



TESIS DE GRADO DE INGENIERIA INDUSTRIAL

**Producción de biodiesel a partir de micro algas: una alternativa
sustentable**

Autor: Pablo Zarini

Legajo: 45383

Tutor: Félix Jonas

2011

A mi familia y amigos.

Resumen Ejecutivo

En las últimas décadas, el mundo ha profundizado su dependencia de los hidrocarburos sin asegurar la sustentabilidad de las reservas, de por sí escasas. A su vez, la utilización de combustibles fósiles es, junto con el cambio de uso de suelo y la deforestación, una de las principales causas del deterioro del ecosistema en que vivimos provocando la degradación del mismo y cambios ambientales a nivel global. Estos cambios son observables hoy en día y de continuar con el paradigma actual, serán aún más profundos en un futuro cercano.

El panorama mundial nos obliga a buscar alternativas a los hidrocarburos que sean limpias, renovables y sustentables en el tiempo. La producción de biodiesel a partir de micro algas cumple con todos los requisitos antes expuestos.

Así, éste proyecto tiene como objetivo el estudio de la viabilidad técnica y económica-financiera para la producción de biocombustibles a partir de micro algas para comercializarlos en el mercado interno, hoy en día regulado por la Ley de Biocombustibles N° 26.093 que marca el agregado de de biocombustibles a los combustibles tradicionales según cortes previamente cuantificados y obligatorios

Para realizar un análisis profundo del tema, se estudiará tanto el contexto nacional como el internacional para vislumbrar los estados de situación con respecto a los volúmenes de mercado y las tecnologías de producción existentes. A partir de dicho estudio se evaluarán alternativas con el fin de dar con la opción adecuada para la situación en el mercado argentino.

De ésta forma, se busca estudiar la factibilidad técnica y económica de desarrollar en Argentina la producción de biocombustibles de aceite de micro algas a partir de los procesos disponibles en el mundo en la actualidad. A partir de esto, se evaluará la mejor alternativa de producción a partir de las fortalezas y debilidades de cada tecnología, determinando costos, precio final del producto producido, VAN del proyecto para definir su viabilidad o no en el tiempo.

Finalmente, se proponen conclusiones y se plantean nuevas líneas de investigación para el futuro.

Executive Summary

In the past decades, the world has increased its dependence in hidrocarburates without insuring the sustainability of its reserves, which are already scarce.

At the same time, the use of fossil fuels is, together with the change in use of soil and deforestation one of the main reasons of deterioration of the ecosystem in which we live in, causing its decay and global environmental changes. These changes are observable now a day, and given the continuance of the current paradigm, will the worst in a near future.

The world's situation forces us to seek alternatives to hidrocarburates which need to be clean, renewable and sustainable in time. The production of biodiesel from micro algae meets the requests earlier stated.

Thus, this project's objective is the study of technical viability as well as eco-financially for the production of biofuel made from micro algae to commercialize in our internal market, currently ruled by the law of biofuels N° 26.093 which states the aggregate of biofuel to traditional fuel, according to compulsory cuts previously quantified.

To add depth to the subject, the national and international context shall be studied to analyze the situation facing the market's volume and current production technology. Parting from this study, alternatives will be evaluated to find the best option for the argentine market.

In this way, we seek to study the technical and economical facts of developing biofuels from micro algae oil parting from existing processes at this time. Depending on strength and weakness of each technology, the most suitable option will be chosen, determinating costs, final price and Net Present Value of this project to define its viability in time.

Finally, conclusions and new lines of research will be proposed for the future.

Contenido

1.	Introducción.....	- 1 -
1.1	Concepto general	- 1 -
1.2	Características de los biocombustibles.....	- 2 -
1.2.1	Antecedentes	- 2 -
1.2.2	Drivers de desarrollo	- 3 -
1.3	Tipos de biocombustibles	- 5 -
1.3.1	Bioetanol	- 6 -
1.3.2	Biodiesel.....	- 7 -
1.3.2.1	Ventajas y desventajas.....	- 8 -
1.4	Mercado Mundial de Biocombustibles.....	- 10 -
1.5	Objetivo del proyecto.....	- 13 -
1.5.1	Objetivo principal del proyecto.....	- 13 -
1.5.2	Objetivos específicos	- 13 -
1.6	Justificación del proyecto	- 14 -
2.	Estado de la Situación	- 15 -
2.1	Relacion de los biocombustibles en el contexto mundial	- 15 -
2.1.1	Biocombustibles y Alimentos	- 15 -
2.1.2	Biocombustibles y el medio ambiente	- 18 -
2.1.3	Biocombustibles y los combustibles fósiles.	- 19 -
2.2	Estado actual en diferentes países.....	- 22 -
2.2.1	Biodiesel en Brasil.....	- 24 -
2.2.2	Biodiesel en la Unión Europea	- 26 -
2.2.3	Biodiesel en Estados Unidos	- 30 -
2.3	Reflexión y pasos a seguir.....	- 33 -
3.	Alternativas Actuales.....	- 34 -
3.1	Alternativas de Materias Primas para producir Biodiesel	- 34 -
3.1.1	Biodiesel a partir de Soja.....	- 35 -
3.1.2	Biodiesel a partir de Colza	- 37 -
3.1.3	Biodiesel a partir de Jatropha.....	- 38 -
3.1.4	Biodiesel a partir de Palma.....	- 38 -
3.1.5	Biodiesel a partir de Micro Algas	- 39 -

3.2	Alternativas de Procesamientos Actuales.....	- 41 -
3.2.1	Según el medio de extracción	- 41 -
3.2.1.1	Extracción mecánica	- 41 -
3.2.1.2	Extracción con solventes	- 41 -
3.2.2	Según el proceso de producción	- 42 -
3.2.2.1	Proceso discontinuo (batch).....	- 43 -
3.2.2.2	Proceso en continuo	- 44 -
4.	Definición del Problema	- 46 -
4.1	Mercado Argentino de Combustibles.....	- 46 -
4.1.1	Oferta de Gasoil en Argentina	- 48 -
4.1.2	Demanda de Gasoil en Argentina	- 49 -
4.1.3	Marco Jurídico-Legal para la producción de Biocombustibles en Argentina	- 51 -
4.2	Biodiesel en Argentina.....	- 52 -
4.2.1	Cupo Nacional.....	- 52 -
4.3	Reflexión	- 54 -
5.	Solución Propuesta.....	- 56 -
5.1	Elección de la especie de micro alga	- 57 -
5.2	Cultivo de Micro algas Chlorella Vulgaris.....	- 58 -
5.2.1	Estanques de micro algas	- 58 -
5.2.2	Fotobiorreactores	- 60 -
5.2.3	Comparación entre los estanques y los fotobiorreactores	- 61 -
5.2.4	Materias Primas para el cultivo de Chlorella Vulgaris.....	- 62 -
5.3	Recuperación de la biomasa	- 62 -
5.4	Deshidratación de las micro algas	- 63 -
5.4.1	Secador Solar	- 63 -
5.4.2	Secador Spray	- 64 -
5.4.3	Secador de tambores rotativos	- 66 -
5.5	Extracción del aceite de las micro algas disecadas.....	- 67 -
5.5.1	Extracción mecánica	- 68 -
5.5.2	Extracción mecánica de las micro algas con solventes orgánicos.	- 69 -
5.6	Proceso de Producción de Biodiesel a partir de micro algas	- 70 -
5.6.1	Fase I: Producción de Aceite.....	- 71 -

5.6.2	Fase II: Purificación del Aceite	- 72 -
5.6.3	Fase III: Producción de Biodiesel.	- 73 -
5.6.4	Fase IV: Purificación del Biodiesel	- 75 -
5.7	Localización	- 76 -
6.	Estudio Económico-Financiero	- 79 -
6.1	Inversiones	- 79 -
6.2	Gastos	- 82 -
6.2.1	Mano de Obra.....	- 83 -
6.3	Ingresos por Ventas	- 85 -
6.4	Cuadro de Resultados	- 88 -
6.5	Flujo de Fondos	- 89 -
6.6	Flujo de Fondos Acumulado	- 90 -
6.6.1	Cálculo de la Tasa de Descuento	- 91 -
7.	Conclusiones	- 93 -
8.	Futuras líneas de Investigación.....	- 95 -
9.	Bibliografía.....	- 96 -
9.1	Páginas web consultadas	- 97 -
Anexo Nº 1		- 99 -

1. Introducción

1.1 Concepto general

El cambio climático global y la emisión de gases de efecto invernadero son resultado de la contaminación ambiental derivada de la actividad humana. Entre las principales causas del deterioro del ecosistema en que vivimos y nos desarrollamos están la generación de energía eléctrica y motriz basada en la quema de combustibles fósiles, así como el cambio de uso de suelo y la deforestación. Estas acciones, entre otras, han provocado cambios ambientales a nivel global.

En las últimas décadas, el mundo ha profundizado su dependencia de los hidrocarburos sin asegurar la sustentabilidad de las reservas, de por sí escasas. La crisis energética mundial y el aumento del precio del crudo han llevado al ser humano a buscar nuevas formas de obtención de energía que suplan gradual y paulatinamente al petróleo, y además sean amigables con el medio ambiente. Así, se ha optado por el uso y explotación de fuentes de energía renovables, en sus distintas variantes y formas: eólica, solar, geotermal, geotérmica y biomasa. De éstos últimos se desprende el término bioenergía, es decir, obtención de gas o combustible a partir de biomasa; es decir, materia viva o derivada de seres vivos.

Hoy en día, el sistema energético mundial está basado, en un más de un 80%, en el consumo de hidrocarburos (gas, carbón mineral y petróleo), según datos de la IEA (International Energy Agency). Las energías renovables sólo representan aproximadamente el 10% de la matriz energética mundial aunque con perspectivas de crecimiento para los próximos años. En el caso argentino, la dependencia a los hidrocarburos es aún mayor, abarcando el 90% de la demanda energética con tan sólo un 3% de la matriz primaria cubierto por energías renovables.

Sin embargo, en muchos casos, la producción de biocombustibles utiliza como insumo principal productos que forman parte del mercado alimenticio, compitiendo directamente con él. Los diferentes insumos para la producción de biocombustibles, entre los que se destacan la caña de azúcar, el trigo, girasol y soja, representan una de las causas del incremento de los precios de los

alimentos a nivel mundial. La competencia de tierras cultivables para propósitos alimenticios o bien energéticos impone la búsqueda de alternativas en la producción de biocombustibles. Así, surge la producción de biodiesel a partir del cultivo y procesamiento de micro algas, capaz de generar un rinde por unidad de superficie claramente mayor con respecto a otros cultivos y adaptable a diversas condiciones ambientales.

De ésta forma, surge la necesidad de analizar la situación de los biocombustibles en general y el biodiesel particular en el mundo, haciendo foco en el mercado energético de la Argentina. Se buscará analizar la viabilidad técnica y económica-financiera de producir y comercializar este tipo de combustible a partir del cultivo de micro algas y su posterior procesamiento.

1.2 Características de los biocombustibles

1.2.1 Antecedentes

La idea de utilizar biocombustibles como alternativas a los combustibles fósiles no es nueva, remontándose a principio del siglo XX con los dichos y pensamientos de dos de los padres de la industria automotriz: Sir Rudolph Diesel y Henry Ford.

Sir Rudolph Diesel, inventor alemán del motor que lleva su nombre, utilizó aceite de maní en los motores de compresión para propulsar una de sus creaciones en la feria de París de 1900, jactándose en que “el uso de aceites vegetales como combustibles puede parecer insignificante ahora. Pero éstos aceites pueden convertirse con el paso del tiempo en tan importantes como los productos del carbón o el petróleo hoy en día.”

Por su parte, el estadounidense Henry Ford fundador de la Ford Motor Company predijo en 1925 que el etanol como fuente de energía sería 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.”

Estaban en lo cierto. Sin embargo, el desarrollo de éste tipo de combustibles no tuvo demasiada trascendencia sino hasta la década del 70 cuando a raíz de la crisis energética y su consecuente alza de precios por la reducción en el lado de la oferta, motivó a la industria a buscar alternativas.

Es preciso destacar que fue el Programa Nacional de Alcohol (PROALCOÓL), en 1975, el primer y mayor programa de energías renovables a escala mundial con el objetivo de sustituir la dependencia de los hidrocarburos fósiles. En 1982, en Austria y Alemania se realizaron las primeras pruebas técnicas con biodiesel, dando pie a la construcción de la primera planta piloto de producción del mismo en 1985 en Silberberg (Alemania) denominada RME (Rapeseed Methyl Ester), en la que se extraía biodiesel de colza.

El interés en el desarrollo de los biocombustibles, profundizado en la década del '90 con el comienzo de su producción a escala mundial, ha dado un giro importante a la matriz energética mundial. Con una tendencia creciente, algunos analistas de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Comercio y Desarrollo estiman que es posible pasar del 1,7% de consumo de combustibles actual al 20% de los combustibles consumidos en el mundo para el 2020.

1.2.2 Drivers de desarrollo

Los principales pilares en los que se basan los biocombustibles para su creciente desarrollo son 3: Energía, Medio Ambiente y Desarrollo Agrícola/Rural.

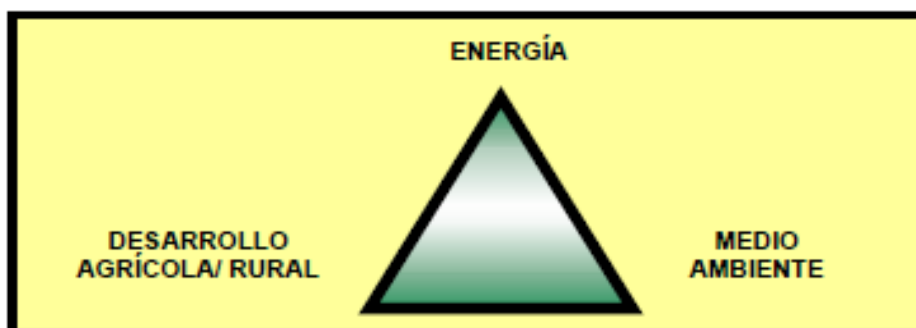


Figura 1.1¹: Drivers de Desarrollo de los Biocombustibles

- I. **Energía:** Sustituir combustibles basados en petróleo para aumentar la seguridad energética, disminuyendo la dependencia frente a la volatilidad de los precios del petróleo, bajar los costos de combustibles o de las importaciones y disminuir la dependencia de países políticamente inestable.
- II. **Medio Ambiente:** disminuir la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) y de otros daños ambientales relacionados con la cadena del petróleo, como por ejemplo los derrames de petróleo.

Este factor ha sido preponderante para impulsar en desarrollo de los biocombustibles en países desarrollados para dar cumplimiento al Protocolo de Kyoto sobre el Cambio Climático, que establece límites cuantificados y obligatorios de emisión de GEI. Su objetivo a nivel global es reducir un 5% las emisiones respecto de 1990 para el período entre los años 2008 y 2012, a través de compromisos jurídicamente vinculantes y calendarios de cumplimiento para 38 países industrializados. En este sentido los biocombustibles son una de las pocas medidas aplicables para la reducción de emisiones generadoras de cambio climático en el sector transporte y su utilización reduce la emisión de GEI hasta un 80%.

- III. **Desarrollo Rural/Agrícola:** apoyar a la agricultura nacional, mejorar la situación económica de las áreas rurales y los ingresos de los agricultores.

Los biocombustibles en general, son, hoy en día, un actor importante en el mercado energético mundial y representaran un rol aún más relevante en un futuro cercano. La volatilidad del precio del petróleo, el calentamiento global y el agotamiento de los recursos, entre otras, son algunos de los paradigmas que nos enfrentamos por el uso intensivo de hidrocarburos. Las energías renovables y los biocombustibles plantean ser alternativas para el desarrollo mundial.

¹ Fuente: Banco Interamericano de Desarrollo (BID)

1.3 Tipos de biocombustibles

Los biocombustibles se presentan como una solución alternativa y transitiva a la escasez de los combustibles fósiles. Según la FAO (Food and Agriculture Organization), los biocombustibles son combustibles producidos directa o indirectamente de biomasa, entre los que se destacan, por ejemplo: leña, carbón, bioetanol, biodiesel, biogás y biohidrógeno. Se consideran renovables por provenir en forma indirecta de la energía solar, a través de la fotosíntesis realizada por especies del reino vegetal.

