel con el uso de diferentes cultivos, bajo condiciones favorables.

Tabla: Porcentaje lipídico y productividad de biomasa y lípidos de distintas microalgas. (Omar S. Castillo, 2016)			
Especie	Lípidos acumulados (%)	Productividad de biomasa (g / (L*d))	Productividad de lípidos (g/(L*d))
Anabaena variabilis Kützing ex Bornet & Flahault	46.9	0.1156	0.0542
Ankistrodesmus falcatus (Corda) Ralfs	59.6	0.1246	0.074
Chaetoceros muelleri Lemmerman	43.4	0.272	---
Chlamydomonas reinhardtii P. A. Dangeard	25.25	2.0	0.505
Chlamydomonas sp.	33.1	---	0.169
Chlorella sorokiniana Shihira et R. W. Krauss	31.5	12.2	2.9
Chlorella minutissima Fott et Nováková (UTEX2341)	62.97	1.78	0.29
Chlorella pyrenoidosa H. Chick	24.25	0.144	0.02685
Auxenochlorella protothecoides (Krüger) Kalina et Puncochárová (= Chlorella protothecoides Krüger)	51.5	---	1.19
Chlorella vulgaris Beyerinck [Beijerinck]	22.8	0.0848	0.01043
Chromochloris zofngiensis (Dönn) Fucíková et L. A. Lewis (= Chlorella zofngiensis Dönn)	54.5	.0584	0.0223
Desmodesmus abundans (Kirchner) E. Hegewald	---	0.27008	0.06708
Dunaliella tertiolecta Butcher	11.44	0.42	0.0164
Nannochloropsis oculata (Droop) D. J. Hibberd	50.4	0.497	0.151
Neochloris oleoabundans S. Chantanachai et Bold	29	0.98	0.1124
Tetradismus obliquus (Turpin) M. J. Wynne (= Scenedesmus obliquus (Turpin) Kützing)	49.6	0.45-0.55	0.151-0.193

Scenedesmus sp.	16.6	0.174	0.0195
Tetraselmis sp.	30.5	0.13	0.047

2.7 - Estado actual de obtención de microalgas para la producción de biocombustibles en Cuba y en la provincia de Cienfuegos.

Producción de biodiesel en Cuba

La posición de Cuba en el tema es meridiana y transparente en el tema y en contraposición a producir biodiesel a partir de cultivos agrícolas, Cuba adopta como principio, producir biodiesel, para producir alimentos y por supuesto, producirlos a partir de plantas que no produzcan alimentos.

En nuestro país se ha comenzado a fomentar el cultivo de la palma aceitera, el pino piñonero y diversas especies del género *Jatropha* como materias primas de biocombustibles.

La primera planta de biodiesel construida en Cuba que utiliza como materia prima el arbusto oleaginoso no comestible *Jatropha curcas* - popularmente conocido como Piñón botija -, comenzó a producir en Julio del 2012, en la oriental provincia de Guantánamo, en el poblado de Paraguay, a unos 10 kilómetros de esta ciudad, y puede producir cada año más de 100 toneladas de ese biocombustible líquido, el cual internacionalmente se obtiene a partir de aceites vegetales y grasa animal.

Esta fábrica piloto es fruto del Proyecto La biomasa como fuente renovable de energía para el medio rural (BIOMAS-CUBA), en el cual intervienen varias instituciones cubanas, con el apoyo de la Agencia Suiza de Cooperación al Desarrollo (COSUDE).

Actualmente la fábrica cubana produce 400 litros del biocombustible para lo que se procesa un total de 1,430 kilogramos de semilla de la referida planta. Noventa hectáreas de piñón de botija (*jatropha*) aseguran la materia prima de la planta de

biodiesel guantanamera, y se siembran otras 200 hectáreas en diferentes partes del país para con otras plantas fomentar la producción de combustible (Pérez, 2012).



Figura 2. - Primera planta de Biodiesel cubana, en el poblado de Paraguay, provincia Guantánamo.

Además de esa primera, está previsto el montaje de otra unidad en Guantánamo (oriente), y en el 2013 arrancó otra similar en Cabaiguán, Sancti Spíritus (centro). Otras tres plantas de procesamiento industrial para producir biodiesel serán creadas en la occidental provincia de Matanzas, todas también, a partir de la siembra de la *Jatropha Curcas* conocida popularmente como piñón botija.

El principal destino es el sector de la agricultura para el funcionamiento de vehículos, tractores y otras maquinarias. Tiene, entre otros usos, funciones como bioplaguicida, cicatrizante de heridas y para la producción de detergentes, jabones y carbón. El biodiesel cubano aumenta el rendimiento de los vehículos y contribuye a su conservación por el aceite especial que posee. (Sánchez & Castellano, 2014)

Cuba y en la provincia de Cienfuegos a nivel de producción de obtención de microalgas para la producción de biocombustibles está a nivel de laboratorio y no a nivel industrial. Pero existen muchas algas en la costura marítima del país.

Tabla 3.3 - Comparación de propiedades entre el Diésel, el Biodiésel de la Palma Africana y el Biodiésel Algal. (Dufour, 2012)

Propiedad	Diésel	Palma Africana	Microalgal
Densidad a 15 °C (Kg/m ³)	840	880	780
Oxígeno (%m/m)	0	11	0
Parafinas (%m/m)	67.8	0	100
Azufre (mg/Kg)	<10	<1	<1
Poder Calorífico (MJ/Kg)	43	38	44
Emisiones de NO _x Frente al Diésel (Kg/MJ)	-	10%	-10%
Emisiones de CO ₂ Frente al Diésel (Kg/MJ)	0.08	0.06	0.04

Tabla 3.2 - Comparación del área requerida para producción de biodiesel a partir de diversos aceites de plantas. TAG: Triacilglicéridos. Adapyado de: (Gavilanes, 2013)

Fuente Vegetal	Biodiesel (L/(ha*año))
Algodón	325
Soya	446
Semillas de Mostaza	572
Girasol	952
Colza / Canola	1.190
Jatropha	1.892
Aceite de Palma	5.950
Algas (10 g/(m ² *d)) a 30% TAG)	12.000

Algas (50 g/(m ² *d)) a 50% TAG)	98.500
---	--------

Capacidad de producción por hectáreas

2.8 - Cálculo de las capacidades y dimensionamiento básico de una planta de laboratorio para el proceso y obtención de biocombustible a partir de microalgas en la provincia de Cienfuegos.

Laboratorio

El laboratorio también puede ser construido en bloque o elementos prefabricados, el área aproximada puede ser de 30 m², espacio suficiente para equipos y enseres que debe llevar el laboratorio. Estos son los aspectos principales que se deben tener en cuenta para la implementación de una planta de producción de biomasa de algas. Existen muchos más detalles, pero ya corresponden a los casos particulares que se dan en el desarrollo de una ingeniería de detalle. (Machado, 2013)

2.9 - Materiales del laboratorio.

Tubos de ensayo, gradilla, probeta, bureta, soporte universal, Vaso de precipitado, Pipeta, Bureta o Agitador, Matraz tipo Erlenmeyer, propipeta, Embudo, Cápsula de porcelana, Pinza para tubos, Balanza electrónica y mecánica, Densímetro.

Se instalará un laboratorio de análisis para el control de calidad de materias primas y productos para que la planta sea autosuficiente en cuanto a control de calidad del proceso. El laboratorio dispondrá del siguiente mobiliario:

2.9.1 - Descripción de equipos

La planta de producción de biodiésel cuenta con dos principales: el reactor y el módulo de purificación, además de los tanques de almacenamiento de los diferentes insumos. Anexo 1.

A continuación, se describe brevemente las partes de la planta:

El módulo del reactor se compone por los tanques T3 y T4 el módulo de purificación se compone de los tanques T5 y T6.

Tanque de almacenamiento de aceite (T1): cilindro vertical metálico, de acero inoxidable o de polietileno de alta Densidad (HDPE) con filtro de partículas en la parte superior que permite realizar un primer filtrado de las partículas de mayor tamaño .

Tanque de almacenamiento de metanol (T2): Válido el propio recipiente en el que se adquiere el metanol industrial.

Tanque de producción del metóxido (T3): tanque en el que se realiza la mezcla del catalizador y el alcohol. Este tanque cuenta con un motor eléctrico (M1) que permite accionar una hélice o agitador.

Tanque reactor (T4): es el reactor en sí mismo donde se da lugar el proceso de transesterificación. Este tanque cuenta con una resistencia eléctrica (R1) y de un controlador de la temperatura del fluido que permite la regulación de la temperatura.

Tanque de decantación (T5): en él se deja reposar el fluido para que se produzca la separación de la glicerina y el biodiésel.

Tanque de lavado y secado (T6): en él se realizan los procesos de purificación del biodiésel. Este tanque dispone de una resistencia eléctrica (R2) y de un controlador de la temperatura del fluido que la regulación de la temperatura.

Tuberías: permiten la conexión entre los distintos equipos. Están fabricadas en PVC.

2.10 - Análisis de buenas prácticas en la construcción de plantas de obtención de biodiesel a partir de las microalgas

La quema de combustibles fósiles en los automóviles tiene consecuencias muy negativas para la calidad del aire que respiramos. En concreto la utilización del gasóleo en vehículos diésel es responsable de la mayor parte de la contaminación del aire de las ciudades con óxidos de nitrógeno e hidrocarburos, que conllevan a la formación de ozono, partículas y monóxido de carbono, entre otros compuestos. Todos estos contaminantes causan, en muchos casos, graves daños a la salud que llegan a ocasionar la muerte prematura de miles de personas al año, reduciendo nuestra esperanza de vida. (Aguilar, 2010)

Compromiso por el medio ambiente. Actuaciones relativas a la protección del entorno: medidas compensatorias dirigidas a la conservación y fomento de los valores ecológicos, paisajísticos y culturales del entorno en el que se encuentra inmerso el ámbito de actuación. (Guía de buenas prácticas ambientales, 2016)

2.10.1 - Anteproyecto de ingeniería de la planta básica de laboratorio para el procesamiento de la microalgas para fines de biocombustible. Dimensionamiento del equipamiento y cálculo elemental del costo de la instalación.

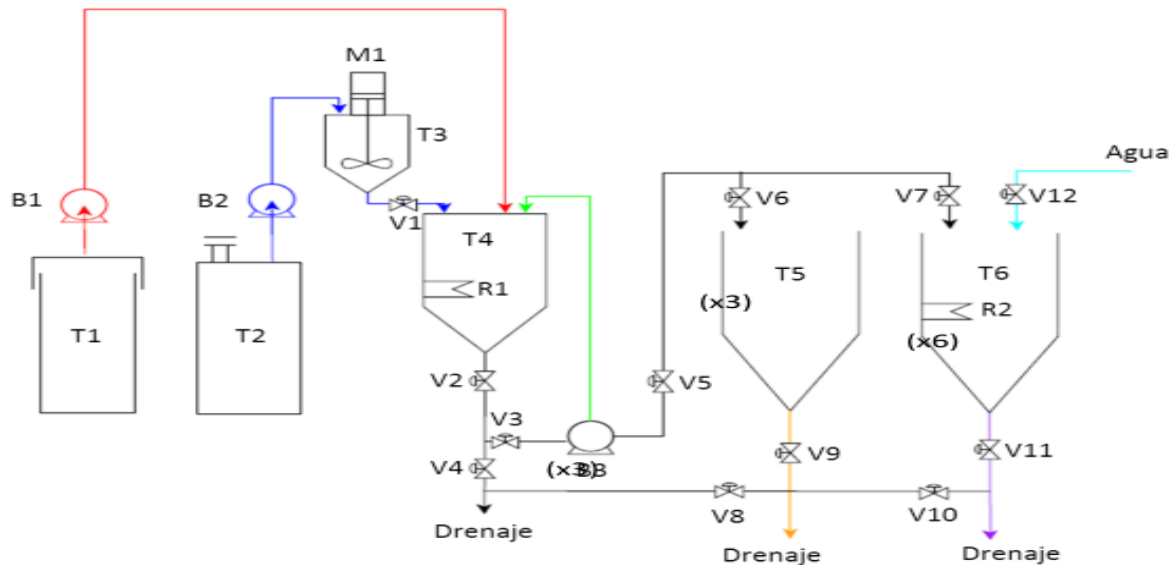


Figura 2.3 - esquema de la planta de producción de biodiesel.

La línea de decantación (T5) se incrementa en dos líneas adicionales más y la de lavado (T6) se incrementa en 5 líneas más adicionales, para poder producir más lotes al mismo tiempo que se suceden las etapas de decantación y lavado. De este modo no es necesario esperar a completar un lote entero para poder seguir produciendo. (Alonso., 2015)

Las dimensiones de una la planta de laboratorio para el proceso y obtención de biocombustible a partir de microalgas está en función de la necesidad a nivel de producción de cada empresa.

Tabla 2.3 - Equipos de la de producción de biodiésel. Anexo 1

Código	Descripción	Cantidad	Volumen	Material
T1	Tanque de almacenamiento de aceite	1	200 L	Acero/HDPE
T2	Tanque de almacenamiento de metanol	1	200 L	Acero/HDPE
T3	Tanque de producción de metóxido	1	30 L	Acero inox 316 o 304
T4	Tanque reactor	1	150 L	Acero inox 316 o 304
T5	Tanque de decantación	3	200 L	Acero inox 316 o 304
T6	Tanque de lavado y secado	6	200 L	Acero inox 316 o 304
B1	Bomba de aceite	1	-	-
B2	Bomba de metanol	1	-	-
B3	Bomba de transferencia	3	-	-
R1-R3	Resistencias	3	-	-
M1	Motor agitador con hélice	1	-	Acero inox 316 o 304
V1-V12	Válvulas de corte	12	-	Acero inox 316 o 304
Tuberías	-	-	-	PVC

Conclusiones parciales

De que a pesar de la humanidad ha conocido y utilizado a los biocombustibles hace más de 100 años, las tecnologías o/y las técnicas aplicada hasta ahora son incapaces de convertirlos en el mayor portador energético de la humanidad, de modo a que compita con los combustibles fósiles.

Cuba posee una planta de biodiesel que utiliza como materia prima el arbusto oleaginoso *Jatropha curcas* (Piñón botija) en la provincia de Guantánamo, con una capacidad de 100 toneladas/año de ese biocombustible líquido, el cual internacionalmente se obtiene a partir de aceites vegetales y grasa animal.

La fábrica cubana actualmente produce 400 litros del biocombustible para lo que se procesa un total de 1,430 kilogramos de piñón de botija (*jatropha*) y se prevé la siembra de noventa hectáreas que aseguran la materia prima de la planta de biodiesel guantanamera.

Se siembran otras 200 hectáreas en diferentes partes del país para con otras plantas en Santi Spiritus y matanzas fomentar la producción de biocombustible.

CAPÍTULO 3 - Valoración preliminar del uso del biocombustible en motores diésel del transporte automotor cubano.

3.1 - Estado actual y tendencias del uso de biocombustible obtenidos de las microalgas en el comportamiento técnico de los motores diésel.

El motor diésel es un motor térmico que tiene combustión interna alternativa que se produce por la auto ignición del combustible debido a alta temperatura derivada de las altas relaciones de compresión que posee, según el principio del ciclo diésel puede utilizar como combustible gasóleo como aceite de girasol. Otra línea que ha ganado fuerza relacionada a la producción de biodiesel es el uso del aceite extraído de microalgas, motivada por la alta productividad de esos microorganismos por área y por los altos grados de ácidos grasos por peso seco que algunas especies poseen.

En el Centro de Investigación y Desarrollo del Transporte de Cuba en la actualidad han logrado avances en la introducción del etanol como combustible en el transporte automotor, teniendo en consideración las características del país que están estrechamente relacionadas con la producción azucarera que es una de las fuentes fundamentales de obtención de etanol. Se basó en el empleo de etanol hidratado para mezclar con gasolina y diésel. Se mezcló un 25% de etanol en gasolina y un 25% de etanol en diésel, pero en este caso se presentó el inconveniente de la utilización de un kit para la alimentación independiente de etanol y diésel lo cual significa una complicación en el sistema de alimentación.

En América Latina la producción de biocombustibles es liderada por Brasil, Argentina y Colombia, según datos del último estudio sobre biocombustibles publicado por la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), y se ha convertido en la mejor opción de fuente energética para competir con el petróleo, dados los avances tecnológicos —combustibles flexibles— con que cuentan estos países, para el abastecimiento y el consumo, particularmente en sectores como el transporte (Coelho, 2005). El consumo de biocombustibles utilizados en Latinoamérica para el transporte se muestra en la tabla 3.1.

En América Latina el mayor interés en los biocombustibles se tiene en la fabricación de bioetanol, con una producción cercana a los 26,3 billones de litros, con una participación de Brasil (34,2%).

Tabla 3.1 - Consumo de biocombustibles utilizados en el sector del transporte. Fuente: adaptado de CEPAL (2009).	
País	Biocombustible (%)
Brasil	21,57
Cuba	3,06
Nicaragua	4,24
Guatemala	2,74
Argentina	1,12
Ecuador	0,92
México	0,07

Seguido de Colombia (0,4%) y Argentina. En este sentido se evidencia el buen desempeño de Latinoamérica cuando se compara con Estados Unidos, que encabeza la producción con el 54% (REN21, 2009). Sin embargo, al considerarse la eficiencia en la producción de biocombustibles no se analizan los insumos o entradas del proceso productivo que maximicen la producción de dichos combustibles orgánicos, intentando mejorar la economía interna de estas regiones y la posición de América Latina en las próximas décadas. (Gómez, 2016)

El potencial de destrucción de la capa de ozono del Biodiesel es menor que lo del diésel: esta cifra es cercana de 50%, debido en gran parte a que las emisiones de sulfatos y óxidos de azufre son eliminadas con el Biodiesel puro. Estos son componentes principales de la denominada lluvia ácida y se ligan a la formación de partículas principalmente por el contenido de azufre y el contenido de componentes aromáticos pesados.

Las emisiones están reducidas con el uso del Biodiesel: Ensayos muestran que el uso del Biodiesel en los motores diésel provoca una importante reducción de los hidrocarburos totales sin quemar, del monóxido de carbono y de las partículas en suspensión. Las emisiones de los óxidos de nitrógeno están similares o aumentan ligeramente.

Monóxido de carbono: Las emisiones del monóxido de carbono (gas venenoso) del Biodiesel son, en promedio, 44% más bajas que las generadas por el diésel.

Partículas en suspensión: Fue mostrado que respirar las partículas supone un riesgo para la salud (pueden ser cancerígenas). Las emisiones de las partículas en suspensión del Biodiesel son, en promedio, 40% más bajas que las generadas por el diésel.

Hidrocarburos totales sin quemar: Las emisiones de los hidrocarburos totales sin quemar (factor contribuyendo a la formación del “smog” y del ozono) son, en promedio, 68% más bajas que las generadas por el diésel.

Óxidos de nitrógeno: Las emisiones de óxidos de nitrógeno (factor contribuyendo a la formación del “smog” y del ozono) aumentan, en promedio, de 6% en comparación a las hechas por el diésel. En realidad, esas cifras dependen mucho del diseño del motor (carros, buses, máquinas de obras públicas, etc.), de la composición del combustible y de su utilización. En efecto, según el tipo del motor, su edad, su uso, los datos varían ligeramente, pero en general, la tendencia sigue bien las cifras expuestas anteriormente.

Opacidad: El humo negro visible al escape es menos importante en el momento del arranque con el Biodiesel.

3.2 - Problemas en el motor por el uso de biodiesel

El desempeño del motor diésel se evalúa en base a las siguientes características:

- Facilidad de arranque
- Desarrollo de potencia
- Nivel de ruido
- Economía de combustible
- Desgaste (lubricidad)
- Operatividad a baja temperatura
- Duración del filtro y emisiones de escape

Por lo tanto, si se evalúa el funcionamiento del motor, según esas características, éste depende del diseño del motor y el combustible.

Hay una serie de problemas potenciales al motor cuando se utiliza biodiesel neto o en mezclas, siendo algunas de ellas las que se describen a continuación, y además se muestran algunas imágenes de oxidación y taponamiento de filtros.