Los biocombustibles de primera generación son aquellos que utilizan parte de la materia vegetal para obtener el producto final. Aquellos combustibles llamados de segunda generación utilizan la totalidad de la masa vegetal, incluyendo material lignocelulósico. Dado que la biomasa celulósica es el material biológico que más abunda en la tierra, el uso de esta provocaría un aumento considerable del volumen y la variedad de materias primas factibles de ser usadas en la producción de esos biocombustibles sin necesidad de generar presión extra sobre el mercado de los alimentos. Los combustibles a base de algas, también llamados alga-aceites o biocombustibles de tercera generación, son biocombustibles, tal y como su nombre lo dice, provenientes de las algas como materia prima. La producción de biocombustibles por medio de algas requieren pocos insumos y produce altos rendimiento (30 veces más energía por unidad de superficie que los cultivos de tierra), además de que el producto final sea 100% biodegradable. Por esta razón y los altos precios de los combustibles fósiles (procedentes del petróleo), hay un gran interés en la alga-cultura (cultivo de algas).

Dentro de la categorización de biocombustibles, se encuentran el bioetanol y el biodiesel. Son utilizados como sustitutos directos de la nafta y diesel de petróleo respectivamente. El bioetanol es un combustible proveniente de la transformación de azúcar o almidón en alcohol. Actualmente y a gran escala, se produce a partir de materias primas diversas, principalmente caña de azúcar y maíz. Los principales productores mundiales son Brasil y Estados Unidos, donde se utiliza bioetanol mezclado con naftas de origen fósil o directamente puro. Por su parte, el biodiesel se define como los ésteres mono-alquílicos de los ácidos grasos de cadena larga procedentes de los aceites vegetales o grasas animales. En otras palabras, el Biodiesel se produce gracias a una reacción química denominada Transesterificación, lo que significa que el glicerol contenido en los aceites es sustituido por un alcohol ante la presencia de un catalizador como hidróxido de

sodio o potasio. Los principales productores de éste tipo de biocombustibles son la Comunidad Europea, los Estados Unidos, Argentina y Brasil.

1.3.1 Bioetanol

El bioetanol se produce por la fermentación de los azúcares contenidos en la materia orgánica de las plantas. En éste proceso se obtiene alcohol hidratado con un contenido aproximado del 5% de agua, que tras ser deshidratado, puede ser utilizado como combustible.

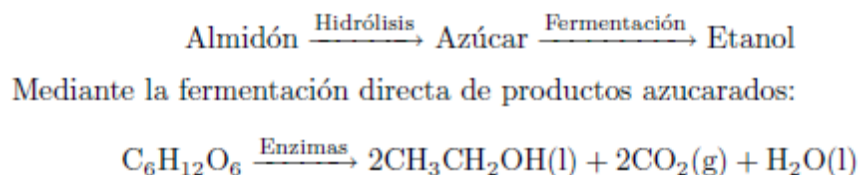


Figura 1.2²: Producción de Bioetanol

El bioetanol mezclado con combustibles de origen fósiles produce un biocombustible de alto poder energético con características muy similares a la gasolina pero con una importante reducción de emisiones contaminantes en los motores de combustión tradicional. Utilizado en proporciones del 5% y 10% (E5 y E10 respectivamente), no requiere modificaciones en los motores actuales.

Entre las ventajas propias en su uso con respecto al combustible de origen fósil se encuentran: aumenta el octano del combustible con un coste pequeño promoviendo una mejor combustión, es virtualmente utilizable en todos los vehículos y es fácil de producir y almacenar. Sin embargo, si queremos utilizar Bioetanol como combustible puro (E100) necesitamos llevar a cabo modificaciones en el motor para no alterar significativamente el consumo adaptándolo a nuevas relaciones de compresión, mezcla de aire/combustible, resistencia a alcoholes de los materiales y facilitadores de arranque en frío de los mecanismos.

² Fuente: Producción de Bioetanol, Guerra Millan – Mallén Wiechers – Struck Garza – Varela Vega, México, 2008

1.3.2 Biodiesel

El biodiesel es el producto de la reacción entre aceite vegetal o grasa animal con alcohol en presencia de catalizador alcalino o ácido. La reacción básica en la producción de biodiesel es la siguiente:

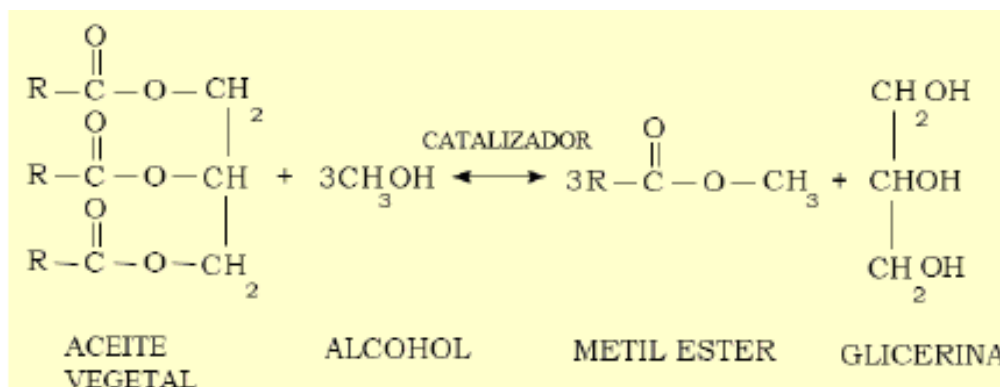


Figura 1.3: Reacción de transesterificación entre triglicéridos y alcohol.

Entre los principales subproductos en la producción de biodiesel se encuentran la glicerina y la torta proteica alimentaria. Ambos son ampliamente demandados a nivel mundial, bajando los costos de obtención del combustible y generando eficiencia en los procesos de producción. El primero es utilizado y demandado mayormente en la industria farmacéutica y cosmética mientras que el interés en el segundo radica en su contenido de proteínas, que es de un 50%, aunque, previamente a su comercialización, la torta debe ser sometida a un tratamiento para eliminar compuestos tóxicos que contiene.

El biodiesel es una fuente de energía limpia, renovable, de calidad y económicamente viable, que además contribuye a la conservación del medio ambiente. Siguiendo determinados estándares de calidad para preservar el funcionamiento de los motores, puede utilizarse directamente en cualquier motor diesel, sin que sea necesaria ninguna modificación (Figura 1.4).

Propiedad	Valor
Contenido en esteres	96,5%
Densidad (a 15°C)	860-900 Kg/m ³
Viscosidad (a 40°C)	3,50-5 mm ² /g
Punto de inflamación	120°C
Contenido de azufre	10 mg/Kg
Residuo de carbón	0,30%
Número de cetanos	51
Contenido en cenizas sulfatadas	0,02%
Contenido en agua	500 mg/Kg
Contaminación máxima total	24 mg/Kg
Estabilidad a la oxidación (a 110°C)	6 horas
Índice de ácido	0,5 mg KOH/g
Índice de yodo	120 g de yodo/100g
Contenido de metanol	0,20%
Contenido de monoglicéridos	0,80%
Contenido de triglicéridos	0,20%
Contenido en fósforo	10 mg/Kg

Figura 1.4³: Características del biodiesel.

1.3.2.1 Ventajas y desventajas

Sus principales ventajas con respecto al diesel de petróleo son:

- Independencia energética; algunos países verían disminuir así su dependencia de los grandes productores actuales.
- El biodiesel tiene mayor lubricidad que el diesel de origen fósil, por lo que extiende la vida útil de los motores.
- Es más seguro de transportar y almacenar, ya que tiene un punto de inflamación 100 grados centígrados mayor que el diesel fósil.

³ Fuente: *Estudio y desarrollo de una planta piloto para la obtención de biodiesel*, Elena López Blanco, Perú, 2010

- Prácticamente no contiene azufre, por lo que no genera dióxido de azufre, un gas que contribuye en forma significativa a la contaminación ambiental.
- El biodiesel se degrada de 4 a 5 veces más rápido que el diesel fósil y puede ser usado como solvente para limpiar derrames de diesel fósil.
- El biodiesel permite al productor agropecuario autoabastecerse de combustible, sin necesidad de altos grados de inversión
- El biodiesel no contamina fuentes de agua superficial ni acuíferos subterráneos.
- Reduce en gran medida los humos visibles durante el arranque.
- En la producción del biodiesel se obtiene harina de alto contenido en proteína para la ganadería (torta proteica).
- Por la similitud de sus propiedades con el combustible diesel no es necesario hacer modificaciones a los motores.

Por su parte, las principales desventajas que presenta el biodiesel con respecto al diesel de origen fósil son:

- El contenido energético del biodiesel es algo menor que el del diesel (12 por ciento menor en peso u 8% en volumen), por lo que su consumo es ligeramente mayor.
- Por su alto poder solvente, se recomienda almacenar el biodiesel en tanques limpios; si esto no se hace, los motores podrían ser contaminados con impurezas provenientes de los tanques.
- El biodiesel presenta problemas de fluidez y congelamiento a bajas temperaturas (menos a cero grados centígrados) por lo que necesita aditivos para arrancar en el motor a bajas temperaturas.
- Los costos de la materia prima son elevados y guardan relación con el precio internacional del petróleo. Dichos costos representan el 70 por ciento de los costos totales del biodiesel, por lo que este actualmente es un producto relativamente costoso.

- El biodiesel de baja calidad (con un bajo número de cetano) puede incrementar las emisiones de óxidos de nitrógeno, pero si el número de cetano es mayor que 68, las emisiones de óxidos de nitrógeno serían iguales o menores que las provenientes del diesel fósil.
- Posee menor estabilidad a la oxidación que el diesel debido a que posee dobles enlaces y oxígeno en su molécula. Esto es importante a la hora de almacenar durante mucho tiempo el biodiesel (no es recomendable almacenarlo durante períodos mayores a 6 meses)

1.4 Mercado Mundial de Biocombustibles

La producción mundial de biocombustibles, basada mayoritariamente en biomasa de uso alimenticio, muestra en los años recientes un marcado crecimiento, siendo el bioetanol el principal producto. Su producción se triplicó entre los años 2000 y 2007, pasando de 17.000 millones de litros a más de 52.000 millones de litros. Por su parte, la producción de biodiesel se multiplicó por 11 alcanzando los 11.000 millones de litros en 2007. Así, en conjunto y según datos de la UNEP (United Nations Environment Programme) proveen cerca del 2% de los combustibles mundial para el transporte.

Dependiendo de la oferta de materias primas (función del clima, situación geográfica, conformación de la producción agropecuaria), de las tecnologías disponibles y de las políticas públicas es el tipo de biocombustibles producido en cada país. Los principales países productores para cada tipo de combustible son:

Bioetanol: Estados Unidos (55%), Brasil (33%), China y la Unión Europea

Biodiesel: Estados Unidos (14,3%), Argentina (13,1%), Alemania (12,4%), Francia (12%) y Brasil (9,7%) como se observa en la Figura 1.5.

PRINCIPALES PAÍSES PRODUCTORES DE BIODIESEL, ESTIMACIÓN PARA 2010

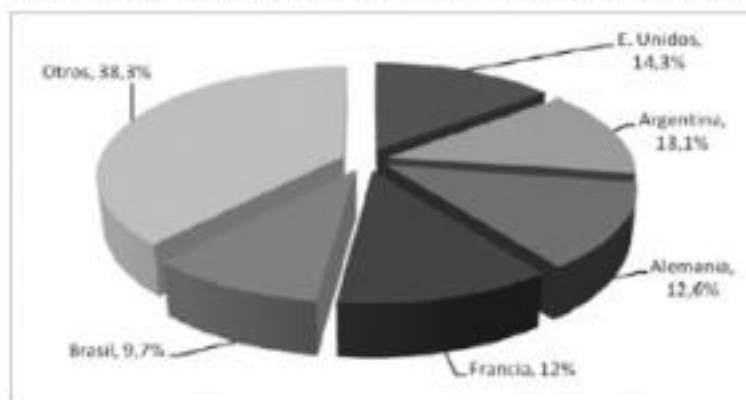


Figura 1.5⁴: Principales países productores de biodiesel.

El mercado de bioetanol y biodiesel ha sido reducido hasta el momento, en comparación con otras variedades de combustibles pero se espera se expanda a tasas elevadas en los próximos años.

⁴ Fuente: Brasil, Argentina y Colombia: líderes en biocombustibles, Abril 2011, Disponible en <http://www.energias-renovables.com/energias/renovables/index/pag/biocarburantes/botid/27/colright/biocarburantes/tip/articulo/title/Ir%20a%20Bioenerg%C3%ADa/pagid/15009/>

BIOETANOL-MERCADOS MUNDIALES
(en millones de galones)

	2005	2006	2007	2008	2009
I: PRODUCCION					
EEUU (maíz)	3.904	4.884	6.521	9.309	10.699
Brasil (caña de azúcar)	4.163	4.531	5.524	6.547	6.915
Canadá (trigo y maíz)	76	99	187	237	279
China (trigo y maíz)	301	425	448	516	542
UE (caña de azúcar, maíz, trigo, otros)		432	486	703	803
India (caña de azúcar)	335	501	577	443	298
TOTAL MUNDIAL	8.780	10.873	13.742	17.754	19.536
II: EXPORTACIONES NETAS					
Brasil (caña de azúcar)	720	867	930	1.039	945
China (trigo y maíz)	38	267	34	28	35
TOTAL MUNDIAL	794	1.134	964	1.068	980
Precios de exportación (dólares por galón)*	1,31	1,72	1,55	1,74	1,60

Notas: * Precio de Etanol anhidrico de Brasil

El total de las exportaciones netas es la suma de todas las exportaciones netas positivas

BIODIESEL-MERCADOS MUNDIALES
(en millones de galones)

	2005	2006	2007	2008	2009
I: PRODUCCION					
Unión Europea (canola, soja)	888	1.416	1.783	1.812	2.477
EEUU (soja)	107	259	499	676	578
Brasil (soja)	0	18	107	308	406
Argentina (soja)	5	5	54	222	326
Malasia (palma)			35	55	76
Indonesia (palma)	2	21	30	27	24
TOTAL MUNDIAL	1.003	1.720	2.508	3.101	3.886
II: EXPORTACIONES NETAS					
Argentina (soja)	0	0	49	206	321
EEUU (soja)	-2	18	158	307	157
Malasia (palma)			21	47	58
Indonesia (palma)	2	14	24	24	21
Brasil (soja)	-1	0	0	-1	-1
TOTAL	22	32	282	691	566
Precios de exportación (dólares por galón) *	3,19	3,34	3,77	5,34	3,89

Notas: * Precio FOB de Europa Central

El total de las exportaciones netas es la suma de todas las exportaciones netas positivas

Figura 1.6⁵: Mercados Mundiales

1.5 Objetivo del proyecto

1.5.1 Objetivo principal del proyecto

El objetivo principal de este trabajo consiste en realizar un estudio técnico y económico para el proyecto de instalación en Argentina de una planta productora de 320.000 toneladas por año de aceite de micro algas, como materia prima para producir biodiesel.

1.5.2 Objetivos específicos

- Realizar una investigación acerca de los procesos para cultivar microalgas para la producción de aceite para producir biodiesel.
- Determinar la macro localización de la futura planta y definir la micro localización a partir de factores claves como la disponibilidad de terreno, agua, energía, CO₂ y grado de exposición solar.
- Seleccionar una especie de micro alga capaz de producir aceite, según distintos factores.
- Diseñar o adaptar conceptualmente un proceso que permita cultivar y cosechar algas y extraer el aceite de ellas.
- Dimensionar la planta en función de los requerimientos de producto terminado teniendo en cuenta capacidades y energía consumida.
- Dimensionar los equipos principales y auxiliares asociados al proceso determinando el número de equipos y el layout necesario para llevar a cabo el proyecto.

⁵ Fuente: FAPRI (2010) US and World Agricultural Outlook

- Determinar costos, precio del producto final, VAN del proyecto y realizar un análisis de sensibilidad para las variables mas importantes en la economía del proceso.

1.6 Justificación del proyecto

Nuestro país tiene condiciones favorables para la producción de biodiesel a partir de algas. Contamos con recursos humanos desarrollados en ciencias de la investigación, condiciones climáticas aptas para el cultivo de algas, además una matriz dependiente de los recursos provenientes del petróleo y su consecuente necesidad de buscar alternativas.

El mercado mundial demanda cada vez más éste tipo de combustibles generando una ventana de oportunidad para el desarrollo de una industria que cree valor agregado. Por su parte, la Ley de Biocombustibles 26.093 sancionada en Abril de 2006 por el poder Legislativo generó un mercado interno con la regulación de agregados de biocombustibles a los combustibles tradicionales según cortes previamente cuantificados y obligatorios. Tomando un mercado total argentino de 14 millones de metros cúbicos de gasoil aproximadamente, la demanda potencial de biodiesel alcanzaría los 700 millones de litros, con posteriores escalonamientos crecientes según el corte previsto para cada año.