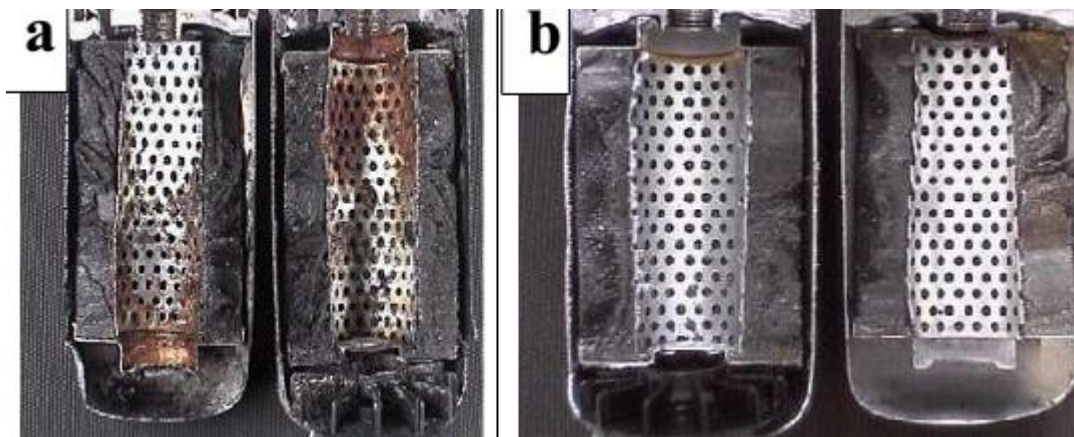


Figura 3.1 - Éster metílico de raps a), Diesel b). Oxidación y taponamiento de filtros.

Los índices Octano y Cetano son índices para cuantificar el comportamiento de los combustibles, según se trate de gasolina o diesel, respectivamente. Las características de cada uno son:

Octano: mide la capacidad de una gasolina para resistirse a que se inicie el proceso de combustión de la misma con O_2 a pesar de haber alcanzado la temperatura de auto combustión. Es una comparación entre la resistencia a la combustión que opone el Iso-octano 2 dimetil-4-metil pentano, al que se le asigna un valor de 100, es decir, mucha resistencia, y el Heptano (C_7H_{16}) muy poco resistente y el asigna un valor 0.

Cetano: se utiliza en diésel y mide cuánto tiempo debe transcurrir desde que se inyecta el combustible hasta que se inflama. Así, mientras mayor es el índice, menor es el intervalo. Una combustión de calidad ocurre cuando se produce una ignición rápida seguida de un quemado total y uniforme del carburante, por dicha razón cuanto más elevado es el número de cetano, menor es el retraso de la ignición y mejor es la calidad de combustión. Por el contrario, aquellos carburantes con un bajo número de cetano ocurra la ignición y después queman muy

rápidamente, produciendo altos índices de elevación de presión. Si el número de cetano es demasiado bajo, la combustión es inadecuada y da lugar a ruido excesivo, aumento de las emisiones, reducción en el rendimiento del vehículo y aumento de la fatiga del motor. Humo y ruido excesivos son problemas comunes en los vehículos diésel, especialmente bajo condiciones de arranque en frío. (Raposo, 2011)

3.3 - Resultados de pruebas de laboratorios de motores diésel alimentados con biocombustible.

Los motores diésel modernos se utilizan en gran parte del equipamiento mundial, sobre todo, son las principales fuentes de energía disponibles para el transporte automotriz personal y comercial y cada vez tienen mayor popularidad.

Para tener unas pruebas de laboratorios de motores diésel es necesario algunos parámetros que son:

- **Métodos**

Las pruebas para obtener los parámetros del motor se realizaron en el laboratorio de motores Diésel del Departamento de Ingeniería Mecánica Agrícola, perteneciente a la Universidad Autónoma Chapingo. Las condiciones de la prueba fueron: temperatura atmosférica de 297.15 K (24 °C), altitud de 2 250 m.s.n.m. con presión atmosférica de 78 kPa y humedad relativa del 38 %, obtenidas en el Observatorio Metereológico de Chapingo. Para realizar las mediciones de los parámetros que permiten construir las curvas características del motor se utilizaron los equipos e instrumentos:

- Motor volkswagen SDI 1.9 L.
- Banco de pruebas Armfield Diésel Engine CM12 (Figura 3.2).
- Escáner Launch VEA 501 Emission Analyzer.
- Escáner Launch X-431 pro.
- Balanza electrónica de precisión de 0,1 g.
- Cronómetro de precisión 0,01 s.
- Computadora con programa para operar el banco de pruebas.

Durante las pruebas del motor se utilizó la norma SAE J1995:14 (2014), que establece la metodología para ajustar los parámetros “brutos” del motor de

combustión interna (MCI), como el torque, la potencia, los consumos horario y específico, entre otros, a condiciones normales establecidas.

La potencia “neta” es la que se obtiene manteniendo todos los accesorios conectados como viene en el motor o vehículo del fabricante.

El banco Armfield Diésel Engine CM12 según Armfield Limited (2015), utilizado como freno dinamométrico, tiene una bomba de agua que sustituye a la bomba de agua del motor Volkswagen 1.9 SDI, además, al motor se le retiraron los catalizadores, silenciador, tubería de escape, ventiladores, alternador y filtro de aire. El freno es de tipo eléctrico de corriente parasitaria, posee un panel de control y un dispositivo para determinar la depresión durante la admisión de aire. También, cuenta con un software que se instala en un equipo de cómputo para mostrar en una pantalla las múltiples posibilidades de trabajo (ver figura 3.2): botón para arrancar el motor (1); botones para variar el freno (2) y la carga (3); indicadores de la velocidad (4) y, el torque y la potencia (5); botones para guardar los datos (6), graficar las curvas (7) y exportar los datos a Excel en un dispositivo extraíble.

La metodología general de las pruebas se resumen en los siguientes pasos: a) poner en marcha el motor, comprobar el buen funcionamiento de todos los instrumentos y equipos y llevar el motor a su temperatura de trabajo; b) situar la carga en su magnitud constante (100, 75, 50 y 25%), para las características de velocidad o la velocidad constante (máxima potencia, 75, 50 y 25% de la primera), para las características de carga; c) variar el freno del banco en las magnitudes correspondientes al régimen de prueba; d) estabilizar el régimen; e) tomar los datos de las mediciones con los instrumentos (balanza, cronómetro y escáneres) y presionar el botón verde (6) de la Figura 3.2 para guardar los datos del dinamómetro; f) pasar a la siguiente medición y repetir los pasos.

Los datos primarios de interés para la investigación que ofrece el programa del banco son el torque (M_e), la potencia (N_e) y la frecuencia de rotación o velocidad del motor (n). El consumo horario y específico de combustible se determinaron por dos métodos: a) utilizando una balanza y un cronómetro y, b) utilizando el escáner Launch X-431 pro.

Para el cálculo del consumo horario por el método de la balanza se utilizó la ecuación:

$$G_h = \Delta g / \Delta t \cdot 3.6$$

(3.1)

Donde:

Δg - Consumo de combustible durante el tiempo Δt , en g; $\cdot g = 10$ g,

Δt - Tiempo transcurrido en consumir los Δg gramos de combustible, en s.

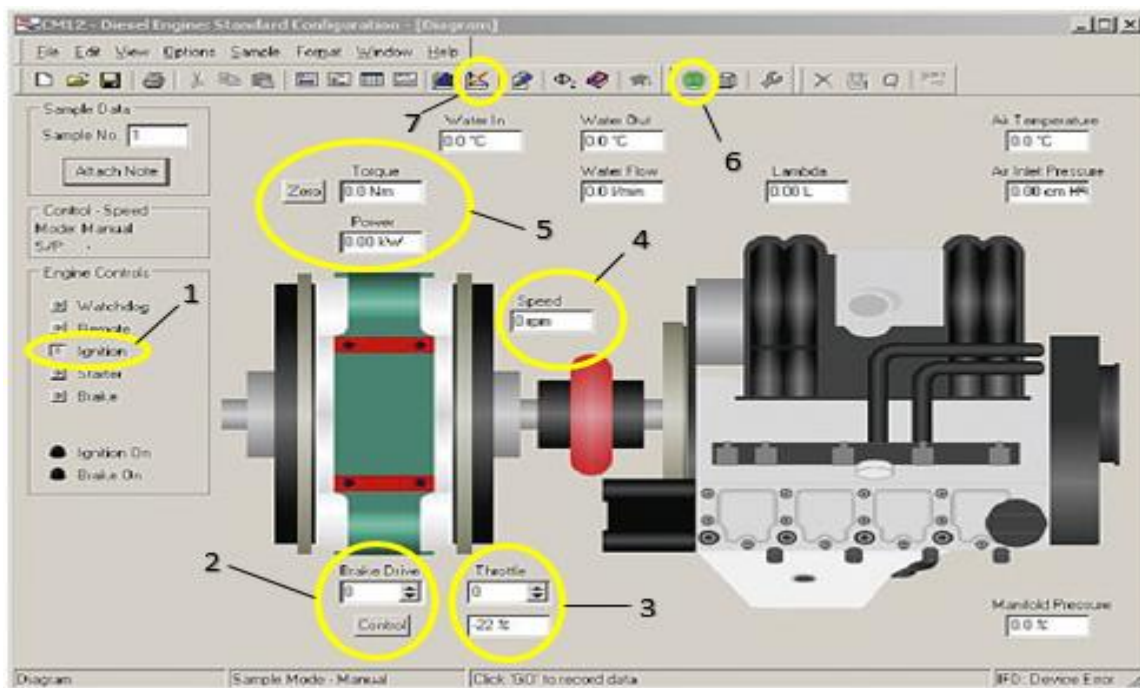


Figura 3.2 - Pantalla principal del programa del banco de pruebas Armfield Diésel Engine CM12 (Armfield Limited, 2015).

Para el cálculo del consumo horario por el método del escáner Launch X-431 pro Tecnofuel (2015), se utilizó la ecuación (3.2):

$$G_s = V_e \cdot i \cdot n_{12} \cdot 104$$

(3.2)

Donde:

G_s - Cantidad de combustible consumido, g/s

V_e - Cantidad de combustible entregado por cada apertura, embolada o golpe de un inyector, mg/emb o mg/str

i- Cantidad de cilindros del motor

n- Frecuencia de rotación del motor, min^{-1}

El consumo horario de combustible, Gh se calcula por la ecuación (3.3)

$$Gh = G_s \cdot 3.6$$

(3.3)

Este procedimiento se realiza para la toma de datos de los valores obtenidos por el escáner Launch X-431 pro en cada una de las pruebas de carga y velocidad.

Para obtener el consumo específico de combustible en $[\text{g/kWh}]$, se utilizó la ecuación (3.4):

$$g_e = Gh \cdot 103 N_e$$

(3.4)

Donde:

Gh - consumo horario de combustible, en kg/h

N_e - potencia efectiva del motor, en kW.

En esta investigación se utilizaron dos métodos de corrección o ajuste de los datos obtenidos en las condiciones de la prueba a condiciones estandarizadas, con lo cual se pueden comparar y evaluar el motor ensayado con las especificaciones técnicas del fabricante. De manera general, la norma GOST 18509:88 (1988), establece el factor de corrección de potencia y consumo específico se calculan por las ecuaciones (3.5 y 3.6):

$$N_{eo} = k_N \cdot N_e$$

(3.5)

$$g_{eo} = k_{ge} \cdot g_e$$

(3.6)

Donde:

N_e, g_e - potencia efectiva y el consumo específico efectivo de combustible, respectivamente, obtenidos durante los ensayos.

k_N, k_{ge} - coeficientes de corrección de la potencia y del consumo específico efectivo de combustible, respectivamente.

Los coeficientes de corrección se determinan según las ecuaciones :

$$KN = 0.83p_{comb20} \cdot (1 - k_A \Delta A_{cir}) \cdot (1 - k_t \Delta t_{cir}) \cdot (1 - k_{tcomb} \Delta t_{comb}) \quad (3.7)$$

$$K_{ge} = (1 - k_A \Delta A_{cir}) \cdot (1 - k_t \Delta t_{cir}) \quad (3.8)$$

Los coeficientes y parámetros que se encuentran en las ecuaciones (3.7) y (3.8) aparecen en la norma GOST 18509:88 (1988).

Los coeficientes de corrección utilizando el método de la norma SAE J1995:14 (2014), establece que la potencia al freno corregida para los motores de encendido por compresión se calcula por la ecuación (3.9):

$$B_{pc} = (CA \cdot CF) \cdot B_{po} \quad (3.9)$$

Donde:

CA– factor de corrección atmosférico,

CF– factor de corrección del combustible,

B_{po}– Potencia del freno obtenida.

El factor de combustible F_c para determinar el consumo específico se expresa por la ecuación (3.10):

$$F_c = (S_{Gr} S_{Go} \cdot F_v) \cdot F_o \quad (3.10)$$

Los coeficientes y parámetros que se encuentran en las ecuaciones (3.9) y (3.10) aparecen en la norma SAE J1995:14(2014).

El coeficiente de exceso de aire α o índice lambda λ , utilizando el escáner Launch VEA-501 (launch Tech limited 2016), se determina aplicando la ecuación de Joannes Brettschneider, en la que el balance entre oxígeno y combustible se mide con el uso o mediante la comparación de la proporción entre las moléculas de oxígeno y las de carbono e hidrógeno en los gases de escape. La ecuación adquiere la forma dada en la ecuación 3.11.

$$\lambda = \frac{[CO_2] + \left[\frac{CO}{2} \right] + [O_2] \left[\frac{NO}{2} \right] + \left(\left(\frac{HCV}{4} \cdot \frac{3.5}{3.5 + \left[\frac{CO}{CO_2} \right]} \right) - \frac{OCV}{2} \right) ([CO_2] + [CO])}{\left(1 + \frac{HCV}{4} - \frac{OCV}{2} \right) * ([CO_2] + [CO] + (C_{factor} * [HC]))} \quad (3.11)$$

Donde:

[CO₂], [CO], [O₂], [NO] – concentración de cada uno de los gases de escape en % del volumen,

3.5 – proporción entre CO y CO₂,

Cfactor – cantidad de átomos de C en cada una de las moléculas de hidrocarburos,

HCV– proporción de átomos de hidrógeno y carbono en el combustible,

OCV– proporción de átomos entre oxígeno y carbono en el combustible.

3.4 - Resultados y discusión

Los datos obtenidos fueron procesados con los programas Office Excel 2016 obteniéndose los parámetros: torque, potencia, consumos horarios y específicos de combustible, así como las leyes teóricas de mayor ajuste de la variación de estos parámetros efectivos del motor, en la zona de trabajo. Los coeficientes de corrección por la norma Gost18509:88 obtenidos fueron:

$k_N=1,22$; $k_{ge}=0,89$ $k_N=1,22$; $k_{ge}=0,89$ mientras que por la norma SAEJ1995: 14 (2014), fueron: potencia al freno $B_{pc}=1,22$ y el factor de corrección del combustible $F_c=1,04$.

De esta manera se obtuvieron las (curvas de variación de parámetros efectivos del motor). Características de velocidad (con balanza y escáner): externa (100% carga constante) y parciales a: 75, 50, y 25 % de cargas constantes. Características de carga (con balanza y escáner: externa a 3747 min^{-1} constante y parciales a: 2810, 1860 y 1050 min^{-1} constantes. (Cabrera, 2019)

En Cuba, se han estado realizando en los últimos años investigaciones importantes en temas de biocombustibles, en especial el bioetanol y el biodiesel. En este trabajo solo se hará referencia al biodiesel.

El biodiesel es una alternativa energética real que, manejada adecuadamente, no compite con la producción de alimentos. Al respecto, una parte importante de los productores en el mundo están centrando la producción de biodiesel partiendo de plantas oleaginosas no comestibles como la *Jatropha* e *Higuereta*, que además ofrecen los mayores rendimientos por hectáreas de biodiesel.

Los motores diésel al trabajar con biodiesel experimentan una pérdida de potencia debida principalmente al menor poder calorífico del biodiesel, aunque esto se ve compensado con el hecho de ser este un recurso renovable y sin impacto negativo en el medio ambiente. Por otra parte, se conoce que su utilización en un Motor de Combustión Interna (MCI) puede traer algunos problemas de desgaste y problemas de depósitos en los inyectores. En ese sentido, una vez que se conocen las ventajas y desventajas cualitativas del empleo del biodiesel en los MCI es necesario evaluar cuantitativamente la aptitud de los MCI trabajando con combustible biodiesel. Es de resultados del presente trabajo está dirigido a

caracterizar el desempeño de dos tipos de motores con similares características técnicas trabajando con combustible diésel convencional y diferentes tipos de biodiesel. El desempeño de los MCI será valorado en base al consumo específico de combustible, la potencia efectiva, el torque, el retardo de ignición y las emisiones de gases de la combustión.

3.4.1 - Materiales y métodos

Para la realización de los ensayos fueron empleados dos bancos de pruebas de MCI. Las características técnicas principales de los dos motores estudiados se muestran en la Tabla 1. En el caso del motor A se realizaron pruebas con biodiesel obtenido a partir de aceite de soya (BD-soya) y diésel. En el caso de las pruebas con el motor B fueron utilizados dos tipos de combustibles biodiesel, uno de ellos a partir de aceite de palma (BD-palma) y otro a partir de aceite de colza (BD-colza).

En el motor A, la medición del gasto de combustible o consumo específico se realizó con aplicación del método gravimétrico y las emisiones de NO_x fueron medidas con un analizador de gases con capacidad de medición entre 0 y 3000 ppm $\pm$ 1 ppm. Las pruebas para la confección de la característica exterior fueron realizadas en el rango de velocidades 1000-2800 rpm.

Tabla 3.2 - Características técnicas de los motores utilizados		
Item	Motor A	Motor B
Marca	Yuchai	Volvo
Modelo	YC61108Q	TD60B
Tipo	Vertical, en línea, cuatro tiempos, enfriamiento por agua.	Vertical, en línea, cuadro tiempos, enfriamiento por agua.
Sistema de inyección	Inyección directa	Inyección directa
Numero de cilindros	6	6
Diámetro del cilindro(mm)	108	98

Desplazamiento total (cm ³)	6871	5480
Proporción de compresión	16.5:1	16.0:1
Potencia nominal(KW)	100	120
Velocidad de relación nominal	2800	2800
Torque máximo (Nm)	428	428

Tabla 3.3 - Propiedades físicas de los combustibles empleados				
Propiedades	BD-Soya	BD-Colza	BD-Palma	Diésel
Densidad (g/cm ³)	0.881	0.884	0.876	0.846
Viscosidad dinámica (mPaS)	6.8	6.5	5.0	5.0

3.4.2 - Resultados experimentales.

Derivadas de las mediciones, los resultados de las propiedades físicas de los combustibles se muestran en la Tabla 3.2. Para la obtención de la característica exterior de velocidad en el motor A, trabajando a diferentes velocidades con diésel (patrón) y con biodiesel, se determinaron los parámetros de potencia efectiva (Ne) en kW, torque efectivo en (Te) en Nm y consumo específico de combustible (CEC) en g/kW-h.

En las Figuras 3.2 y 3.3 se muestran las características exteriores de velocidad obtenidas al motor A trabajando con combustible diésel y BD-soya respectivamente. En ellas se evidencia un aumento de los parámetros analizados con el aumento de las rpm, excepto el torque efectivo que acusa un máximo alrededor de las 2000 rpm. Los resultados obtenidos son similares a los reportados por otros autores. En el caso del consumo específico se observa un valor mínimo y también cercano al 2000 rpm.

En las dos características exteriores de velocidad obtenidas al motor A se observa una tendencia muy similar de los parámetros analizados en todo el rango de velocidades. El torque efectivo en ambos casos tiene un máximo alrededor de las 2000 rpm. La pérdida de momento efectivo tomando como referencia al diésel es de hasta un 17% para el motor trabajando con combustible BD-soya. Es evidente que el tipo de combustible ejerce influencia sobre las características indicadoras debido a que puede ocasionar variación en los parámetros de inyección y de atomización, la capacidad de evaporación y la inflamabilidad.

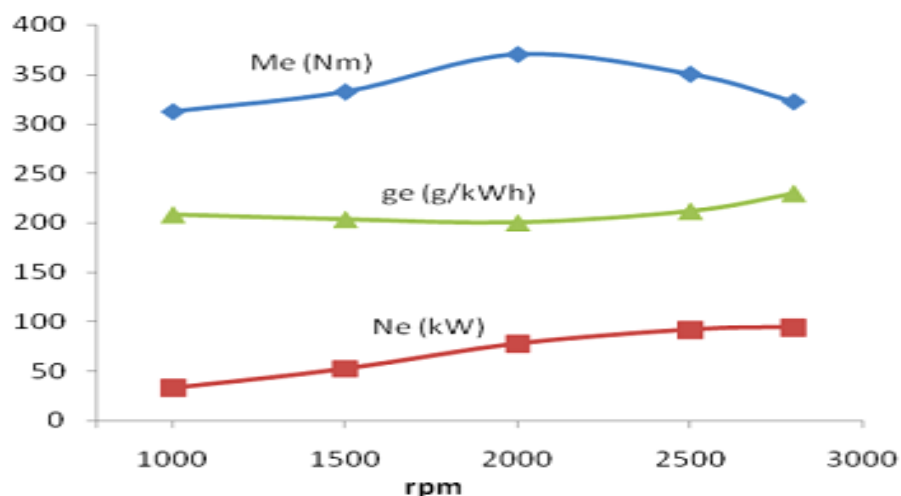


Figura 3.2 - Característica exterior de velocidad obtenida en el motor A con combustible diésel.