De ésta forma, y a lo largo de éste trabajo se busca estudiar la factibilidad técnica y económica de desarrollar en Argentina la producción de biocombustibles de aceite de micro algas a partir de los procesos disponibles en el mundo en la actualidad. A partir de esto, se evaluará la mejor alternativa de producción a partir de las fortalezas y debilidades de cada tecnología, determinando costos, precio final del producto producido, VAN del proyecto para definir su viabilidad o no en el tiempo.

2. Estado de la Situación

Antes de profundizar el problema y las soluciones existentes con el objetivo de identificar una propuesta interesante, es preciso determinar el estado de la situación actual. Resulta de importancia definir los conceptos y actores principales en relación a los biocombustibles en general y el biodiesel en particular para lograr un entendimiento integral de la cuestión.

Se definirá la relación de los biocombustibles en el contexto mundial actual a través de diferentes enfoques como lo son los alimentos, la contaminación y los combustibles fósiles convencionales. Resulta importante presentar la discusión alrededor de éstas cuestiones y cómo los biocombustibles impactan en relación a ellas.

Luego se presentará un tratamiento con la situación en distintos países del mundo, mostrando de qué manera desarrollan el biodiesel con su producción y políticas de sustitución de combustibles fósiles con compromisos establecidos en tiempos y formas.

2.1 Relación de los biocombustibles en el contexto mundial

2.1.1 Biocombustibles y Alimentos

Desde el 2006, los precios de los productos agrícolas y de los alimentos han experimentado un aumento considerable. Esto viene a cambiar el comportamiento del mercado y representa la modificación del paradigma que había venido desarrollándose en años previos. Durante décadas, el mercado global agrícola se había caracterizado por un aumento creciente en los índices de producción y productividad, una débil demanda y una estabilidad en los precios agrícolas y de alimentos. Las causas de este comportamiento tenían que ver con una sobreoferta de productos agrícolas para la alimentación, políticas proteccionistas como el otorgamiento de altos subsidios en Estados Unidos y la Unión Europea, la aparición de nuevos países productores agrícolas en el mercado y el propio desarrollo tecnológico que lleva a la disminución de costos de producción.

Sin embargo, el aumento en el precio de los alimentos que se experimentó en años recientes no tiene tanto que ver con el aumento de la demanda mundial de los mismos por una población creciente sino por la demanda de la producción agrícola para la producción de biocombustibles. Esta alza fue impulsada en gran parte por el aumento en los precios del petróleo, vinculado al consumo, la explotación intensiva y otros factores mundiales como guerras.

Hoy en día, una gran proporción de la producción agrícola en el mundo es demandada para la producción de biocombustibles. Es esta fuerte demanda la que ha llevado, en gran parte, al aumento de los precios de los alimentos dentro del mercado mundial.

“De las casi 40 millones de toneladas en que aumentó la utilización mundial del maíz en 2007, prácticamente 30 millones fueron absorbidas únicamente por las plantas de etanol, sobre todo de Estados Unidos que es el mayor productor y exportador mundial de maíz. En la Unión Europea, se calcula que el sector de biodiesel ha absorbido aproximadamente el 60% de la producción de aceite de colza de los estados miembros desde 2007, lo que equivale al 25% de la producción mundial y al 70% del comercio mundial de este producto en 2007”⁶

De esta forma, el aumento en el precio de la energía, en general, ha contribuido y acompañado al aumento en el precio de los alimentos, como se observa en la Figura 2.1.

6 Fuente: FAO (Food and Agriculture Organization), “Conferencia de alto nivel sobre seguridad alimentaria mundial: los desafíos del cambio climático y la bioenergía”, Roma, Italia, del 3 al 5 de junio de 200, disponible en www.fao.org

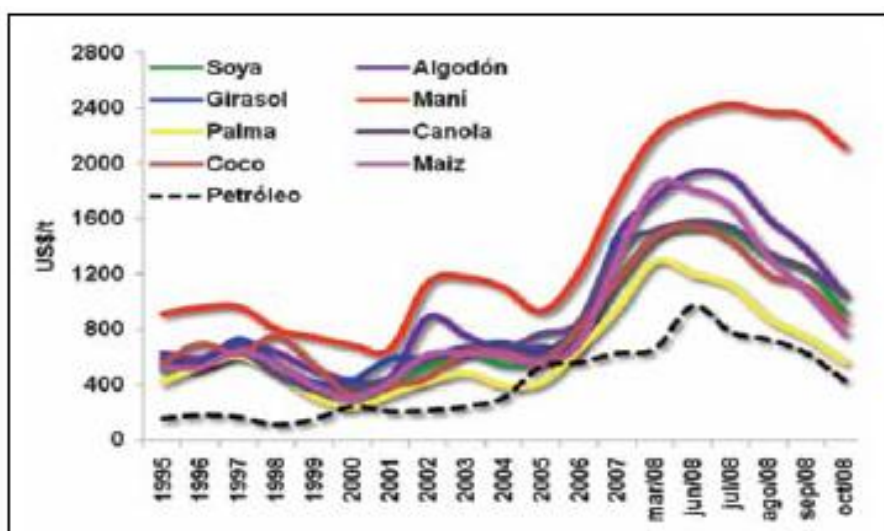


Figura 2.1⁷: Precios de los aceites vegetales y del petróleo.

La presión ejercida por la creciente demanda del sector energético fue factor determinante en el alza de precio de los alimentos. Se observa en la Figura 2.2 cómo los alimentos vieron incremento su costo en un 80% en los últimos 15 años.

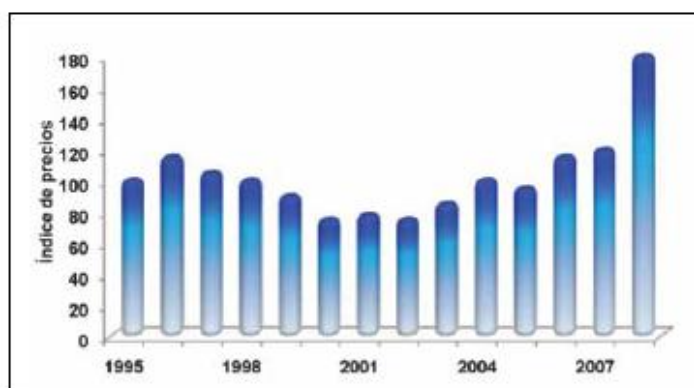


Figura 2.2⁸: Índice de precios de alimentos (2004=100)

Sin embargo, ésta situación parece contradecirse con otros datos. Según la World Energy Outlook 2006, de la Agencia Internacional para la Energía (AIE), cerca de 14 millones de hectáreas se utilizan actualmente para la producción de biocombustibles. Esto representa tan sólo el 1% del total arable disponible a nivel mundial. De acuerdo a estimaciones de la misma agencia, ésta participación se

⁷ Fuente: United States Department of Agriculture (USDA), disponible en www.usda.gov

⁸ Fuente: Banco Mundial (DECPG 2007)

incrementaría hasta entre un 2,5% y 3,8% para el 2030. De ésta forma, la posible competencia que se genere entre la dicotomía de producción de alimentos y combustibles bien podría contrarrestarse con incrementos en los rendimientos.

2.1.2 Biocombustibles y el medio ambiente

El uso de biocombustibles tiene impactos ambientales negativos y positivos. Los impactos negativos hacen que, a pesar de ser una energía renovable, no sea considerado por muchos expertos como una energía no contaminante y, en consecuencia, tampoco una energía verde.

Una de las causas es que, pese a que en las primeras producciones de biocombustibles sólo se utilizaban los restos de otras actividades agrícolas, con su generalización y fomento en los países desarrollados, muchos países subdesarrollados, especialmente del sureste asiático, están destruyendo sus espacios naturales, incluyendo selvas y bosques, para crear plantaciones para biocombustibles. La consecuencia de esto es justo la contraria de lo que se desea conseguir con los biocombustibles: los bosques y selvas limpian más el aire de lo que lo hacen los cultivos que se ponen en su lugar.

Algunas fuentes afirman que el balance neto de emisiones de dióxido de carbono por el uso de biocombustibles es nulo debido a que la planta, mediante fotosíntesis, captura durante su crecimiento el CO₂ que será emitido en la combustión del biocombustible. Sin embargo, muchas operaciones realizadas para la producción de biocombustibles, como el uso de maquinaria agrícola, la fertilización o el transporte de productos y materias primas, actualmente utilizan combustibles fósiles y, en consecuencia, el balance neto de emisiones de dióxido de carbono es positivo.

Otras de las causas del impacto ambiental son las debidas a la utilización de fertilizantes y agua necesarios para los cultivos, el transporte de la biomasa, el procesado del combustible y la distribución del biocombustible hasta el consumidor. El uso y abuso de varios tipos de fertilizantes tienden a degradar los suelos al acidificarlos. El consumo de agua para el cultivo supone disminuir los volúmenes de las reservas y los caudales de los cauces de agua dulce.

Algunos procesos de producción de biocombustible son más eficientes que otros en cuanto al consumo de recursos y a la contaminación ambiental. Por

ejemplo, el cultivo de la caña de azúcar requiere el uso de menos fertilizantes que el cultivo del maíz, por lo que el ciclo de vida del bioetanol de caña de azúcar supone una mayor reducción de emisiones de gases de efecto invernadero respecto al ciclo de vida de combustibles fósiles con más efectividad que el ciclo del bioetanol derivado del maíz. Sin embargo, aplicando las técnicas agrícolas y las estrategias de procesamiento apropiadas, los biocombustibles pueden ofrecer ahorros en las emisiones de al menos el 50% comparando con combustibles fósiles como el gas, el gasoil o la nafta. La reducción en las emisiones de GEI puede observarse en la siguiente Tabla con un comparativo entre las emisiones medias del Diesel convencional y el Biodiesel según tres tipos de variedades (B-100, B-20 y B-5).

Tipo de emisiones	B100	B20	B2
Hidrocarburos no quemados	-67%	-20%	-2,20%
Monóxido de carbono	-48%	-12%	-1,30%
Material particulado	-47%	-12%	-1,30%
Óxidos de nitrógeno	+10%	+2%	+2%

Tabla 2.3⁹: Emisiones media del Biodiesel comparadas con el Diesel convencional

Como es posible notar en la tabla anterior, el uso de biocombustibles de origen vegetal produce menos emisiones nocivas de nitrógeno y azufre por unidad de energía que el uso de productos derivados del petróleo. Sin embargo, debido al uso de fertilizantes nitrogenados, en determinadas condiciones el uso de biocombustibles de origen vegetal puede producir más emisiones de óxidos de nitrógeno que el uso de productos derivados del petróleo.

2.1.3 Biocombustibles y los combustibles fósiles.

Para colocar el tema del petróleo en perspectiva debemos encontrar el peso relativo que tiene ésta fuente de energía en relación a la oferta energética mundial. El petróleo representa aproximadamente el 94,9% de la producción de

⁹ Fuente: California Environmental Protection Agency, National Biodiesel Conference, San Diego, Estados Unidos, 2006

combustibles líquidos y éstos suman el 38% de la oferta global de energía (38% los combustibles líquidos, 26% el carbón, 23% el gas natural, 7% las energías renovables y 6% la energía nuclear)¹⁰. Consecuentemente, el total de los biocombustibles representan apenas el 1% de la oferta mundial de energía.

El aumento en el precio del petróleo es el factor más importante que está impulsando la producción de combustibles alternativos en el mundo, incluido los biocombustibles. Éste precio sufrió fluctuaciones por diversas razones en los últimos años, tal como se puede ser en la siguiente figura.



Figura 2.4¹¹: La encrucijada mundial del oro negro

Entre los hitos y factores geopolíticos de las últimas 4 décadas podemos identificar las siguientes fechas claves:

- 1970 – El precio oficial del petróleo saudita se fijó en 1,80 dólares por barril, según datos del Departamento de Energía de Estados Unidos.
- 1974 – El embargo de la Organización de Países Exportadores de Petróleo (OPEP) durante la guerra de Yom Kippur provoca el primer shock petrolero. El precio del barril importado para los refinadores estadounidenses supera los 10 dólares.

¹⁰ Fuente: Datos para 2005 de International Energy Outlook 2007 (Washington 2007)

¹¹ Fuente: Evolución de Los Precios del Petróleo, Cronología de 1970 a 2008, Luis Bravo, 2008, disponible en <http://www.luisbravo.org/blog/2008/06/07/evolucion-de-los-precios-del-petroleo-cronologia-de-1970-a-2008/>

- 1980 - La guerra Irán-Irak lleva las cotizaciones del petróleo por encima de los 30 dólares y el barril alcanza los 39 dólares a comienzos de 1981.
- Fines de septiembre y comienzos de octubre de 1990 - Breve incursión por encima de los 40 dólares por barril, antes de la guerra del Golfo.
- Septiembre de 2001 - El barril roza los 30 dólares la semana de los ataques del 11, para luego volver a caer. Termina el año por debajo de los 20 dólares.
- Febrero de 2003 - El precio del petróleo roza los 40 dólares -su nivel más alto desde 1990- en las semanas previas a la invasión estadounidense de Irak.
- Septiembre 2004 - 50 dólares. El mercado se preocupa por el abastecimiento.
- Junio de 2005 - 60 dólares.
- Fines de agosto de 2005 - El huracán Katrina sacude la zona petrolera del Golfo de México. El barril pasa por encima de los 70 dólares.
- 12 de septiembre de 2007 - El barril de "light sweet crude" supera los 80 dólares, el mercado se preocupa por el aprovisionamiento de las reservas petroleras estadounidenses.
- 18 de octubre de 2007 - 90 dólares.
- 2 de enero de 2008 - El barril alcanza brevemente la barrera psicológica de los 100 dólares en el mercado neoyorquino, a raíz de la violencia en Nigeria y en medio de temores de una nueva baja de las reservas estadounidenses.
- Marzo de 2008 - Tras una pausa, el barril empieza a subir para compensar la baja del dólar, hasta alcanzar 111 dólares el 13 de marzo. Enseguida volvió a caer por debajo de los 100 dólares.
- Abril 2008 - Estimulado por la baja de las reservas estadounidenses, el mantenimiento sin alteraciones de la producción de la OPEP, el crecimiento de China y, sobre todo, la baja del dólar, que rozó 1,60 por euro, el precio del barril rompe un récord tras otro: 112 dólares el 9 de abril, 113 dólares el 14 de abril, 114 dólares el 15 de abril y 115 dólares el 16 de abril.

- Mayo 2008 - 120 dólares.
- Junio de 2008 - Se establece un nuevo récord en 139,12 dólares el 6 de junio.

De ésta forma, el precio del crudo experimentó una marcada alza, pasando de los U\$D 20 que se pagaban en 2002 a los mas de U\$D 139 en Junio de 2008. Conflictos geopolíticos sumados a la creciente demanda energética de países como India o China que motorizan su industria y el agotamiento de las reservas a nivel mundial, hicieron fluctuar el precio de éste commodity.

Siendo los biocombustibles sustitutos ideales de los combustibles fósiles (etanol para la gasolina y el biodiesel para el diesel convencional), su precio está estrechamente relacionado. Un alza en el precio del crudo restringe la oferta mundial de granos como tal, direccionando la oferta del mismo hacia el mercado de los biocombustibles, de la misma forma que sucede con las inversiones para ésta industria.

2.2 Estado actual en diferentes países

En la actualidad, más de 30 países realizan mezclas de biodiesel y existen muchos otros interesados en implementarlas en los próximos años. Como se expone a continuación, existen diversas políticas y marcos regulatorios que varían según el país o región. De ésta forma, el mercado de biocombustibles está impulsado por la Unión Europea con Alemania y Francia a la cabeza, los Estados Unidos, Brasil y Argentina.