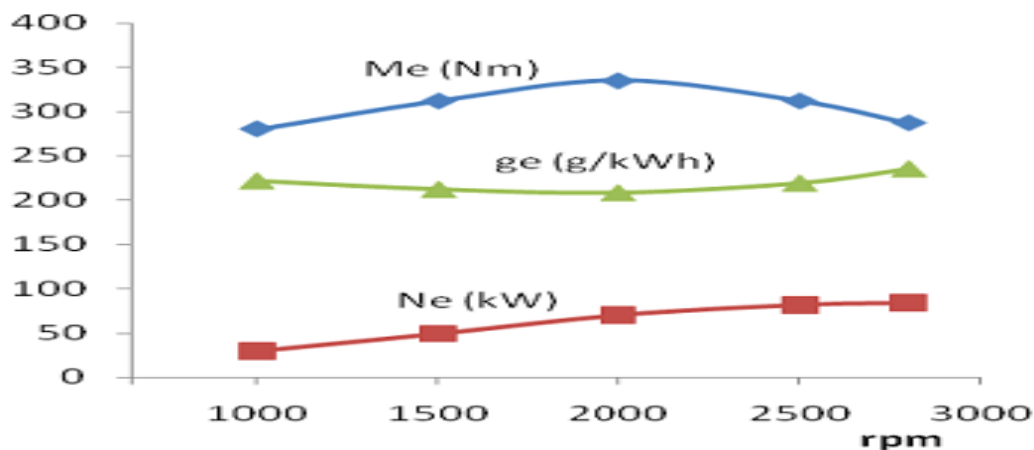


Figura 3.3 - Característica exterior de velocidad obtenida en el motor A con combustible BD-soya.

Respecto al consumo específico de combustible (CEC), se observó el mismo comportamiento general y típico en un motor de combustión interna, fue corroborada una disminución del consumo con el aumento de las rpm debido a mejora del proceso de combustión, hasta un punto a partir del cual la calidad del proceso de combustión comienza a disminuir debido a un empeoramiento del aprovechamiento de la energía calorífica. En este punto se alcanza el valor máximo de eficiencia indicadora y eficiencia mecánica. Es de observar que este punto de mínimo en el CEC coincidió con el máximo torque debido a la correlación existente entre ambos parámetros. El aumento del CEC fue observado mayor entre un 6-7% para el motor trabajando con biodiesel comparado con el diésel. Se han reportado resultados similares con un aumento del consumo específico de combustible para pruebas con mezclas de BD-soya y esto se debe al menor poder calórico del biodiesel respecto al diésel.

En la comparación del consumo entre ambos combustibles biodiesel, utilizados en los ensayos con el motor B, no se observa una tendencia a la superioridad de uno con respecto al otro. Los resultados comparativos con el diésel en el caso del consumo de combustible en el motor B están acordes a los obtenidos con el motor A en otras condiciones experimentales y con BD-soya. En cuanto al CEC se observa nuevamente que este parámetro incrementa su valor al cambiar de combustible diésel a biodiesel, de igual forma que en las pruebas reportadas anteriormente con el motor A.

En las pruebas con el motor A trabajando con combustible biodiesel se observó un aumento del consumo específico de combustible, disminución de la potencia efectiva y del torque efectivo.

Las emisiones de NOx en el motor A no variaron significativamente cuando se utilizó combustible biodiesel.

En las pruebas con el motor B, se observó un aumento del consumo específico de combustible cuando se utilizaron ambas muestras de biodiesel. Con el uso de biodiesel en el motor B fue observado que aumentan las emisiones de CO y NOx, disminuyen las emisiones de inquemados (HC) y no se reportaron cambios apreciables en las emisiones de CO₂, O₂.

En las pruebas con el motor B fue observado que el retardo de ignición es menor cuando se utiliza biodiesel, lo cual evidencia el mayor índice de cetano del biodiesel respecto al combustible diésel. (R. Piloto Rodríguez, 2008)

3.5 - Indicadores de Consumo de Combustible del Motor

Para valorar el consumo de combustible del motor, se utilizan como indicadores: el consumo horario G_t y el consumo específico de combustible (g_e). El consumo horario, no es más que la cantidad de combustible, en kg, que se consume en una hora de trabajo del motor, y puede determinarse por vía experimental, utilizando la expresión (3.12):

$$G_t = \frac{3600 \cdot q \cdot \rho_c}{t} \quad (\text{kg/h}) \quad (3.12)$$

Donde: q - consumo en litros durante un tiempo t , en segundos

ρ_c - densidad del combustible, kg/l

El consumo específico, por su parte, representa la cantidad de combustible consumida en gramos, en una hora, por unidad de potencia efectiva del motor.

Como puede observarse de su definición, el consumo horario nos muestra el gasto físico de combustible por unidad de tiempo, independiente de la potencia que genera el motor, mientras el consumo específico engloba este concepto y lo relaciona con la potencia generada. Por ello, el consumo específico es el indicador más integral de consumo del motor. (3.13)

Ambas magnitudes se pueden relacionar a través de la expresión (3.13):

$$g_e = \frac{G_t \cdot 10^3}{N_e} \quad (\text{g/kW.h}) \quad (3.13)$$

Donde: N_e - potencia efectiva del motor, kW

g_e - consumo específico de combustible, g/kW.h

Las gráficas básicas para evaluar el consumo de combustible en el motor, son las características de carga, o sea, aquéllas que muestran la dependencia de $G_t=f(N_e)$ y $g_e=f(N_e)$ para frecuencia de giro constante del cigüeñal del motor.

La característica exterior de velocidad se usa en cálculos de consumo, pero fundamentalmente como una gráfica auxiliar, puesto que la mayor parte del tiempo

el motor de las máquinas automotrices trabaja en cargas parciales, lo cual no se corresponde con las condiciones de construcción de dicha característica.

3.5.1 - Indicadores de Consumo de las Máquinas Automotrices.

Como indicador fundamental del consumo de combustible, en la mayoría de las máquinas automotrices, se utiliza el consumo recorrido (Q), que se define como la cantidad de combustible consumido, en litros, por cada 100 km de recorrido. Este indicador es más utilizado en vehículos ligeros. Para la determinación del consumo recorrido por vía experimental se emplea la expresión:

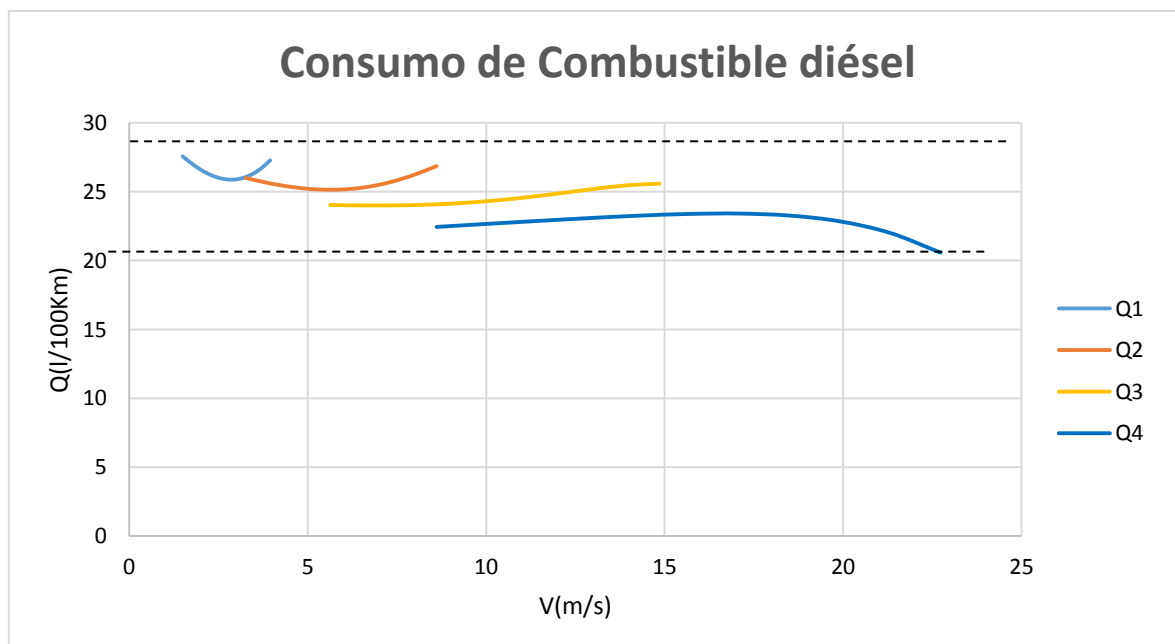
$$Q = \frac{100 \cdot q}{S} \quad (\text{l/100km}) \quad (3.14)$$

Dónde: q - es el consumo en litros durante un determinado recorrido S, en km.

A menudo para la valoración de la economía de consumo, en vehículos de carga fundamentalmente, se utiliza también como indicador el consumo recorrido específico (Q_t), que no es más que la cantidad de combustible consumido, en litros, en la unidad de trabajo de transportación (t.km).

$$Q = \frac{g_e \cdot N_{enec}}{36 \cdot \rho_c \cdot V} \quad (3.15)$$

Donde: N_{enec} -representa la potencia que necesita generar el motor para vencer las resistencias al movimiento de la máquina automotriz y las pérdidas internas que se crean a lo largo del sistema de transmisión. Fuente: Máquinas Automotriz 4to año de ingeniería Mecánica. 2do semestre en 2018. Según las comparaciones en el Excel con el tipo de vehículo Ómnibus con los datos dados en tabla 3.4 en lo



anexo. y usando diferentes combustibles, diésel y biodiesel. Figura 3.4 y 3.5.