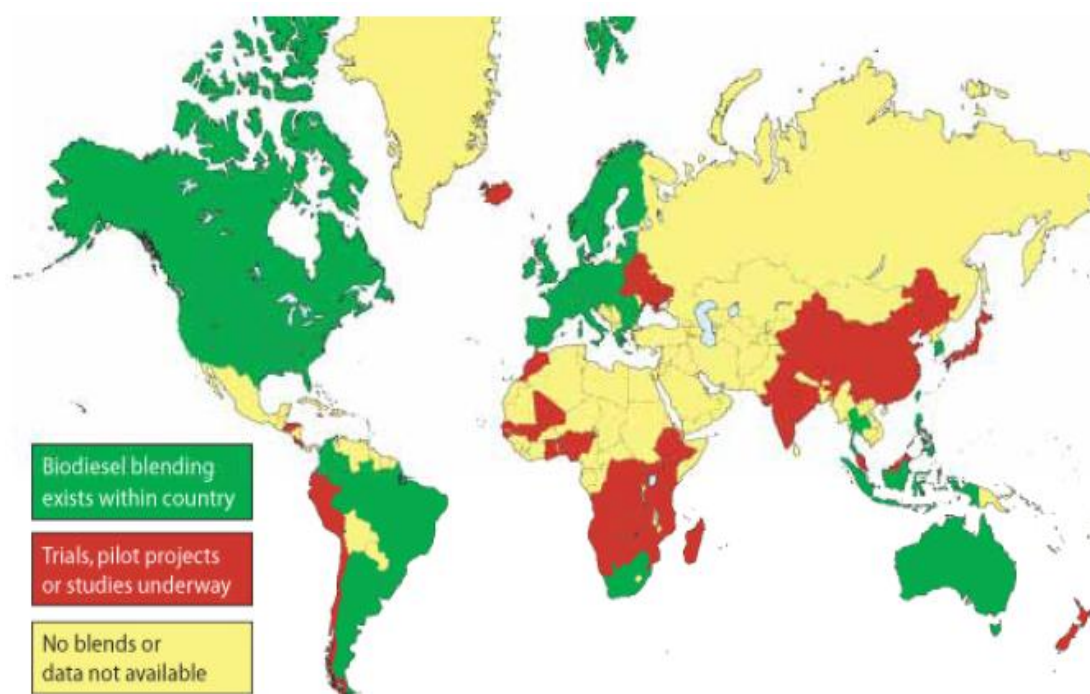


Figura 2.5¹²: Uso de Biodiesel en el mundo; 30 países mezclan biodiesel, muchos otros interesados.

Tomando un mercado mundial de más de 16.500 millones de litros de biodiesel, es la Unión Europea quien claramente lo lidera. Su producción anual representa más de la mitad de lo producido cada año en todo el mundo, seguido por los Estados Unidos, Brasil y la Argentina. (Ver Figura 2.6)

12 Fuente: HEC/Global Biodiesel Center, noviembre 2008, disponible en <http://arpel.clk.com.uy/en/ppt/jue23/Mesa%20Redonda%204/Livia%20Kosaka%20-%20SPA.pdf>

Region	Million Litres	Feedstocks
EU	9,848	Rapeseed (50%), soyoil (40%), palm (5%) and tallow (5%)
U.S.A	1,682	Soy (40%), tallow (20%), canola (20%), palm (20%)
Brazil	1,386	Soy (80%), tallow (10%), other veg oils (10%)
Argentina	1,250	Soy
Thailand	614	Palm
Malaysia	284	Palm
Colombia	205	Palm
China	191	Waste veg oils
South Korea	182	Palm (33%), soy (33%), waste veg oils (33%)
Indonesia	170	Palm
Singapore	124	Palm
Philippines	108	Coconut
Canada	102	Tallow
O. S. America	63	Palm
O. Europe	58	Rapeseed
Australia	57	Tallow
Taiwan	43	Palm (33%), soy (33%), waste veg oils (33%)
O. N & C Am	38	Palm
India	23	Waste veg oil
O. Oceania	6	Waste veg oil
O. Asia	5	Waste veg oil
World	16,436	

Figura 2.6¹³: Producción Mundial de biodiesel por país para 2009

2.2.1 Biodiesel en Brasil

Brasil es un país productor de biodiesel desde el 2005, año en el cual el Gobierno Federal lanza el Programa Nacional de Producción y Uso de Biodiesel (PNPB)¹⁴. A partir de entonces, la producción de biodiesel, principalmente basado en el aceite de soja, se dispara y crece hasta llegar a producir más de 400

¹³ Fuente: Producción y Caracterización de biodiesel de palma y de aceite reciclado mediante un proceso batch y un proceso continuo con un reactor helicoidal, Fredy Augusto Avellaneda Vargas, Tarragona, España 2010

¹⁴ El PNPB es una acción interministerial del Gobierno Federal, cuyo objetivo es la implementación de forma sustentable, tanto técnica como económicamente, de la producción y uso de biodiesel, con enfoque de inclusión social y desarrollo regional, por medio de la generación de empleo e ingreso. Las principales objetivos del PNPB son: implementar un programa sustentable que promueva la inclusión social, y garantizar precios competitivos, calidad de suministro y producción de biocombustibles a partir de diferentes fuentes oleaginosas en diversas regiones.

La gestión operacional del programa es hecha por el Ministerio de Minas y Energía (MME). El uso comercial del biodiesel en Brasil fue autorizado en diciembre del 2004, inicialmente para una mezcla B2 (2% de agregado de combustibles de origen biomásico con 98% de combustibles fósiles). La Ley n.º 11 097 estableció que, hasta que el final del 2007, la mezcla será autorizada y comenzará a ser obligatoria en un porcentaje del 2% entre el 2008 y el 2012.

No obstante, las metas han sido superadas y actualmente el volumen ha sido elevado al 4% (B4), también de forma obligatoria, a partir de julio del 2009.

millones de litros en el 2007. Por su parte, en el año 2008 la producción de biodiesel se triplica hasta llegar a 1167 millones de litros, marco de crecimiento que se mantiene en los años siguientes como se observa en la Tabla 2.7.

Año	Producción (m ³)	Crecimiento Interanual
2005	736	-
2006	69.002	9373%
2007	404.329	586%
2008	1.167.128	289%
2009	1.608.448	138%
2010	2.397.272	149%

Tabla 2.7¹⁵: Producción de Biodiesel en Brasil

Brasil cuenta con una capacidad productiva nominal a la fecha de aproximadamente 4000 millones de litros, con una proporción mayor al 85% dentro del programa social (sello de combustible social) que promueve la inclusión social de los agricultores familiares proveedores de materia prima. Es de destacar que la producción se centra principalmente en 4 estados (Río Grande do Sul, Mato Grosso, Goiás y Sao Paulo) cubriendo el 87,2% de la producción total en un marco de 13 estados productores, con un total de 38 plantas autorizadas y con un régimen especial para producir biodiesel de la Secretaría de Ingresos Federales de Brasil, del Ministerio de Finanzas, tal como se observa en la Figura 2.8.

¹⁵ Fuente: Elaboración propia con datos de la ANP (Agencia Nacional de Petróleo, Gas Natural y Biocombustibles)

<http://www.anp.gov.br/?pg=53546&m=&t1=&t2=&t3=&t4=&ar=&ps=&cachebust=1310249509053>

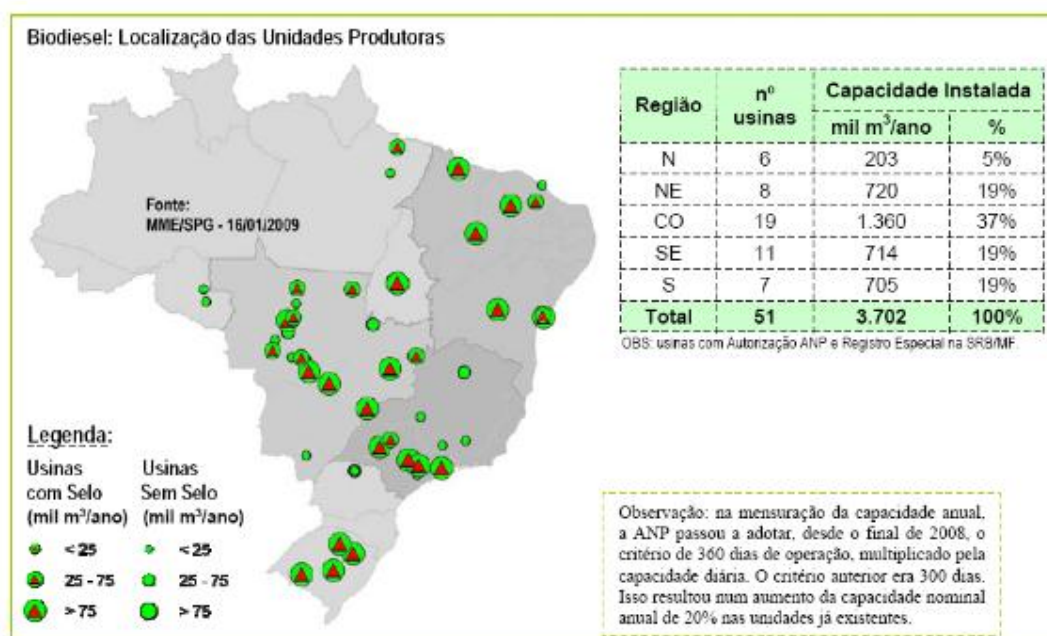


Figura 2.8¹⁶: Localização geográfica de las unidades productoras de biodiesel.

El biodiesel se produce esencialmente a partir de tres fuentes, siendo el aceite de soja la principal (70% del total) y le sigue de lejos las grasas de varias fuentes (19%) y el sebo bovino (10%). Entre las tres fuente de materia prima engloban el 99% de la producción del biodiesel brasileiro.

2.2.2 Biodiesel en la Unión Europea

Europa lidera el mercado del biodiesel con una cuota de producción cercana al 50%. América, con Estados Unidos, Brasil y Argentina como mayores exponentes, ocupa el segundo puesto del ranking a nivel continentes.

¹⁶ Fuente: Agencia Nacional de Petróleo, Gas Natural y Biocombustibles, MAPA 2008, www.anp.gov.br

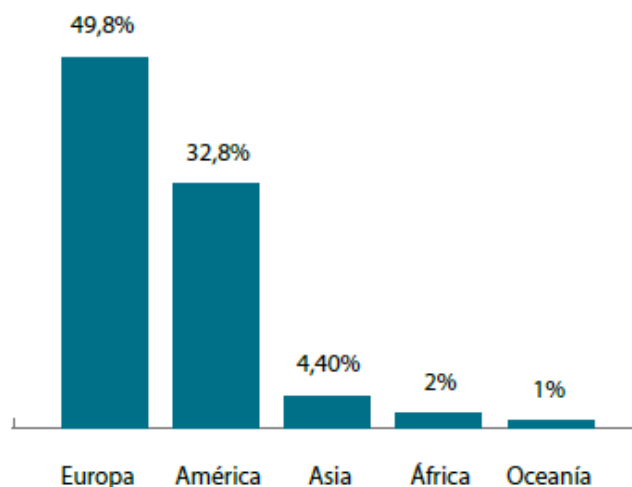


Figura 2.9¹⁷: Producción de biodiesel por continente

Entre las 245 plantas de producción de biodiesel con las que cuenta la Unión Europea, la capacidad se eleva hasta los 22 millones de toneladas, con una tendencia de plantas cada vez de mayor tamaño privilegiando las economías a escala. Los mayores productores de éste tipo de biocombustible son Alemania, Francia, España e Italia. La industria europea en su conjunto, produjo 9 millones de toneladas en 2009, un 16,6% más que el año anterior según EBB (European Biodiesel Board). La materia prima de mayor utilización es el aceite de colza y girasol.

¹⁷ Fuente: Informe Sectorial 2010, disponible en www.biodieselpain.com

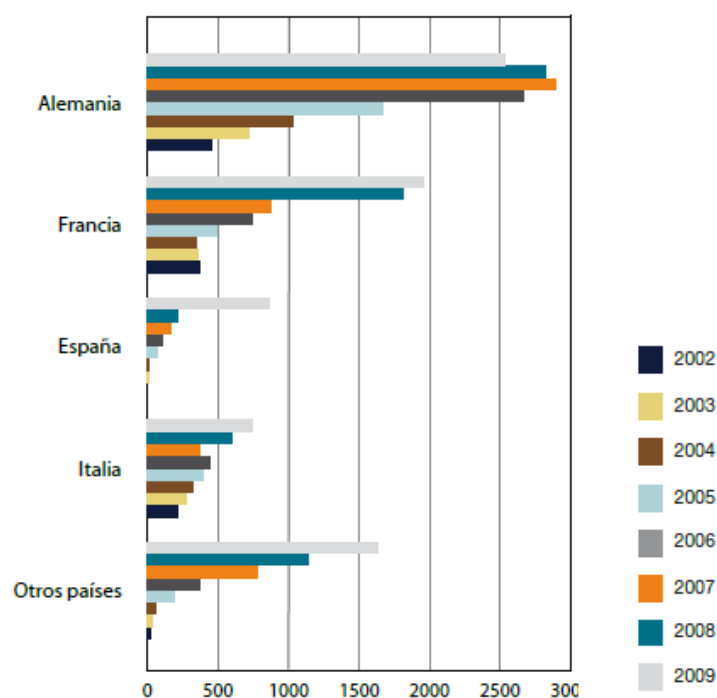


Figura 2.10¹⁸: Evolución de la producción por países (en Toneladas)

A partir de normativas exigentes, con un objetivo mínimo del 5,75% sustitución de carburantes fósiles por biocombustibles a partir de 2010, cada país tiene la libertad para exigir un compromiso mayor. Así es el caso de España por mencionar un ejemplo, donde se fijó la obligatoriedad en valores del 3,4% para el 2009 y 5,83% para el 2010. De ésta forma, el consumo de biodiesel en la Unión Europea creció de forma exponencial en los últimos años, superando su producción y teniendo que recurrir a las importaciones.

¹⁸ Fuente: European Biodiesel Board (EBB)

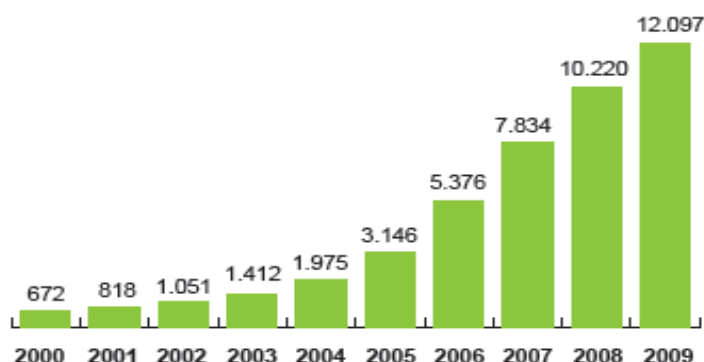


Figura 2.11¹⁹: Consumo de biodiesel en transporte en la UE, en miles de Toneladas

Por países, Alemania, Francia, Italia, España y Reino Unido son los que realizan un mayor consumo de biocombustibles, ya que juntos suman el 71,1% del conjunto de la UE. Si bien el crecimiento en estos países ha sido del 221% desde el año 2005, han perdido peso en el conjunto de la UE. Ese año representaban el 89,5% del total, 18 puntos más que en 2009.

Alemania es el líder europeo en consumo de biocombustibles, con 2.894.000 toneladas en 2009 (el 23%), aunque en los dos últimos años registró un descenso debido a la decisión de su parlamento de reducir las cuotas de incorporación de esta energía a los carburantes, prevista inicialmente en el 6,25% y que se redujo al 5,25% para todo el ejercicio. No obstante, a partir de 2010, y hasta 2014, el porcentaje vuelve a ser del 6,25%. Cabe destacar que el crecimiento desde 2005 ha sido 55,1%.

Francia, con 2.511.000 toneladas, representa el 20,8% de la Unión Europea, y en 2009 creció un 10,4% sobre el año anterior. El desarrollo de este tipo de combustibles se ha visto favorecido por medidas legales que gravan los de origen fósil e introduce exenciones fiscales para aquellos de procedencia renovable. Desde 2005 aumentó un 499,3%.

Italia es el tercer país por volumen de consumo de biocarburantes, con 1.167.000 toneladas, un 62,9% más que en 2008, lo que representa el 9,7% de la UE. Este incremento se debe a que la tasa de biocombustibles pasó del 2,4% al 3%. En cuatro años, creció un 559%.

¹⁹ Fuente: Biocombustibles, Informe 2010, Torres y Carrera Consultores de Comunicación

Por su parte, España es el cuarto país de la UE, con 1.046.000 toneladas en 2009 (el 8,7%), con un crecimiento del 669% desde 2005, cuando se consumieron tan sólo 136 toneladas de biocombustible.

Finalmente, Reino Unido representa el 8,1%, con 981.000 toneladas en 2009, aunque el uso de esta fuente de energía se multiplicó por 12 desde 2005.

Tras la aprobación por la Unión Europea en marzo de 2009 de la imposición de medidas arancelarias antidumping contra el biodiesel B99 procedente de EEUU (EEUU importaba biodiesel y con el agregado de 1% de biodiesel originario de Estados Unidos los productores cobraban el subsidio completo de U\$D300 por tonelada en una práctica conocida como Splash and Dash), comenzaron a surgir prácticas similares como la importación de biodiesel B19 (con mezclas artificiales) o la importación a través de varios países. Así, en los últimos meses se ha venido importando en Europa biodiesel de Canadá a un precio menor que la propia materia prima (aceite de soja y colza) y con dudas razonables sobre su verdadero origen (EEUU), situación que está siendo investigada por la UE.

Asimismo, las exportaciones de biodiesel de Argentina a la UE continúan en auge en perjuicio de los productores europeos. En 2009 se importaron en Europa 850.000 toneladas de biodiesel argentino y en los cuatro primeros meses de 2010 ya se habían alcanzado las 260.000 toneladas. Esto es debido a la política argentina de impuestos diferenciales (DETs) que establece un incentivo artificial a la exportación de biodiesel, imponiendo menos impuestos al producto terminado que a la materia prima, el aceite de soja (retenciones diferenciadas). Además, Argentina, junto con otros destacados productores de biodiesel como Malasia e Indonesia, disponen del “Sistema de Preferencias Generalizadas de la UE” que les ofrece acceso libre de impuestos al mercado de la Unión Europea.

2.2.3 Biodiesel en Estados Unidos

Estados Unidos es el tercer país productor de biodiesel del mundo y el principal productor en América llegando en el 2007 a 1,7 billones de litros. La producción de biodiesel ha crecido en los últimos cuatro años (2004 – 2007) a una vigorosa tasa media de cambio de 162,1%, crecimiento que muestra el sostenido desarrollo de esta industria.

Estados Unidos consume internamente toda su producción. Para agosto del 2007, existían 750 estaciones donde se vendía biodiesel. Carolina del Norte, Carolina del Sur, Texas y Missouri son los cuatro estados con mayor número de estaciones de servicio que venden biodiesel a un precio promedio de USD 0,864 por litro para el biodiesel B100; esto es aproximadamente un 11% más caro que el diesel de origen fósil.

La producción aceitera se fundamenta principalmente en la soja y el algodón, con una participación del 80,6% y 13,7% de la superficie total cultivada de oleaginosas, seguidos mas de lejos por el girasol, maní, la colza y el lino.

Cultivo	Área sembrada 2007 (miles de ha)
Soja	25 751,0
Algodón	4 382,7
Girasol	714,0
Maní	497,7
Colza	478,7
Lino	143,2

Fuente: USDA y FAS 2008.

Figura 2.12²⁰: Principales cultivos de oleaginosas en los Estados Unidos

Desde 1992 varias agencias del Gobierno Federal así como agencias estatales han implementado iniciativas orientadas a fomentar la producción y uso del biodiesel. A nivel del Gobierno Federal, el Acta de Política sobre Energía (EPA 1992) es el crédito impositivo para el biodiesel establecido en el 2004, el Programa Commodity Corporation Credit (CCC) del USDA y más recientemente el EPA 2005. Por lo menos 31 estados han instituido un número de iniciativas sobre el tema. Consiste en establecer un 5% de agregado de biocombustible para la mezcla B5, 10% para 2010 hasta alcanzar un 20% en 2015 (Estado de Missouri).

A Mayo de 2007 existían 148 compañías de biodiesel con una capacidad productiva de 5200 millones de litros anuales. Otras 96 compañías se encontraban en construcción esperando estar listas para 2009 cuando la capacidad ascendería 7150 millones de litros más. De ésta forma, EEUU contaría para comienzos de

²⁰ Fuente: Atlas de la Agroenergía y los Biocombustibles en las Américas, IICA, Costa Rica, 2010

2009 capacidad para producir más de 12500 millones de litros de biodiesel según datos tomados del National Biodiesel Board.

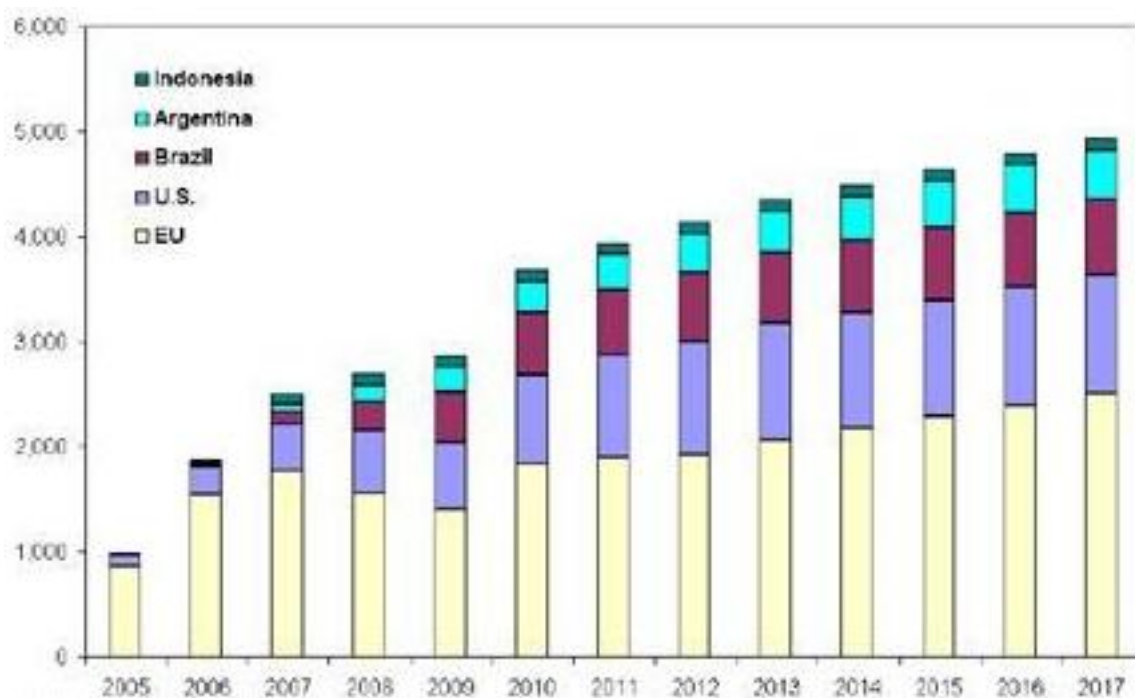


Figura 2.13²¹: Producción mundial de biodiesel, 2005-2017 en millones de galones

21 Fuente: Global Biodiesel Production and Capacity, disponible en www.biozio.com

2.3 Reflexión y pasos a seguir

La industria y el mercado de los biocombustibles han crecido en los últimos años y seguirán desarrollándose en el futuro como alternativa a los combustibles fósiles en un intento/realidad de diversificar la matriz energética actual.

Posicionando a los biocombustibles en la etapa del ciclo de vida de los productos del desarrollo temprano, resulta evidente que los biocombustibles deberán superar la inercia inicial y los prejuicios que suponen, por ejemplo, en cuanto a la competencia de insumos para el mercado de los alimentos.

Con un mercado en expansión, ávido de alternativas para un modelo energético basado en el agotamiento de recursos, los biocombustibles, con el Bioetanol y el biodiesel como productos generadores del cambio de paradigma, se encuentran con una ventana de oportunidad inmejorable. En la actualidad vivimos en un entorno donde los altos precios de los combustibles fósiles atraen inversiones en productos sustitutos, el marco legal fomenta el desarrollo de combustibles más limpios además de experimentar una concientización en cuanto al cuidado del espacio en el que vivimos y nos desarrollamos.

Estas razones nos llevan a pensar en estudiar la factibilidad técnica y económica-financiera de producir biodiesel a escala industrial. De ésta forma, se analizarán las materias primas existentes para producirlo además de los métodos de obtención, para luego estudiar y determinar si el proyecto es redituable y atractivo para inversores. En las próximas etapas en el presente trabajo se buscará desarrollar una solución que genere alternativas al modelo actual, rentable para los inversores y sobre todo, de mínimo impacto para el medio ambiente.

Alternativas Actuales

3. Alternativas Actuales

3.1 Alternativas de Materias Primas para producir Biodiesel

Las principales materias primas para la elaboración de biodiesel son las semillas oleaginosas y sus aceites derivados. Se puede decir que la producción de biodiesel proviene mayoritariamente de los aceites extraídos de semillas oleaginosas tradicionales, especialmente soja, girasol, colza y palma. Sin embargo, cualquier materia que contenga triglicéridos puede utilizarse para la producción de biodiesel. Sin embargo las condiciones climáticas, geográficas, el rendimiento de cultivo, el contenido en aceite y la necesidad de mecanizar la producción limitan actualmente las alternativas rentables a unas cuantas especies Figura 3.1.

Cultivo	Aceite producido
	(litros/hectárea/año)
Soja	450
Camelina	580
Girasol	950
Jatropha	1900
Palma	6000
Algas	9000-37000

Figura 3.1²²: Rendimiento de algunas fuentes de aceite para la producción de biodiesel

²² Fuente: Biodiesel from Microalgae, Biotechnology Advances, Y. Christi, 2007

3.1.1 Biodiesel a partir de Soja

La soja es una especie de la familia de las leguminosas cultivada por sus semillas con un medio contenido de aceite y un alto contenido de proteína. El grano de soja y sus subproductos (aceites y harina de soja, principalmente) se utilizan para alimentación humana y del ganado, y a partir de los últimos años, como insumo para biocombustibles. Se comercializa en todo el mundo, debido a sus múltiples usos.

El cultivo de soja es un factor muy valioso si se efectúa en el marco de un cultivo por rotación estacional, ya que fija el nitrógeno en los suelos, agotados tras haberse practicado otros cultivos intensivos. En cambio, el monocultivo de soja acarrea desequilibrios ecológicos y económicos si se mantiene prolongadamente y en grandes extensiones.

Según la FAO (Organización para la Agricultura y la Alimentación, según sus siglas en inglés), la producción de soja a nivel mundial se centra en torno a las 250 millones de toneladas para 2009 con estimaciones de superar las 300 millones de toneladas para la campaña 2010/11 cuando se esperan mejor condiciones. Los grandes jugadores del mercado de la soja se concentran en Estados Unidos, Brasil y Argentina con el 85% de la producción mundial.

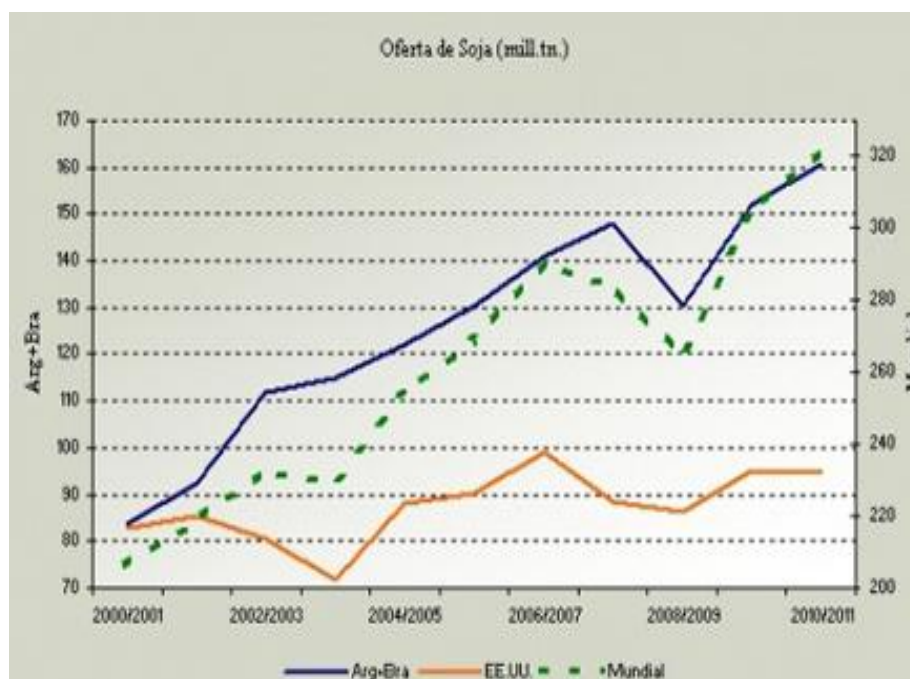
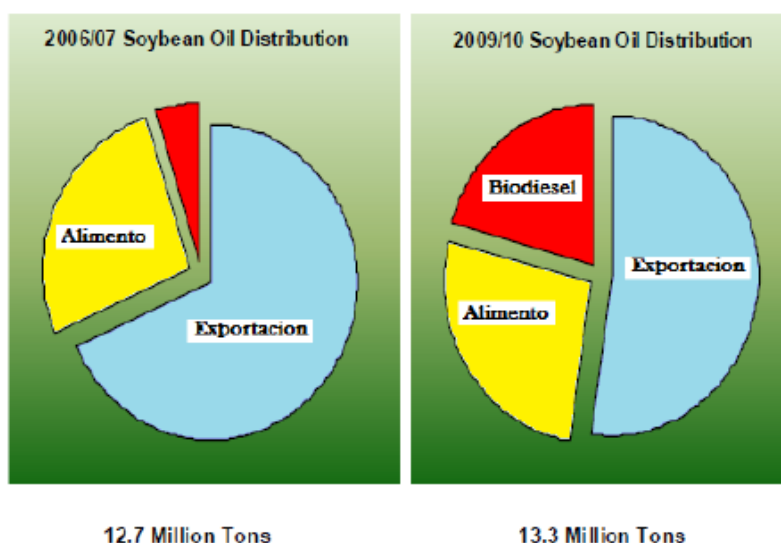


Figura 3.2²³: Producción Mundial de Soja, comparativo EEUU, Brasil, Argentina

El rendimiento industrial para la obtención de aceite es de 0,20 para la soja; es decir, que a partir de una tonelada de soja es posible obtener 215 litros de aceite de soja²⁴ y luego del proceso de transesterificación, obtener biodiesel de soja.

El cultivo de soja para su utilización como biocombustible ha cambiado el comportamiento del mercado en algunos países sudamericanos como Brasil, Argentina y Uruguay, aumentando el consumo interno y disminuyendo las exportaciones debido a las nuevas leyes que obligan a agregar biodiesel al diesel de petróleo mínimo a un 5% en 2010, situación que se replica análogamente en otras partes del mundo.

Figura 3.3²⁵: Distribución del aceite de soja según su uso en Sudamérica

²³ Fuente: FAO, disponible en <http://faostat.fao.org/>

²⁴ Densidad = 0,93g/ml

²⁵ USDA. (2009). *Oilseeds: World Markets and Trade*. United States Department of Agriculture, Foreign Agricultural Service, Circular series, disponible en <http://www.fas.usda.gov/oilseeds/circular/2009/November/oilseedsfull1109.pdf>.

3.1.2 Biodiesel a partir de Colza

Brassica napus, colza, raps, canola o nabicol es una planta cultivada de la familia de las brisacáceas, con flores de color amarillo brillante.

Se cultiva por todo el mundo para producir forraje, aceite vegetal para consumo humano y biodiesel. Los principales productores son la Unión Europea, Canadá, Estados Unidos, Australia, China y la India. En la India ocupa un 13% del suelo cultivable. Según el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, la colza era la tercera fuente de aceite vegetal en 2000, tras la soja, y la palma, además de la segunda fuente mundial de comida proteínica, aunque su importancia sea sólo una quinta parte de la soja. En Europa, se cultiva principalmente para alimentar el ganado (por su alto contenido en lípidos y contenido medio en proteínas).

Su aceite, en estado natural es medianamente tóxico en dosis altas por su contenido de ácido erúico C22:1 y glucosinolatos. Su rendimiento industrial es del 40% en peso seco de colza.

En la estimación del mes de noviembre de 2009 el Departamento de Agricultura de Estados Unidos proyectó una producción mundial de semillas de colza de 58.11 millones de toneladas métricas, siendo la producción mundial de aceite de 21.952 millones de toneladas métricas comercializadas a un precio de USD 885,83 (FOB Rotterdam) en Octubre de 2009.