Figura 3.4 - consumo de combustible diésel en diferentes marchas

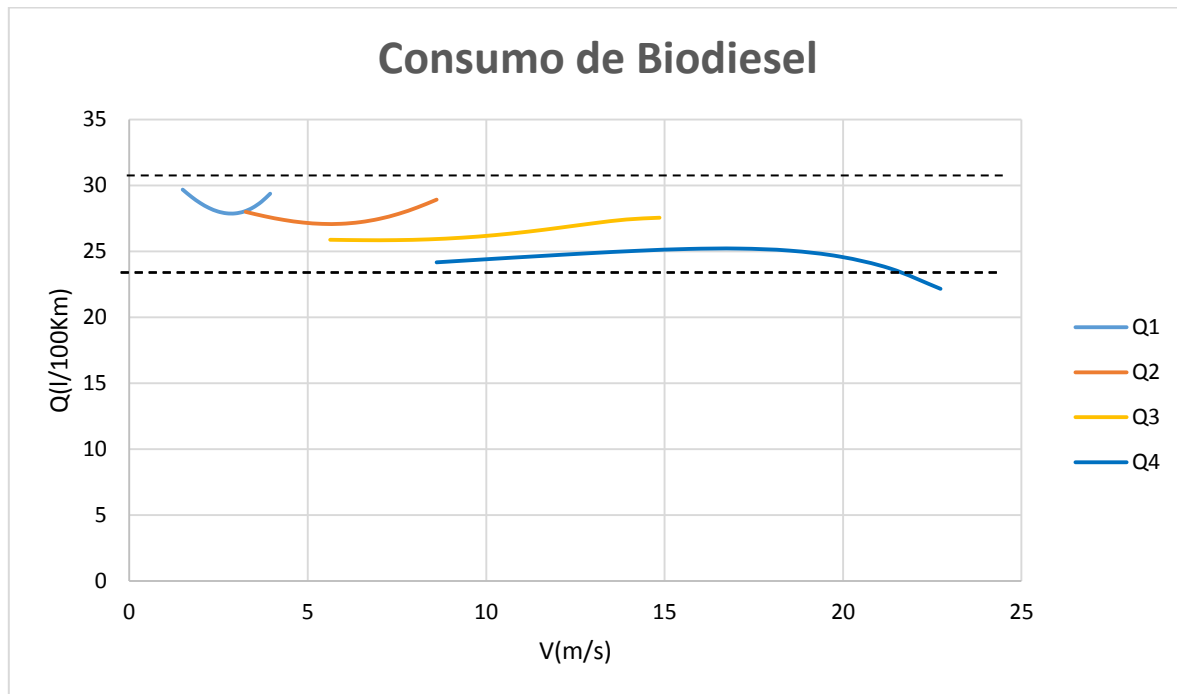


Figura 3.5 - Consumo de biodiésel en diferentes marchas.

Según resultados obtenidos de las comparaciones de comportamientos del consumo de combustibles nos muestran ha destacar que el consumo (litro/100 km) cuando se consume combustible diésel es menor que cuando consumes biodiesel.

Para el combustible diésel el consumo está entre 21 a 27 (l/100 km) (valor medio 24,0) para las distintas marchas, mientras que para el biocombustible está entre 24 y 31. (Valor medio 27,5). Si se relacionan los valores medios de los consumos específicos se tiene: $(24/27,7) \cdot 100 = 87,27\%$. Con el combustible diésel se tiene un consumo que es el 87,27 % del que se tiene cuando se usa el biodiesel. También se puede expresar como que con biocombustible se tiene un consumo superior en un 12,7% que cuando es usado el combustible diésel.

En relación la emisión de dióxido de carbono se puede decir que emiten cantidad diferentes en la atmosfera ambos combustibles ya que el diésel emite unos 0.08 de CO_2 y el biodiesel 0.04 CO_2 .

Los cambios en la tracción y la potencia

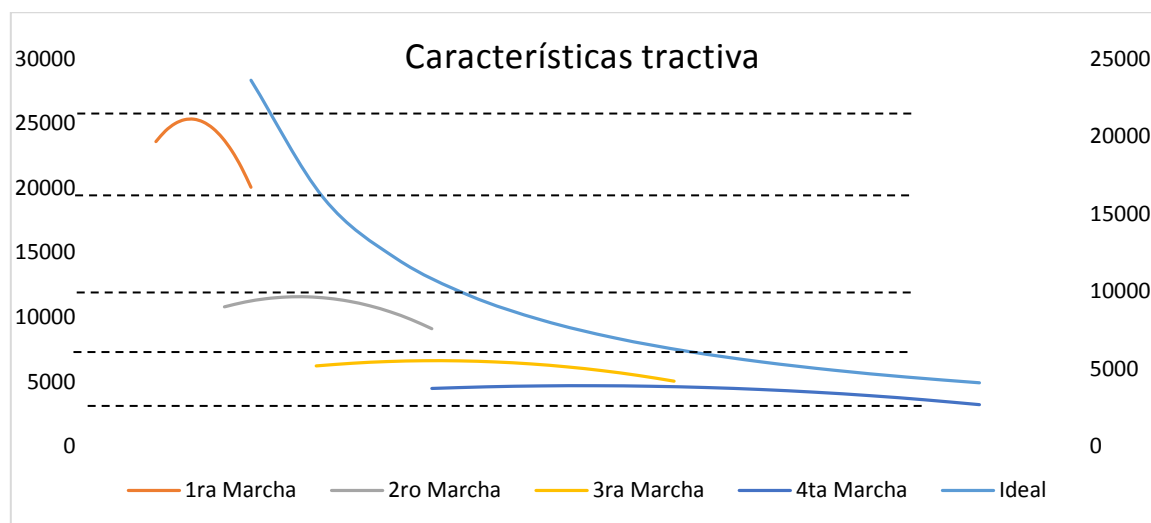


Figura 3.6 - Comportamiento de las marchas del vehículo.

La economía cubana dedica más del 50% de las importaciones de petróleo como fuente energética para sus procesos productivos, por lo que desarrolla aceleradamente un conjunto de programas, con una estrategia orientada a dos direcciones principales de trabajo: El ahorro y uso eficiente de la energía y la búsqueda de nuevas fuentes renovables. (Crespo Sánchez, 2014)

De acuerdo a cálculos preliminares es posible lograr anualmente, a través de las fuentes de energía renovable un ahorro de 1 054 300 toneladas equivalentes de petróleo. De ellas la bioenergía (incluyendo biomasa y biocombustibles) representa: 1 025 500 t de petróleo equivalente, encerrando una perspectiva tentadora y constituyendo la vía con mayores potencialidades en el corto, mediano y largo plazo. En 1991 la Comisión Nacional de Energía con la colaboración de un grupo organismos centrales, reinicio los estudio sobre las fuentes nacionales de energía y su posible aprovechamiento. Es elaborado un Programa de Desarrollo de las Fuentes Nacionales de Energía, que identificó como las fuentes nacionales

de energía con mayores y más inmediatos resultados: el petróleo crudo nacional y la agroindustria azucarera. (Crespo Sánchez, 2014)

El Biodiesel sustituye como combustible limpio y renovable a los derivados del petróleo, concretamente al diésel y lo hace con ventaja ecológica ya que reduce las emisiones de gases que provocan el efecto de invernadero. Así, por ejemplo, el uso de una tonelada de Biodiesel, evita la producción de 2.5 toneladas de dióxido de carbono (CO_2 .) y sobre todo elimina, si se usa el Biodiesel solo en los motores, las emisiones de azufre (SO_2 .), evitando las lluvias ácidas; además, lo que es fundamental: es un combustible renovable y no limitado como los hidrocarburos. (Santo, Toledo, Garza, & Fernández, 2012)

3.6 - Opinión de los investigadores con relación al comportamiento de las características externas de los motores diésel usados en el transporte automotor y su rendimiento en explotación real.

Algunos autores dicen que los métodos de determinación teórica del consumo de combustible son aproximados, por tanto, no deben utilizarse nunca con fin de normación, sino para tener una apreciación de funcionamiento del vehículo o para realizar valoraciones comparativas entre varios vehículos, entre variables de composición para un mismo vehículo, o incluso, con fines de modelación de un ciclo de viaje. En sentido general, es criterio de los especialistas decir, Por último, resaltar, que aunque el consumo de combustible posee una gran incidencia sobre los costos de operación, no siempre se debe seleccionar el régimen de velocidad que garantice los menores indicadores de consumo, pues con mayor velocidad se incrementa el rendimiento. Con ello se quiere expresar, que la elección del régimen de trabajo debe ser un compromiso entre el consumo y el rendimiento, de manera que se reduzcan los costos unitarios del proceso de transportación.

Los expertos de departamentos de ingeniería Química y Bioprocesos de la Universidad Católica de Chile lograron resultados positivos en la producción del biodiesel a partir de microalgas para motores de altas cilindrada, consideran que este combustible permitiría reducir hasta un 80% la emisión de gases y materiales particulados en ómnibus y camiones, el proceso hace crecer suficientemente el

alga, para luego fragmentarla y extraer aceite que, tras eliminar su humedad y otros residuos se puede usar para elaborar el biocombustible. Sin embargo, el experto reconoce que “producir una cantidad suficiente como para usarla en combustible, requiere una gran cantidad de biomasa y ese es en realidad uno de nuestro desafío como ingeniería”. (Saez, 2017)

En relación con la investigación mundial sobre biodiesel, existe un amplio movimiento internacional alrededor del tema y en los últimos años, se ha publicado mucha literatura especializada. Indudablemente, constituye un tema clave y estratégico, donde la voluntad política de los países (principalmente las naciones desarrolladas) desempeña un papel primordial a la hora de afrontar racional y éticamente los retos que se avecinan.