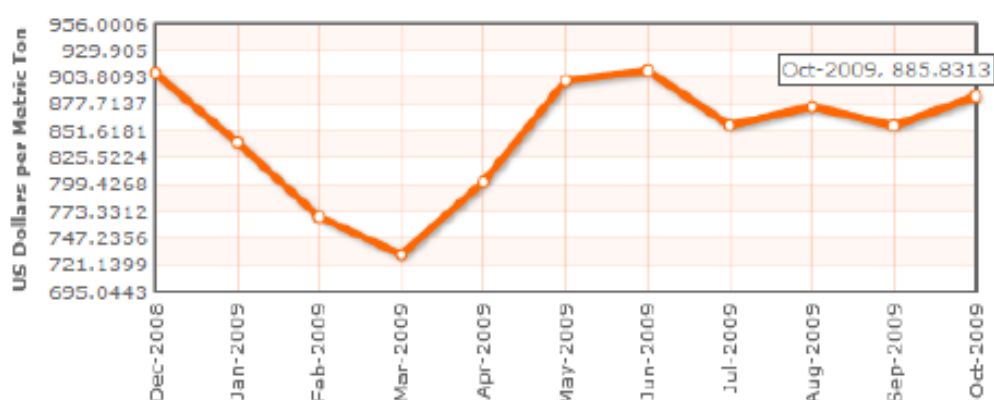


Figura 3.4²⁶: Evolución del precio mensual del aceite crudo de colza en el período 2008-2009 (FOB Rotterdam)

3.1.3 Biodiesel a partir de *Jatropha*

La *Jatropha* es un género de aproximadamente 175 suculentas, arbustos y árboles (algunos son de hojas caducas, como *Jatropha curcas* L.), de la familia de las Euforbiáceas. Puede desarrollarse en los suelos pobres y en regiones con alta o baja precipitación pluvial, pero los mejores rendimientos se obtienen en suelos arenosos de fertilidad media a escasa, no adecuados para cultivo de alimentos en zonas tropicales y subtropicales del mundo, necesitando un mínimo de 300mm anuales de agua y 600mm para desarrollarse normalmente, alcanzando un óptimo con 1200mm de precipitaciones. Soporta heladas permitiendo reducir un 30% las pérdidas por éste fenómeno.

Es un árbol originario de Centroamérica que desarrolla entre 4 y 8 metros a su edad adulta y dependiendo del régimen hídrico, produce unos frutos carnosos de unos 5 centímetros de diámetro, de cuyas semillas pueden extraerse grandes cantidades de aceite. Ese aceite, sometido a los procesos adecuados puede dar biocombustible compatible con las normas internacionales vigentes.

3.1.4 Biodiesel a partir de Palma

De la fruta de la palma *Elaeis guineensis* se obtiene el aceite de palma, siendo el tipo de aceite con más volumen de producción, sólo superado por el aceite de soja. El fruto de la palma es ligeramente rojo, al igual que el aceite embotellado sin refinar. Industrialmente, se usa como materia prima en la producción de biodiesel.

Las plantaciones de palma aceitera se están implantando principalmente en las regiones tropicales, donde en 1997 ocupaban 6,5 millones de hectáreas, en las que se producían 17,5 millones de toneladas de aceite de palma y 2,1 millones de toneladas de aceite de palmiste. En 2005 el área plantada era de 12 millones de

²⁶ Fuente: IndexMundi. (2009). *Historical commodity prices: Rapeseed oil*, disponible en <http://www.indexmundi.com/commodities/?commodity=rapeseed-oil&months=12>.

hectáreas, llegando la producción 30 millones de toneladas de aceite. Es decir, que en menos de 10 años casi se han duplicado tanto el área plantada como la producción de aceite.

Según datos del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, La producción mundial de aceite de palma para el 2009 fue de 45.022 millones de toneladas, transadas a un precio de U\$D 636.55 (FOB Brasil)²⁷, con Indonesia y Malasia liberando el mercado mundial de la producción de ésta variedad de aceite.

País	Cantidad (millones de TM)
Indonesia	20.750
Malasia	18.500
Tailandia	1.300
Nigeria	0.820
Colombia	0.800
Otros	2.852

Figura 3.5: Principales países productores de aceite de palma y sus producciones

3.1.5 Biodiesel a partir de Micro Algas

Las micro algas crecen de manera espontánea en ambientes acuáticos y húmedos. Sin embargo pese a su abundancia en la naturaleza, para la producción de biocombustibles en masa se lleva a cabo su cultivo controlado en plantas en tierra firme, utilizando la variedad indicada entra las más de 300.000 especies de algas existentes, en función de la utilidad que quiere obtener de ellas. A partir del cultivo controlado de algas, optimizando las necesidades vitales de las mismas, es posible una reproducción y crecimiento mucho más rápido de lo que se obtendría en estado natural. El porcentaje de lípidos presente en cada microorganismo varía según la especie de micro alga como se observa en la siguiente tabla.

Especie de Micro Alga	Contenido de Aceite (%)
Botryococcus braunii	25-75

²⁷ Fuente: IndexMundi. (2009). *Historical commodity prices: Palm oil*, disponible en <http://www.indexmundi.com/es/precios-de-mercado/?mercancia=aceite-de-palma&meses=12>.

Chlorella sp	28-32
Cryptocodinium cohnii	20
Cylindrotheca sp	16-37
Dunaliella primolecta	23
Isochrysis sp	25-33
Monallanthus salina	>20
Nannochloris sp	20-35
Nannochloropsis sp	31-68
Neochloris oleoabundans	35-54
Nitzschia sp	45-47
Phaeodactylum tricornutum	20-30
Schizochytrium sp.	50-77
Tetraselmis sueica	15-23

Tabla 3.6²⁸: Porcentaje de aceite por especie

Resaltadas, figuran las especies *Chlorella Vulgaris*, *Nannochloropsis sp* (marina) y *Neochloris oleoabundans* (dulceacuífera), elegidas para la obtención de biodiesel por destacarse por su alta productividad en biomasa y alto contenido en lípidos, aunque últimamente varios grupos de investigación han incursionado en la línea de estudio para generar cepas genéticamente mejoradas.

Producir biodiesel de algas requiere un sistema de cultivo y recolección a gran escala, con el reto de reducir el costo por unidad de área. A gran escala, las algas necesitan condiciones cuidadosamente controladas y un ambiente natural óptimo. Tales procesos son más económicos cuando combinan procesos de retención de CO₂ de flujos de gases de emisión, con procesos de remediación y aguas residuales y/o con la extracción de otros componentes de alto valor agregado para otros procesos industriales

Las actuales limitaciones para extender la utilización de esta materia prima para la producción de biodiesel tienen que ver con la optimización de la recolección de las micro algas, los procesos de extracción, y el suministro de CO₂ para una mejor eficiencia de la producción de micro algas. También la luz, los nutrientes, temperatura, turbulencias, niveles de CO₂ y O₂ necesitan ser

²⁸ Elaboración propia a partir de datos obtenidos en “Biodiesel from microalgae”, Yusuf Chisti, Instituto de Tecnología e Ingeniería, Nueva Zelanda, 2008

ajustados cuidadosamente para proporcionar condiciones óptimas y de esta manera obtener los mejores rendimientos del contenido de aceite y biomasa

3.2 Alternativas de Procesamientos Actuales

3.2.1 Según el medio de extracción

Los aceites vegetales se obtienen a partir de las semillas, micro algas o frutos oleaginosos que los contienen por medios físicos como la aplicación de grandes presiones o mediante extracción química con solventes

3.2.1.1 Extracción mecánica

Para la extracción mecánica tradicionalmente se utilizan prensas portandas, que son el medio más antiguo para extraer aceite. Este se obtiene sometiendo a presión los materiales oleaginosos contenidos en sacos, telas de prensa o cajas. Los rendimientos de la extracción dependerán de la cantidad de presión aplicada, del tiempo que se deje drenar el aceite, la temperatura y la viscosidad. Este método se aplica a la extracción de aceites de oliva y de palma.

En las plantas modernas, el prensado se realiza en una prensa de tornillo de tipo continuo. El aceite crudo se recoge y se tamiza para eliminar las partículas sólidas. Las prensas continuas requieren menos trabajo que los sistemas hidráulicos y eliminan la necesidad de las envolturas de tela. Se adaptan a una amplia gama de materiales y, en casi todos los casos, rinden grandes cantidades de aceite. Sin embargo, las necesidades energéticas son elevadas y en consecuencia los costos de puesta en marcha y parada son elevados, factor que afecta los costos de producción de los aceites vegetales

3.2.1.2 Extracción con solventes

Este proceso recibe el nombre de lixiviación. Es un proceso en el que un disolvente líquido (normalmente hexano) se pone en contacto con las semillas previamente molidas para que se produzca la disolución de la fracción oleosa en el solvente. A continuación este se destila y se puede reutilizar. El hexano es el solvente más utilizado industrialmente debido a su alta selectividad hacia los glicéridos y la facilidad de recuperación debido a su alta volatilidad.

Para aumentar la eficiencia de este proceso de extracción, actualmente se emplean extractores que operan en proceso continuo con lecho móvil a contracorriente, obteniéndose dos corrientes: la fase líquida de micela (constituida por solvente y aceite) y la fase sólida que es la torta. De acuerdo con la eficiencia de operación en el proceso y con la composición del material oleaginoso, una fracción de aceite queda ligada a la torta.

Con este método se obtiene un aceite con menos impurezas que con la extracción mecánica. Frecuentemente se aplica a la extracción del aceite de soja o de semilla de algodón. El aceite de colza se extrae combinando el prensado con la extracción por solventes: las semillas de canola se separan en escamas, se cuecen, se laminan, se medio-presan y a continuación se extraen con solventes. Sin embargo, este método es menos apropiado para aplicaciones rurales, ya que requiere de un gran y sofisticado equipamiento.

Una opción para el tratamiento de la torta obtenida como subproducto en la etapa de extracción, es procesarla térmicamente en digestores de fase sólida considerando variables como tiempo, temperatura, velocidad de calentamiento, el mezclado y la granulometría. Estos procesos deben ser utilizados para aprovechar este subproducto en la obtención de alimento para animales o alimentación humana, realizando el apropiado control de calidad.

3.2.2 Según el proceso de producción

Las tecnologías existentes para transesterificar son relativamente simples, y pueden ser combinadas de diferentes maneras variando las condiciones del proceso y la alimentación del mismo. La elección de la tecnología será en función de la capacidad deseada de producción, alimentación, calidad y recuperación del alcohol y del catalizador. En general, plantas de menor capacidad y diferente

calidad en la alimentación de aceite (utilización al mismo tiempo de aceites refinados y reutilizados) suelen utilizar procesos batch o discontinuos. Los procesos continuos, sin embargo, son más idóneos para plantas de mayor capacidad que justifique el mayor número de personal y requieren una alimentación más uniforme.

3.2.2.1 Proceso discontinuo (batch)

El proceso discontinuo es el método más simple para la producción de biodiesel. Sin embargo para obtener un biodiesel que cumpla con las normas existentes se requiere de tecnologías y condiciones apropiadas que pueden dificultar la producción a pequeña escala. Este tipo de proceso se realiza en reactores tipo “batch” que están equipados con agitación y con un condensador de reflujo. Las condiciones de operación son establecidas previamente de acuerdo a la calidad de la materia prima. Es necesaria una agitación rápida para una correcta mezcla en el reactor del aceite, el catalizador y el alcohol (luego en etapas posteriores se realiza la separación, purificación y estabilización del biodiesel). El tiempo de reacción suele variar entre 20 minutos y dos horas existiendo numerosos estudios sobre la cinemática de ésta reacción batch. En la Figura XX se reproduce un diagrama de bloque de un proceso de transesterificación para un proceso en discontinuo o batch, donde se identifican cada una de las etapas y procesos.

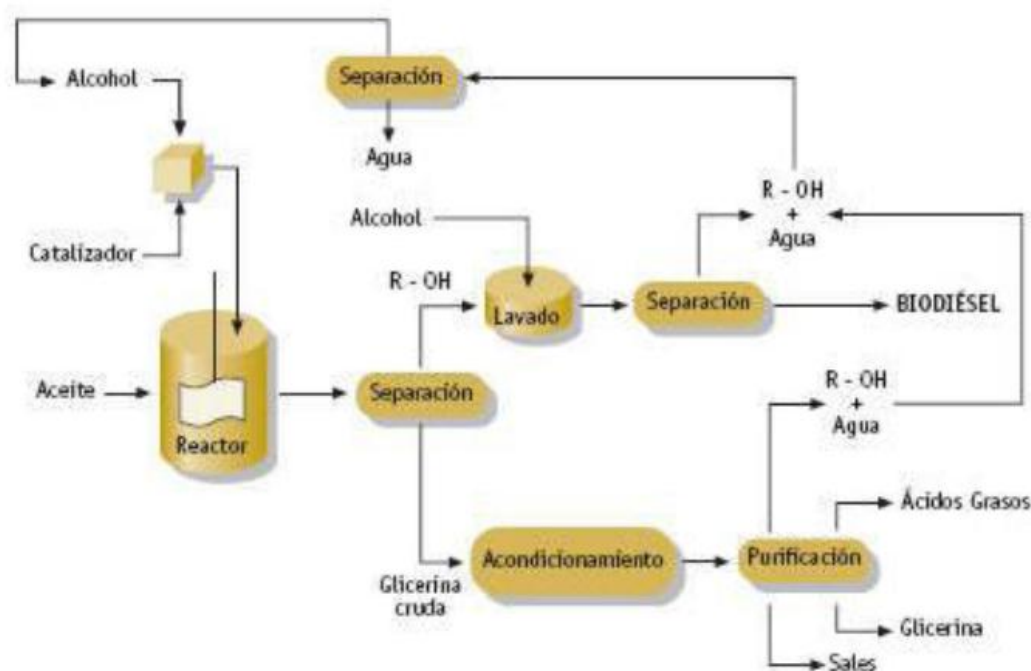


Figura 3.7²⁹: Proceso de transesterificación en discontinuo (batch)

3.2.2.2 Proceso en continuo

Una variación del proceso discontinuo es la utilización de reactores continuos del tipo tanque agitado, los reactores CSTR (Continuous Stirred Tank Reactor). Este tipo de reactores puede ser variado en volumen para permitir mayores tiempos de residencia y lograr aumentar los resultados de la reacción. Así, tras la decantación de glicerol en el decantador la reacción en un segundo CSTR es mucho más rápida, con un porcentaje del 98% de producto de reacción. Un elemento esencial en el diseño de los reactores CSTR es asegurarse que la mezcla se realiza convenientemente para que la composición en el reactor sea prácticamente constante. Esto tiene el efecto de aumentar la dispersión del glicerol en la fase éster.

Otra forma del proceso continuo es el reactor de tipo tubular. En este caso, mientras la mezcla de reacción se mueve longitudinalmente, los reactivos se mezclan en la dirección axial, y se aprovechan los flujos turbulentos inducidos por

²⁹ Fuente: Miliarium (2009). Biodiesel, disponible en <http://www.miliarium.com/Monografias/Biocombustibles/Biodiesel/Biodiesel.asp>

bombas, agitadores estáticos y ultrasonidos para mezclar los reactivos. Este tipo de reactor de flujo pistón, Plug Flow Reactor (PFR), se comporta como si fueran pequeños reactores CSTR en serie. La agitación o el flujo turbulento causan la dispersión de pequeñas gotas de la fase oleosa en la metanólica. La agitación ultrasónica induce cavitaciones de gotas asimétricas para colapsar en la interfase alcohol-aceite, mezclando diminutas gotas de un líquido en el otro.

El resultado es un sistema en continuo que requiere tiempos de residencia menores (del orden de 6 a 10 minutos) con el consiguiente ahorro energético. Este tipo de reactor puede operar a elevada temperatura y presión para aumentar el porcentaje de conversión. Así, en la Figura XX vemos el diagrama de bloques para el proceso de transesterificación continuo.