Las primeras pruebas técnicas con este combustible vegetal se realizaron en 1982 en Austria y Alemania, aunque fue en 1985, en Silberberg (Austria), donde se construyó la primera planta piloto productora de biodiesel a partir de las semillas de colza o canola. Alemania, Austria, Canadá, Estados Unidos, Francia, Italia, Malasia y Suecia son pioneros en la producción, ensayo y uso de biodiesel en automóviles. (Rodríguez, Jorge, García, & Ruiz, 2008)

Otros expertos la relación entre el nivel de desgaste y el contenido de azufre ha sido comprobada por diferentes autores, todos ellos han mostrado en los resultados obtenidos una elevada influencia simultánea del porcentaje de azufre en el combustible sobre el desgaste de los segmentos y la camisa de los motores. (Martínez, 2005)

Para garantizar el uso de este producto en los motores de combustión interna es conveniente que el combustible cumpla con los lineamientos de las normas. Por lo anterior, el aceite vegetal necesita exhibir y mantener una reserva de la calidad como combustible para el transporte y el almacenamiento. El cumplimiento de los valores límites establecidos por las normas es fundamental para garantizar la seguridad del funcionamiento de los motores, por lo que es importante poner especial atención a ese aspecto mediante un desarrollo programado con pruebas

de validación, para cumplir fielmente con el procedimiento del uso de los aceites en los motores.

Los riesgos más comunes que pueden manifestar los motores de hoy en día, al no cumplir con los límites establecidos por las normas que han sido desarrolladas para este propósito son; presencia de carbón, impurezas totales, contenido de P, Ca y Mg, mayor cantidad de ácidos y estabilidad de oxidación. Por lo anterior es conveniente instalar un sistema de control que asegure una calidad uniforme del aceite. (Laurel, Kipping, & Schümann, 2012)

Conclusiones parciales - 3

- 1 - El biodiesel, al ser un combustible oxigenado y no contener azufre, tiene una combustión más completa que el diésel y, por ello una composición notoriamente mejor en sus emisiones. La combustión del biodiesel produce menos humo visible y menos olores desagradables que los derivados del petróleo, por lo que su uso como sustituto o complemento del diésel puede contribuir a disminuir la polución del aire y los riesgos a la salud pública relacionados con ella.
- 2 - Los resultados obtenidos en la gráfica 3.4 y 3.5, del consumo de combustibles muestran que el motor trabajando con biodiesel consumo un poco más (13%) que el propio motor operando con diésel, pero la emisión de dióxido de carbono es más contaminante a la atmosfera.
- 3 - Resultan satisfactorio los resultados obtenidos en el banco de ensayo que muestra características externas del motor trabajando con biocombustibles, muy similares a las obtenidas con combustible diésel.

CONCLUSIONES GENERALES

No todos los biocombustibles son viables para algunas aplicaciones, ya por los costos de producción relativamente superiores a los combustibles fósiles o porque, compiten con la alimentación humana y que el poder energético en la mayoría de ellos es inferior al de los combustibles fósiles.

Las investigaciones en el campo de los biocombustibles van aumentando ~~cada vez más~~, pues cada vez más ~~es~~ ellos ayudan a resolver problemas relacionados a la estabilidad energética, a disminuir el impacto ambiental causados por los combustibles fósiles y se ha reducir los costos en energía

La experiencia obtenida en la aplicación de biocombustibles dado que no compiten con la alimentación humana y animal como es el caso de las semillas del arbusto *Jatropha Curcas* permitirá obtener más de 100 t/año de un combustible que no habrá que importar y que contribuirá a la sostenibilidad energética de la nación.

Otra fuente de biocombustibles como las microalgas, se ve como una fuente prometedora de energía, pero hoy en un grado muy incipiente de utilización, pero hay que considerar que poseen un conjunto de ventajas frente a otras plantas oleaginosas.

Finalmente, se puede decir que la producción de biodiesel es una alternativa viable, más limpia y sobre todo, que proviene de recursos renovables.

RECOMENDACIONES

1. Es importante la construcción de una planta piloto para un incremento del biocombustible cuando se emplean mezclas comparado con el combustible diésel debido al menor contenido calórico del biodiesel.
2. Sería buena que estas tesis siguen mejorando por vías de combinaciones de carreras distintas para que tenga más éxitos de manera completa.

BIBLIOGRAFÍA

- Agencia de Información Nacional . (2012). Primer vehículo con biodiesel Cubano recorrió 1500 kilómetros. *Cubadebate*.recuperado de <http://www.cubadebate.cu/noticias/2012/07/23/primer-vehiculo-con-biodiesel-cubano-recorrio-1500-kilometros/>
- Aguilar, I. b. (2010). Desarrollo y aplicaciones de los biocarburantes. *conama*.
- Almazan, j. I. (2015). Biodiesel de algas. pág. 4.
- Alonso., A. G. (2015). *Estudio de viabilidad, diseño y montaje de una planta de biocombustible para el autoabastecimiento de una comunidad rural en un país en desarrollo*. Madrid.
- Álvarez, A. S.-B. (2019). *Biorrefinería de microalgas para la producción de biocombustibles*. móstoles.
- Badillo, R. G., & Florestomalá, D. G. (2011). *Proceso de producción de biodiesel usado algas*. Ecuador.
- badillo, r. g., & tomalá, D. G. (2011). *Control de procesos de energías renovables: Proceso de producción de biodiesel usando algas. Una alternativa para no afectar el ecosistema o la cadena alimentaria. Aspectos técnicos y económicos*. Guayaquil - Ecuador.
- Cabrera, J. R. (2019). Curvas características de velocidad y carga del motor volkswagen 1.9 sdi.
- Carpio, M. M. (2011). *Los combustibles fósiles en el horizonte 2035*. Barcelona.
- ceupe. (2015). *Centro europeu de postgado*. recuperado de <https://www.ceupe.com/blog/que-es-la-transesterificacion.html>
- Chiriboga, H. J. (2007). *Preguntas y respuestas más frecuentes sobre biocombustibles*. costa rica.
- Chiriboga, J. H. (2007). *Preguntas y respuestas más frecuentes sobre biocombustibles*. Costa Rica.

- chiralde, M. I. (2018). sembrar combustible. *juventud técnica*. recuperado de <http://www.juventudtecnica.cu/contenido/sembrar-combustible>
- Coy, J. L., Jurado, J. V., Acevedo, E. B., & Velásquez, S. H. (2015). *Análisis del sector biodiésel en Colombia y su cadena de suministro*. Barranquilla - Colombia.
- Crespo Sánchez, G. &. (2014). Consideraciones actuales del biodiesel como alternativa de fuente renovable de energía. *Universidad de Cienfuegos*, 47 - 52 . recuperado de <http://rus.ucf.edu.cu/>
- Cubero, R. G. (2014). *Producción de biomasa de microalgas rica en carbohidratos acoplada a la eliminación fotosintética de CO₂*. Sevilla.
- Díaz, R. T., & Delgado, A. F. (2011). *desarrollo sostenible, cambio global y ecosistemas*. La Habana.
- Dufour, J. (2012). biodiésel o green diésel, ¿alternativas al diésel convencional? *Madri más d*. recuperado de <https://www.Madrimasd.org/blogs/energiasalternativas/2012/02/24/131486>
- Fabiola, L. B., & Serna, H. M. (2011). Impacto social y económico en el uso de biocombustibles. *Journal of Technology Management & Innovation*, 02.
- Fernández, J. I. (2018). *Cultivo de microalgas en aguas residuales y aprovechamiento energético de la biomasa algal*. Vigo.
- Navarrete, A. D. (2015). *Modelo de producción de biodiesel a partir de algas en Argentina*. Universidad Argentina de la Empresa.
- Figueredo, C. M. (2017). Cuba hacia 100% con energías renovables. *Por redacción canal caribe*, pág. 1.
- Gavilanes, A. G. (2013). *Evaluación de las condiciones de cultivo autotrófico de microalgas Chlorella para la producción de biodiesel*. Universidad San Francisco de Quito, Colegio de Ciencias e Ingeniería, Quito.
- Gómez, J. M. (2016). Análisis de la variación de la eficiencia en la producción de biocombustibles en América Latina. 3.

- Guía de buenas prácticas ambientales. (2016). guía de buenas prácticas ambientales del puerto de huelva.
- Icidca. (2012). Derivados de la caña de azucar. *producción de biodiesel a partir de microorganismos oleoginosos. una fuente de energia renovable (parte ii: microalgas)*. La Habana, Cuba. recuperado de revista@icidca.edu.cu
- Laurel, H. O., kippling, d. r., & schümann, u. (2012). Potencial para el uso directo de los aceites vegetales en los motores de combustión. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 1.
- León, j. g., gasparini, r., Rodríguez, m. e., Rodríguez, m. e., Estrada, j., & Filgueiras, e. (2009). *manual de biocombustibles* . Bogota.
- Machado, F. C. (2013). análisis de prefactibilidad para la implementación de una planta de producción de biomasa a partir de microalgas en Colombia.
- Maciel, c. á. (2009). *Biocombustibles: desarrollo histórico-tecnológico*,. unam, ciudad de México.
- Martínez, B. T. (2005). Diagnóstico de motores diesel mediante el análisis del aceite usado.
- Morán, d. (2014). *Biocombustibles a partir de algas*. recuperado de biocombustibles a partir de algas.
- Omar s. castillo, s. g.-b.-c.-c. (2017). producción de biodiésel a partir de microalgas: avances y perspectivas biotecnológicas.
- Omar s. castillo, s. g.-b.-c.-c.-n. (2016). *producción de biodiésel a partir de microalgas: avances y perspectivas biotecnológicas*. universidad de guanajuato, guanajuato.
- Pérez, l. e. (2012). *evaluación de métodos de extracción de aceite de microalgas para la producción de biodiesel*. piura.
- R. piloto rodríguez, r. s. (2008). Evaluación del funcionamiento de motores de combustión interna trabajando con biodiesel.

- Raposo, S. I. (2011). *tecnologías para la obtención de biodiesel*. Chile.
- Rodríguez, A. (2011). *Investigación y desarrollo e innovación para el desarrollo de los biocombustibles en América Latina y el Caribe*. Santiago.
- Rodríguez, a. c., Jorge, r. a., García, a. b., & Ruiz, j. a. (2008). producción científica mundial sobre biodiesel . pág. 4.
- Rtve. (2013). Microalgas como materia prima para la producción de biocombustibles en Cuba. *rtve*. obtenido de www.rtve.es
- Saez, c. (2017). científicos chilenos logran producir biodiesel a partir de microalgas. *reuters*.
- Sánchez, A., & Álvarez, B. (2019). *Biorrefinería de microalgas para la producción de biocombustibles*. mostoles.
- Sánchez, G. C., & Castellano, M. H. (2014). consideraciones actuales del biodiesel como alternativa . 2.
- Santo, A. V., Toledo, J. A., Garza, á. g., & fernández, e. d. (2012). Análisis del desempeño de motores diesel operados con biodiesel. pág. 2.
- Sevilla, B. (2019). *statista*. recuperado de <https://es.statista.com/estadisticas/635730/paises-lideres-en-la-produccion-de-biocarburante/>
- Torres, M. J., & Machuca, J. A. (2014). *Evaluación cuantitativa de la producción de biodiesel de microalgas de lagunas de tratamiento de agua residual*. Cuenca - Ecuador.
- Vargas, v. m. (2016). *Planta de producción de biodiesel a partir de microalgas*. Universidad de Sevilla, España.
- Verónica braida, m. p. (2016). *Diseño de procesos para la obtención de biocombustibles a partir de microalgas*. Montevideo-Uruguay.
- Zarini, p. (2011). *Producción de biodiesel a partir de micro algas: Una alternativa sustentable*. Buenos aires, Argentina.