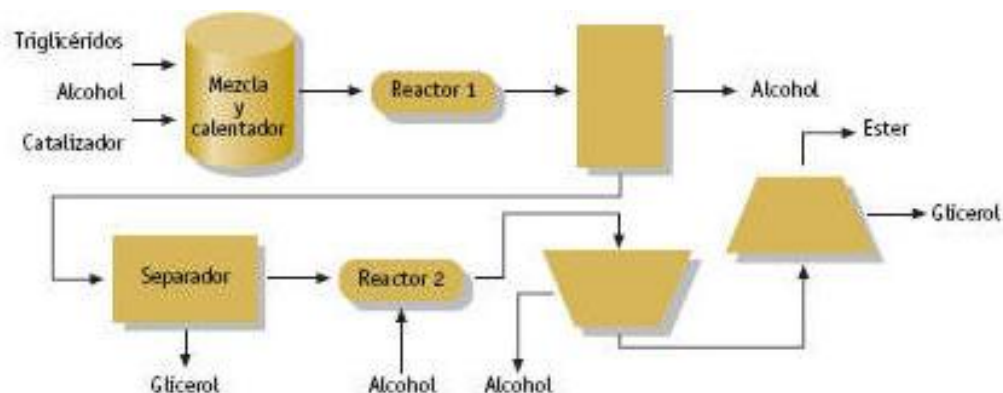


Figura 3.8³⁰: Diagrama de proceso de transesterificación continuo

³⁰ Fuente: idem anterior

4. Definición del Problema

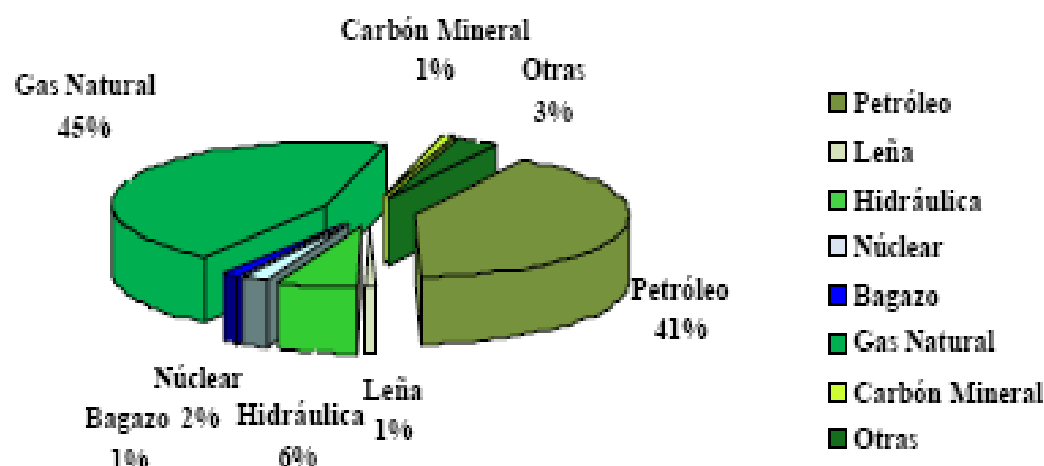
Luego de analizar el tema desde una visión más integral, lo que se pretende ahora es analizar la Argentina como el escenario para las posibles alternativas. Mucho se ha hablado acerca de la situación de países extranjeros pero es hora de analizar en profundidad qué ocurre en nuestro país. Con el fin de comenzar a cuantificar el problema, a continuación se detalla como es el contexto en relación al Diesel y al Biodiesel en Argentina.

4.1 Mercado Argentino de Combustibles.

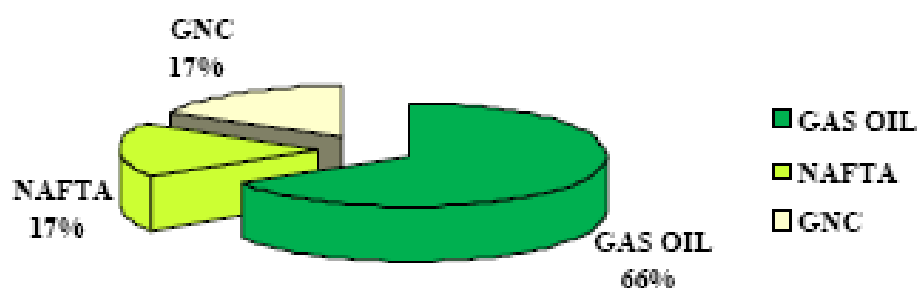
Los combustibles fósiles forman parte de la oferta energética de todas las economías, aunque las perspectivas de agotamiento han comenzado a plantear la necesidad de encontrar energías alternativas. Entre dichas alternativas se encuentran la energía eólica, solar, nuclear, entre otras, aunque en éste trabajo se hará foco a una energía renovable factible a corto plazo como lo son los biocombustibles. Así, para poner este tema en perspectiva, analizaremos la matriz energética Argentina.

La matriz energética de un país mide la participación de cada fuente primaria en la oferta total. De ésta forma, podemos observar en la Figura 4.1 que se presenta a continuación, un elevado grado de dependencia de los combustibles fósiles. El petróleo y el gas natural proveen, en conjunto, el 86% de la energía utilizada en el país, cuyo aporte se divide en proporciones semejantes. Es posible observar por su parte, cómo las fuentes renovables de energía ocupan un espacio marginal; entra las más importantes, la energía hidráulica representa el 6% de la oferta energética mientras que la energía nuclear abarca el 2% del total.

En un contexto en el cual las reservas locales de gas y petróleo se encuentran en mínimos históricos en relación al creciente consumo, la concentración de dichos combustibles fósiles en la matriz energética revela la fragilidad de la situación actual de nuestro país.

Figura 4.1³¹: Matriz Energética Argentina.

En la Argentina, el combustible más utilizado es el gas oil, que representa dos tercios del uso de los combustibles. Las naftas en sus distintas variedades y el GNC (Gas Natural Comprimido) completan el podio, con un 17% cada uno. De ésta forma, y proyectando una tendencia al mayor consumo de biocombustibles, por su mayor consumo, resulta razonable hacer acento en la producción de biodiesel antes que de etanol.

Figura 4.2³²: Participación en el uso de combustibles.

En el presente trabajo, se analizará el mercado del gasoil. Siendo éste el combustible que será reemplazado o mezclado con el biodiesel, analizaremos la

³¹ Fuente: Secretaría de Energía de la Nación, disponible en www.energia.gov.ar

³² Fuente: idem anterior.

oferta y la demanda del gasoil para continuar evaluando la factibilidad económica y financiera de producir biodiesel a partir de micro algas.

4.1.1 Oferta de Gasoil en Argentina

Según la Secretaría de Energía de la Nación, se comercializaron aproximadamente 12,5 millones de metros cúbicos de gasoil en el año 2006, estimándose para el 2010 un crecimiento del 3,5% anual, ascendiendo el consumo a 14,34 millones de m³.

Con casi un 95% de la facturación correspondiendo a 4 empresas, el mercado está concentrado. Repsol-YPF concentra el 56% de la facturación total de su segmento industrial, seguido por Petrobras, Shell y Esso con 14,2%, 13%, y 12,2% respectivamente de un mercado total de 13,86 millones de metros cúbicos para el año 2007.

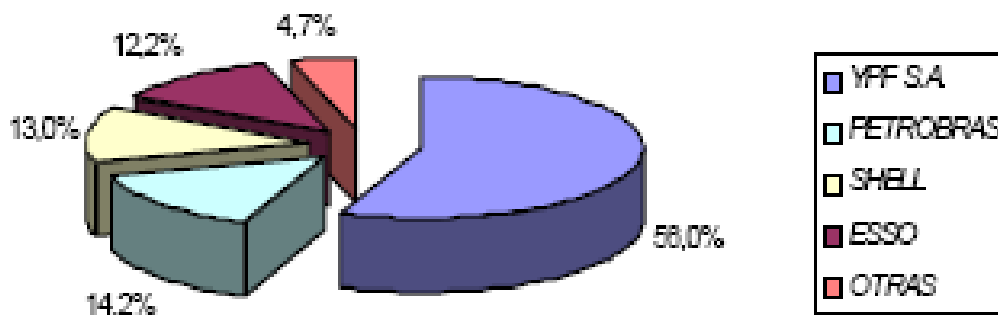


Figura 4.3³³: Participación del mercado de gasoil argentino en 2007

Más específicamente, en nuestro país la oferta de gasoil está compuesta principalmente por las siguientes empresas: Repsol-YPF, Petrobras, Shell, Esso, San Lorenzo S.A., Refinería del Norte y Dapsa. Se considera oferente tanto a las refinerías como a las estaciones de servicio, siendo éstas últimas el canal de distribución del gasoil que poseen las refinerías.

³³ Fuente: Secretaría de Energía de la Nación

"Otras" hace referencia a DAPSA, REFINOR, PETROLERA DEL CONOSUR, PETROLERA ARGENTINA, FOX PETROL, POLIPETROL, COMBUSTIBLES ARGENTINOS, KILWER

4.1.2 Demanda de Gasoil en Argentina

Según un estudio realizado por la Cámara Argentina de Energías Renovables, desde que comenzó la recuperación de la economía nacional tras la crisis sufrida en 2001-2002, el consumo de gasoil se ha incrementado en forma consistente, llegando a consumirse 13,56 millones de metros cúbicos/año en 2008.

Año	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Consumo (en millones de m ³)	10,78	10,03	10,36	11,12	11,97	12,5	13,51	13,56

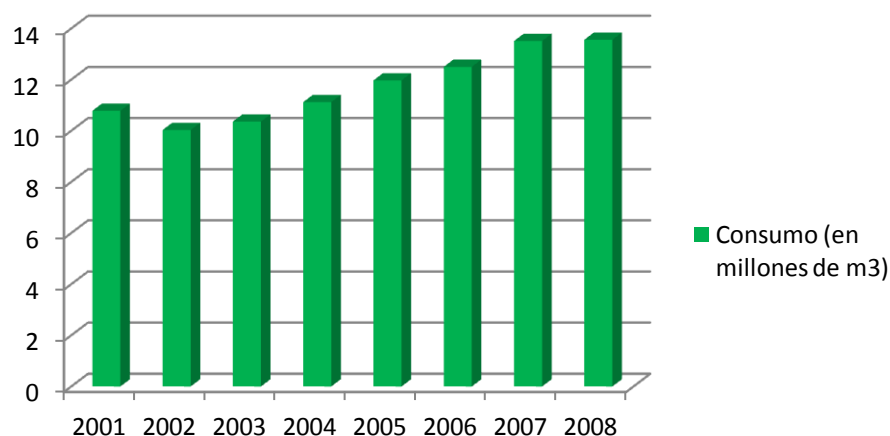


Figura 4.4³⁴: Evolución del consumo de Gasoil en la Argentina

Al igual que la oferta, la demanda también se encuentra concentrada: el transporte de cargas abarca el 41% de la demanda mientras que el sector agropecuario “tranqueras adentro” constituye el 37%. El resto, es decir el 22% del consumo, se distribuye entre los automotores diesel utilitarios y de uso particular (14%) y el transporte urbano e interurbano de pasajeros (8%).

³⁴ Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la Secretaría de Energía de la Nación

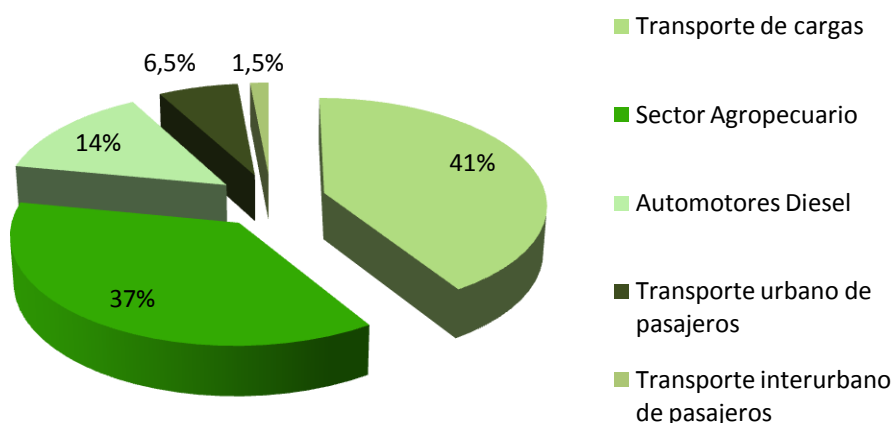


Figura 4.5³⁵: Demanda de Gasoil por sectores

Resulta cotidiano en la Argentina la falta de gasoil en épocas de invierno o en temporada de cosecha en el interior del país, sobre todo en aquellas ciudades o pueblos con mayor actividad agrícola. Sin embargo, el sector agropecuario, junto con el transporte, representa más de un tercio del consumo total de gasoil y las indicaciones sobre escasez y faltantes de combustible resultan incompatibles para el desarrollo de dicha industria. Hete aquí donde se identifica una posibilidad de modificar la matriz energética del país evolucionando hacia una con un mayor componente renovable y con menor dependencia de los combustible fósiles, con la producción de biocombustibles como lo es el biodiesel.

El alcance del presente estudio se basa en la producción y comercialización para el mercado interno según las condiciones para su desarrollo contempladas en la Ley de Biocombustibles N° 26.093 de 2006 y su subsiguiente regulación, el decreto 109/2007. No se pretende analizar los beneficios de la comercialización en el mercado externo ya que los productores de biodiesel al iniciar sus proyectos deben optar entre exportar su producción o volcarla en el mercado nacional para el Cupo Nacional, no pudiendo participar en ambos sectores.

³⁵ Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la Secretaría de Energía de la Nación

4.1.3 Marco Jurídico-Legal para la producción de Biocombustibles en Argentina

La Ley de Biocombustibles N° 26.093³⁶ sobre Régimen de Regulación y Promoción para la Producción y Uso Sustentable de Biocombustibles, establece un régimen especial para incentivar su producción y uso en el país. Así, a partir de ésta ley, se crearon una serie de beneficios promocionales entre los que se incluyen deducciones, tratamientos impositivos y tributaciones especiales en relación a las vigentes. Su objetivo es la promoción del biodiesel, el Bioetanol y el biogás, definiendo obligatoriedad de la participación del biodiesel y el Bioetanol en los combustibles diesel y naftas comercializadas en un porcentaje del 5% a partir del año 2010.

De ésta forma, se establece por ley que a partir del 1° de Enero de 2010 todo el gasoil o nafta que se produzca en el país deberá contener un 5% de biodiesel y Bioetanol respectivamente. Consecuentemente, la producción de éstos combustibles renovables comienzan a tener una mayor importancia de carácter técnico, económico, social y ambiental para nuestro país siendo éste un importante productor de cereales y oleaginosas (principales materias primas para la elaboración de los biocombustibles).

Con el Decreto Reglamentario de la Ley 26.093 se fija la autoridad de aplicación, los regímenes de promoción, habilitaciones, sanciones y promociones con respecto a los biocombustibles. Es la Comisión Nacional de Biocombustibles, creada el 31 de Mayo de 2007, la encargada de aprobar los proyectos comerciales que recibirán los mencionados beneficios impositivos siendo regulados por dicho organismo gubernamental.

Haciendo referencia a los impuesto aplicables, la ley menciona que “las personas jurídicas titulares de proyectos aprobados por la Autoridad de Aplicaciones dependiente de la Comisión Nacional de Biocombustibles, según los mencionado en el artículo anterior, gozarán de estabilidad fiscal por el término de 15 (quince) años contados a partir de la fecha de puesta en marcha del respectivo proyecto, certificada por dicha Autoridad. Éste beneficio no alcanza al Impuesto al Valor Agregado, a los Recursos de la Seguridad Social ni a los Tributos Aduaneros. La estabilidad fiscal mencionada en el presente artículo, significa que los entes que produzcan biocombustibles y sean beneficiados por la presente Ley,

³⁶ Ver Anexo N° 1

no podrán ver afectada en más la carga tributaria total determinada al momento de la presentación del estudio de factibilidad respectivo ante la Autoridad de Aplicación, como consecuencia de aumentos en los impuestos, tasas, y contribuciones nacionales, cualquiera fuera su denominación en el ámbito Nacional o la creación de otras nuevas que las alcancen como sujetos de derecho de los mismos. Si con posterioridad a la aprobación del respectivo proyecto por parte de la Autoridad de Aplicación, se produjeran modificaciones en los hechos imponible y/o alícuotas de los tributos alcanzados por la estabilidad fiscal acordada, que redujeran la carga tributaria total de los sujetos en cuestión, esas modificaciones le serán aplicables a éstos”.

Establece que “En el biodiesel combustible, el impuesto estará totalmente satisfecho con el pago del gravamen sobre el componente gasoil u otro componente gravado, no pudiéndose modificar éste tratamiento por el plazo de DIEZ (10) años. El biodiesel puro no estará gravado por el plazo de DIEZ (10) años.” Es decir, que si se corta con gasoil, sólo se pagará el impuesto a los combustibles por la proporción de gasoil fósil que se emplee en el cortado, y por los productos gravados de impuestos utilizados en su producción como ser alcohol. Además se eximirá a los productores, almacenadores y comercializadores de biodiesel por un plazo de DIEZ (10) años de las siguientes obligaciones tributarias:

- a) Impuesto a los Ingresos Brutos a la industrialización y a la ventas.
Impuesto de Sellos
- b) Impuesto inmobiliario sobre los inmuebles donde operan las facilidades de producción y almacenamiento.