ANEXOS

Estas imágenes muestran algunos equipos de una planta piloto laboratorio para el procesamiento de la microalgas para fines de biocombustible.



Figura 1: tanque acero inox con base cónica (www.maquinariaaroma.com, s.f.)



Figura 2: Tanque HDPE (www.multipino.es, s.f.)



Figura3: Bomba centrífuga (www.ferreteria-t.com, s.f.)

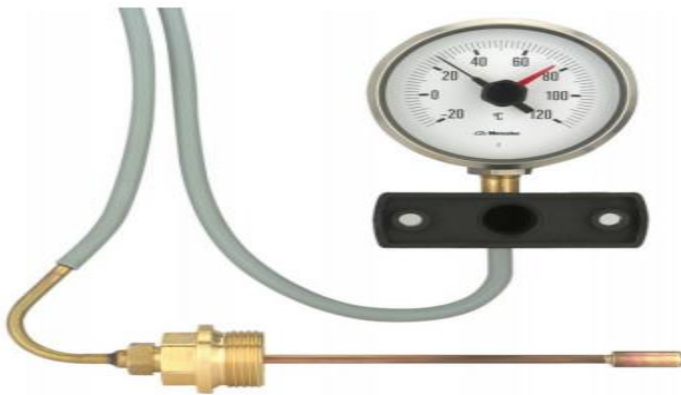


Figura 4: Termómetro de aguja con tubo capilar. (www.reihausen.com, s.f.)



Figura 5: Válvula de corte. (www.tecnizambrano.es, s.f.)



Figura 6: Motor agitador con hélice. (www.cylex.cl, s.f.)



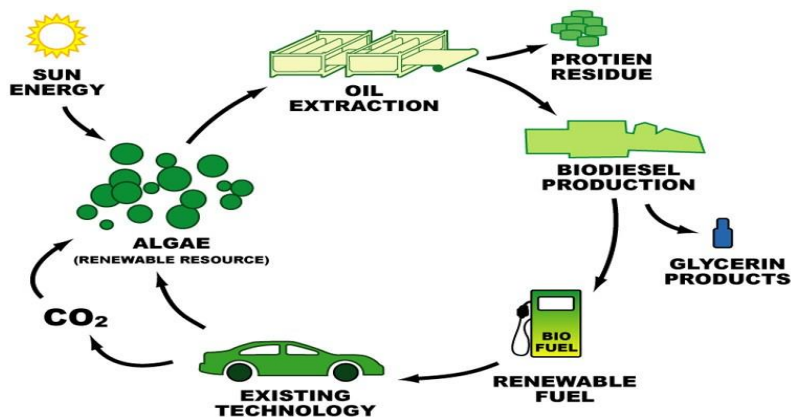
Figura 7: Resistencias eléctricas. (www.restenciaseletricaspresis.com, s.f.)



Figura 8: Tuberías de PVC. (www.easy.cl, s.f.)



Creative Commons SandiaLabs. <http://www.flickr.com/photos/sandialabs/>



(Chiralde, 2018)

Propiedad	Diésel	Microalgal
Densidad a 15 °C (Kg/m ³)	840	780
Oxígeno (%m/m)	0	0
Parafinas (%m/m)	67.8	100
Asufre (mg/Kg)	<10	<1
Poder Calorífico (MJ/Kg)	43	44
Emisiones de NO _x Frente al Diésel (Kg/MJ)	-	-10%
Emisiones de CO ₂ Frente al Diésel (Kg/MJ)	0.08	0.04

Tabla 3.3 - Comparación de propiedades entre el Diésel, y el Biodiésel Algal.

(Dufour, 2012)

Año	2009/2014	
Combustible en toneladas	7680	
Propiedades	Diésel	Microalgal
Masa (Kg)	7680000	7680000
Energía (MJ)	330240000	337920000
Cantida de Emisiones de NOX (Kg)	7680000.00	7072744.19

Cantida de Emisiones de CO2 (Kg)	26419200.00	13516800.00
% de NOX	100%	86%
% de CO2	100%	48%
Emisiones de NOX (Kg/MJ)	0.023	0.021
Emisiones de CO2 (Kg/MJ)	0.08	0.04

La tabla 3.3 nos muestra que cantidad de emisiones de dióxido de carbono del diésel

mayor
del

es
que

Tabla 1.4 - Resúmenes de emisiones de gases		
Año	2009/2014	
Combustible en toneladas	7680	
Propiedades	Diésel	Microalgal
Masa (Kg)	7680000	7680000
Energía (MJ)	330240000	337920000
Cantidad de Emisiones de NOX (Kg)	7680000.00	7072744.19
Cantidad de Emisiones de CO2 (Kg)	26419200.00	13516800.00
% de NOX	100%	86%
% de CO2	100%	48%
Emisiones de NOX (Kg/MJ)	0.023	0.021
Emisiones de CO2 (Kg/MJ)	0.08	0.04

biodiesel.

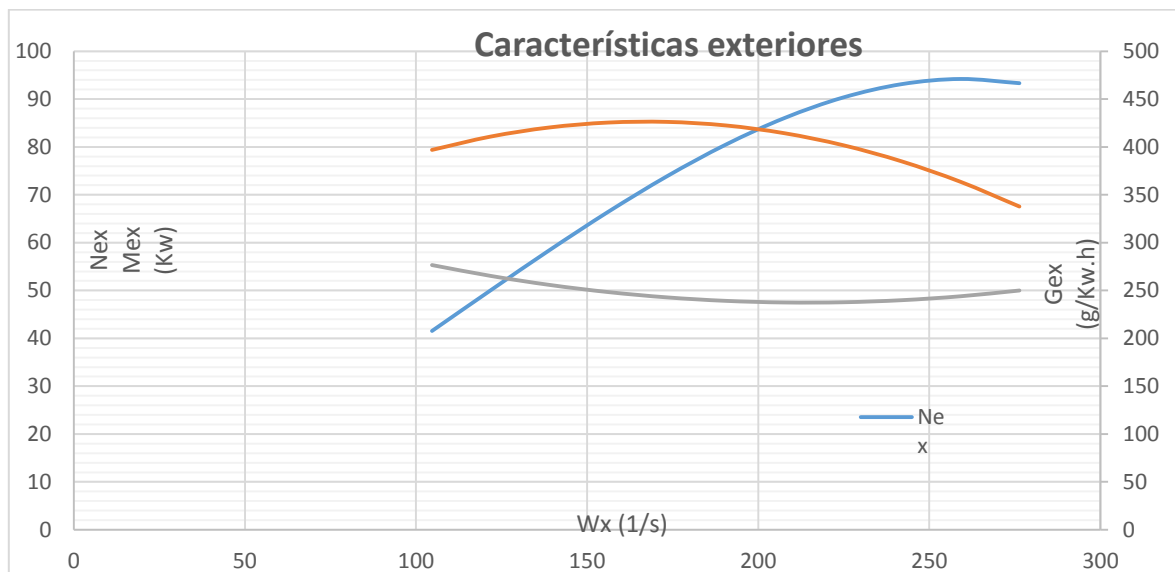
nM, rpm	1600	Kc	0.96
G, N	76028	Qv, l/100km	
Gr; N	0	VQ, km/h	
Número de ruedas	6	geN, g/kW.h	250
Do, plg	17.5	C4	1.55
bo, plg	8.5	C5	1.55
B, m	1.703	C6	1
H, m	1.302		
K, N.m²/s⁴	0.65		

Tabla
3.4 :
refere
ncia
de
vehícu
lo.

M	0.9		
---	-----	--	--

	PAZ 672		
	10		
Tipo de vehículo	Omnibus	isI	0.1736
Fórmula de ruedas	4x2	isII	0.3788
Norma utilizada	GOST	isIII	0.6536
Motor: (G o D)	Gasolina	isIV	1.0000
Tipo de cámara	-	im	0.1859
Nemáxfab, kW	85	im2	0.2160
nN, rpm	2400	im3	0.0000
Memáxfab, N.m	400	im4	0.0000

Característica exteriores de velocidades.



Q1	Q2	Q3	Q4	P _{t1} -P _{a1}	P _{t2} -P _{a2}	P _{t3} -P _{a3}	P _{t4} -P _{a4}	V _i	P _{ti}
27.56022	25.99144	24.02829	22.43894	23618.6927	10812.76	6233.402	4487.266	3.946518	23647.21
27.05338	25.68034	23.99883	22.65867	24446.8077	11187.89	6439.063	4614.019	5.82506	16021.15
26.61859	25.42452	24.0034	22.87131	25012.2579	11441.96	6572.785	4684.662	7.703603	12114.35
26.27112	25.2419	24.05837	23.07469	25315.0434	11574.97	6634.569	4699.196	9.582145	9739.38
26.02482	25.14746	24.17409	23.25429	25355.1641	11586.92	6624.413	4657.621	11.46069	8142.98
25.89234	25.1536	24.35477	23.38132	25132.6201	11477.81	6542.319	4559.936	13.33923	6996.217
25.88513	25.26993	24.59696	23.40861	24647.4114	11247.64	6388.286	4406.142	15.21777	6132.576
26.01327	25.50246	24.88638	23.26427	23899.5379	10896.42	6162.314	4196.238	17.09632	5458.729

26.28487	25.85183	25.19213	22.84385	22888.9996	10424.13	5864.403	3930.225	18.97486	4918.306
26.70506	26.31	25.45704	22.00429	21615.7967	9830.791	5494.553	3608.103	20.8534	4475.249
27.27403	26.85432	25.58109	20.57219	20079.9289	9116.389	5052.764	3229.871	22.73194	4105.419