4.2 Biodiesel en Argentina

4.2.1 Cupo Nacional

Cuando al 1º de Enero de 2010 entró en vigencia la mencionada ley de biocombustibles, todo el gasoil comercializado en el país debía tener un corte de 5% de biodiesel (de allí la denominación “B5”), según el Cupo Nacional. De ésta forma, tomando un mercado total argentina anual de 14,5 mil millones de litros

(14,5 millones de metros cúbicos), la demanda local de biodiesel se ubica en los 725 millones de litros de biodiesel B100 (aproximadamente 650.000 toneladas).

Hoy en día, tras la Resolución 554/2010 aprobada a principios de Julio`10, se amplió el corto obligatorio a un 7%, o sea un B7 a partir del mes siguiente, aumentando la demanda 1050 millones de litros de biodiesel.

A la fecha, muy pocas empresas se han anotado para producir para el mercado interno. La mayoría destina su producción a la exportación. Es aquí donde se plantea un paradoja: a pesar de existir faltantes de combustibles fósiles según la época, pocas empresas se ha inscripto para producir para el Gobierno.

La Ley de Biocombustibles N° 26.093 establece tres distintos tipos de personería jurídica que los inversionistas deben optar para su emprendimiento: producción para el mercado interno (Cupo Nacional), los que producirán para mercado de exportación (recordar que no se puede acceder a ambos mercados con la misma planta de producción) y por último aquellos que producirán para "Autoconsumo" (dirigida predominantemente al sector agropecuario consumidores de biodiesel a pequeña escala que muchas veces prefieren trabajar en la informalidad fuera de todo registro oficial).

Como se mencionó anteriormente, hoy por hoy, la gran mayoría de la inversión destinada a la producción de biodiesel está volcada al mercado de exportación y una pequeña porción para el mercado interno. Esto puede interpretarse como un fracaso de la propuesta que ha planificado el gobierno en relación a los inversores nacionales o extranjeros que no les parece atractivo. Sin embargo, puede interpretarse también como una oportunidad para desarrollar un nicho dónde desarrollar la actividad de producción.

Adicionalmente al problema recién expuesto, la producción y comercialización de biodiesel competirá con el gasoil, el cual recibe un importante subsidio del estado nacional, al igual que el resto de la energía de nuestro país como la electricidad y el resto de los combustibles. Así, mientras que un litro de gasoil en Argentina se paga (a Mayo de 2011) un promedio de \$3,5 (USD 0,85/litro), en los EEUU el precio es de USD1,10/litro y en Europa es USD1,95/litro. Ésta representa, sin dudas, una de las razones principales para la falta de inversión en el país en la industria energética para consumo interno.

Sin embargo, la Secretaría de Energía continúa proponiendo el esquema de la compra del 100% de la producción de cada empresa aprobada para el Cupo

Nacional durante QUINCE (15) años, para garantizar un retorno a la inversión a largo plazo, con los siguientes precios (Figura 4.6)

Mes	Precio del Biodiesel [\$ / Tn]
Diciembre 2010	4268
Noviembre 2010	3922
Octubre 2010	3769
Septiembre 2010	3532,49
Agosto 2010	3532,49
Julio 2010	3358,30
Junio 2010	3404
Mayo 2010	3430,61
Abril 2010	3425
Marzo 2010	3389
Febrero 2010	3276

Figura 4.6³⁷: Precio del biodiesel, Cupo Nacional

Según las últimas noticias publicadas en los medios nacionales, se registró una suba del 19,1% en Abril`11 respecto del precio del mes de Diciembre del año pasado, el último publicado por la Secretaría de Energía, responsable de la actualización. La fórmula da un resultado de \$ 5.084 para la tonelada de biodiesel para abril, contra los \$ 4.268 por tonelada de diciembre.³⁸

4.3 Reflexión

La situación energética argentina demanda cambios en el corto plazo para evitar los recurrentes cortes de energía sufridos en el interior del país o durante las épocas de cosecha. Resulta insólito el hecho de tener que paralizar la actividad

³⁷ Fuente: ESTADO DE LA INDUSTRIA ARGENTINA DE BIODIESEL, Cámara Argentina de Energías Renovables/CADER, Enero 2011

³⁸ Fuente: "Liberaron los precios y el biodiesel subiría 20%" del 31/03/2011, disponible en <http://www.diariolaopinion.com.ar/Sitio/VerNoticia.aspx?s=0&i=12386>

agroindustrial de un país por su dependencia a los combustibles fósiles, y por sobre todo, antieconómico. En un contexto de globalización, donde la producción agropecuaria representa un commodity, la Argentina no puede dar éste tipo de ventajas frente a la competencia de otros países; es preciso desarrollar alternativas energéticas amigables con el medio ambiente que permitan posicionar a nuestro país competitivamente.

A partir del 1º de Enero de 2010 con la entrada en vigencia de la Ley de Biocombustibles N° 26.093 se crea un mercado local con plazos y cupos definidos. Hoy en día, el Cupo Nacional se ubica en más de 1050 millones de litros de biodiesel, representando una oportunidad para tratar de obtener share sobre éste mercado.

Considero que, con un mercado creciente con respecto a la demanda y a la conciencia ecológica, y profundamente necesitado de aumentar su oferta de combustible, es posible desarrollar un proyecto de producción industrial de biodiesel atractivo para los inversores e interesante para el país. Así, en las sucesivas secciones se evaluará la viabilidad técnica y económica-financiera de dicha producción.

5. Solución Propuesta

A partir del detallado análisis de la situación descrita anteriormente, se procederá a presentar una alternativa para el problema itinerante. Diversas son las opciones que se pueden desarrollar para crear biodiesel de manera industrial y de forma sustentable con el medio ambiente y el mercado en que está inmerso, pero a continuación se estudiará tanto técnica como económicamente una opción para poder transformar esta problemática en una oportunidad.

Veamos el siguiente escenario expuesto en la publicación “Biodiesel from micro algae”, de Yusuf Chisti (2008), tan sólo como referencia para demostrar la escala y el potencial de la utilización de las micro algas como fuente de energía:

Si se buscara reemplazar la totalidad del biodiesel utilizado en transporte en los Estados Unidos, necesitaríamos 530 millones de m³ anualmente; sin embargo, resulta evidente que las cosechas de aceite, los residuos de grasa de la cocción o grasa animal no pueden satisfacer esta demanda.

Si quisiésemos reemplazar la mitad de las necesidades de EEUU en combustibles para transporte, se requeriría una superficie de cultivo de las fuentes existentes de biodiesel que no son posibles. Así, en la Figura 5.1, podemos observar el rendimiento aceitero en L/Ha, la superficie de terreno necesaria para satisfacer el 50% de las necesidades de biodiesel en el transporte y el porcentaje del terreno necesario en relación al área de cultivo existente hoy en día.

Cosecha	Rendimiento aceite (L/ha)	en Superficie terreno necesario (M ha) ^a	de % del terreno de cultiva existente en EEUU ^a
Grano	172	1540	846
Soja	446	594	326
Coco	2689	99	54
Aceite de palma	5950	45	24
Microalga ^b	136 900	2	1,1
Microalga ^c	58 700	4,5	2,5

^a para responder a la necesidad de 50% de las necesidades de combustible en EEUU.

^b 70% de aceite en biomasa.

^c 30% de aceite en biomasa.

Figura 5.1³⁹: Comparación de algunas fuentes de biodiesel

De ésta forma, las micro algas aparecen como la única fuente de biodiesel que tiene el potencial de reemplazar completamente el diesel fósil. A diferencia de las otras cosechas de aceite, las micro algas crecen rápidamente y muchas tienen un contenido alto de aceite. El contenido de aceite en micro algas puede exceder 80% del peso de la biomasa seca. Además, las micro algas 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.

5.1 Elección de la especie de micro alga

³⁹ Fuente: "Biodiesel from micro algae", Yusuf Chisti, Instituto de Tecnología e Ingeniería, Nueva Zelanda, 2008

Para este estudio es necesario elegir una especie de micro alga que luego servirá para la extracción de aceite. La realización y la eficiencia de las varias etapas en el proceso de producción de biodiesel son altamente dependientes de la composición química de la micro alga.

La micro alga *Chlorella Vulgaris* que contiene 30% de lípidos en base a su peso seco, ha sido una de las micro algas 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 micro alga que fue elegida para este proyecto.

5.2 Cultivo de Micro algas *Chlorella Vulgaris*

La selección del sistema de cultivo es un otro factor clave que afecta de manera significativa la eficiencia y el costo-eficiencia del proceso de producción de biodiesel.

Los únicos métodos practicables de producción de micro algas a gran escala son el cultivo en estanques y en fotobiorreactores.

Existen diversas formas de producir la materia prima principal de éste tipo biodiesel, entra las que encontramos:

5.2.1 Estanques de micro algas

- **Cultivo en estanques al aire libre:** representan la forma más simple de cultivo. Se trata básicamente de piscinas descubiertas expuestas al sol. Se suministran nutrientes al agua de estas piscinas de modo que las micro algas puedan reproducirse a un ritmo acelerado. Es el sistema menos eficiente aunque el más económico. Sin embargo, a nivel industrial no resulta rentable.
- **Cultivo de tanques en invernadero:** los tanques de agua en los cuales se reproducen las micro algas están protegidos por invernaderos. Las ventajas de este sistema son un mejor control de la temperatura y una pérdida muy reducida de agua. Estos factores

favorecen una mayor reproducción de las algas y por lo tanto un mayor rendimiento. Existen empresas productoras que optan por este sistema por considerarlo un buen equilibrio entre la eficiencia de producción y los costes que representan.

Los estanques están hechos de un canal de recirculación en curva cerrada que normalmente tiene una profundidad de 0,3 metros para asegurar medianamente la homogeneidad de la radiación solar. Los estanques se componen de piletas descubiertas expuestas al sol, agitadores que mezclan y permiten la circulación de las algas en el medio acuoso.

Durante el día, el cultivo está alimentado continuamente por los agitadores donde el flujo empieza. En este tipo de cultivo, el enfriamiento se produce únicamente por evaporación y la temperatura fluctúa dentro del ciclo diurno y estacional. Las pérdidas en agua suelen ser importantes por la evaporación. La productividad puede ser afectada por una contaminación de algas no deseadas. La concentración en biomasa se reduce porque los estanques no tienen una agitación adecuada y no son sostenibles en condiciones de baja luminosidad.

El cultivo en estanques parece ser menos costoso que en los fotobiorreactores, porque cuestan menos de construir y operar, aunque los estanques tienen baja productividad en biomasa comparado a los éstos últimos.



Figura 5.2: Planta Industrial Seambiotic USA

5.2.2 Fotobiorreactores

Los fotobiorreactores son conductos transparentes aislados del exterior en los cuales se desarrollan las micro algas. Estos tubos se colocan al exterior para captar mayor cantidad de radiación solar. En los fotobiorreactores las micro algas no sólo reciben la radiación natural, sino que aprovechan también la radiación artificial. Esta es su gran ventaja frente a los estanques. Sin embargo, ello supone instalaciones y costes económicos y energéticos adicionales que pueden llegar a ser muy importantes. Así, los fotobiorreactores pueden ir situados también dentro de invernaderos de plástico o de cristal, para así disponer de una temperatura ambiente más elevada que facilite el cultivo de las algas.

Entre los tipos de fotobiorreactores más utilizados encontramos:

- **Tubos plásticos o de vidrio de forma triangular:** Gases como CO_2 y O_2 se hacen fluir desde la parte baja de la hipotenusa y algas con medio de cultivo se hacen fluir en el sentido opuesto.
- **Fotobiorreactores tubulares en forma horizontal :** Son tubos de acrílico en el que se hace circular en forma horizontal medio de cultivo más algas para que éstas no precipiten y todas reciban la misma cantidad de luz y nutrientes
- **Columna vertical de burbujas:** Se genera circulación del medio con algas en una columna vertical a través del flujo de gases como dióxido de carbono. Se ilumina a través de tubos de luz a lo largo del tubo, cuyo objetivo es disminuir el costo del cultivo de algas a gran escala y hacerlo más simple.
- **Equipos de fermentación:** Algunas compañías obtuvieron aceite de algas sin crecimiento fotosintético, sino alimentando a las algas con azúcares que luego éstas fermentaban. Una de éstas compañías se llama Solazyme, una empresa de biotecnología que está desarrollando técnicas para producir combustible para autos y aviones a partir de algas⁴⁰.

⁴⁰ Fuente: disponible en <http://www.solazyme.com/fuels>

5.2.3 Comparación entre los estanques y los fotobiorreactores

Para seleccionar el método de producción de biomasa de micro alga apropiado, es necesario realizar una comparación entre las capacidades y características de ambos métodos como se observa en la Figura 5.3. Dicho análisis está realizado sobre una base de producción de 100.000kg de biomasa anual y con un idéntico consumo de anhídrido carbónico resultando en un rendimiento en aceite mayor de los fotobiorreactores por hectárea con respecto a los estanques (productividad volumétrica 13,11 veces mayor)-

Variable	Fotobiorreactores	Estanques
Producción de biomasa anual (kg)	100 000	100 000
Productividad volumétrica ($\text{kg m}^{-3}\text{d}^{-1}$)	1,535	0,117
Productividad en superficie ($\text{kg m}^{-2}\text{d}^{-1}$)	0,048	0,035
Concentración de la biomasa en caldo (kg m^{-3})	4,00	0,14
Índice de dilución (d^{-1})	0,384	0,250
Superficie necesaria (m^2)	5681	7828
Rendimiento en aceite (m^3ha^{-1})	136,9 ^a /58,7 ^b	99,4 ^a /42,6 ^b
Sistema geométrico	132 tubos paralelos/unidad; 80m de longitud, 0,06 de diámetro.	976 m^2 /estanque; 12m de largo, 82 de longitud, 0,30 de profundidad.
Número de unidades	6	8

^a basado en un 70% de aceite en peso en la biomasa.

^b basado en un 30% de aceite en peso en la biomasa.

Figura 5.3⁴¹: Comparación entre estanques y fotobiorreactores

⁴¹ "Biodiesel from micro algae", Yusuf Chisti, Instituto de Tecnología e Ingeniería, Nueva Zelanda, 2008

Así, siendo el fotobiorreactor el método de cultivo que reúne más ventajas, es el considerado para éste proyecto de producción de micro alga de manera continua.

5.2.4 Materias Primas para el cultivo de *Chlorella Vulgaris*

Para realizar el cultivo de micro algas *Chlorella Vulgaris* es necesario tener en cuenta diversas variables como lo son la constante exposición a la luz, la temperatura de cultivo que debe ser entre 20°C y 30°C y grandes cantidades de agua con nutrientes para el crecimiento y producción de aceite.

Las fuentes de agua para la producción industrial de algas pueden ser variadas: desde aguas residuales urbanas o del sector agropecuario hasta agua salada proveniente de los mares o agua dulce proveniente de los ríos y lagos. Para éste proyecto utilizaremos agua salina de mar por su fácil acceso y disponibilidad teniendo en consideración que se precisan casi 4 litros de agua por cada kilogramo de alga seca.

Numerosos estudios dispusieron que, a pesar de que los lípidos se producen naturalmente por las algas, bajo ciertas condiciones, su producción puede ser estimulada y se pueden obtener concentraciones de aceite mayores. Normalmente, esto ocurre cuando las células son expuestas a condiciones de stress, en condiciones anoxias, con bajas densidades de nutrientes como el fosforo o el nitrógeno, o con temperaturas o niveles de incidencia de luz extremos. De hecho, como mecanismo de supervivencia, las células aumentan considerablemente el almacenaje de lípidos ya que no se detiene la fijación de dióxido de carbono. De ésta forma, disminuir el suministro de nitrógeno para que las algas detengan su división y comiencen a almacenar su energía en forma de lípidos es el método artificial más utilizado, aunque éste entorno no pueda mantenerse por un largo tiempo ya que detiene el crecimiento y genera un autoconsumo de las reservas de lípidos producidos.

5.3 Recuperación de la biomasa

Considerada una tarea problemática por el pequeño tamaño de las células de las algas (entre 3-30 μm de diámetro) y su relativamente escasa concentración ($<0,5 \text{ kg/m}^3$ de biomasa seca), la cosecha o recolección de la biomasa se puede realizar a través de la centrifugación, filtración o sedimentación gravitacional. Estos procesos pueden ser precedidos por una etapa de floculación con el agregado de compuestos químicos coagulantes o modificando el pH del caldo de algas.

La centrifugación es un método por el cual se pueden separar sólidos de líquidos de diferente densidad mediante una centrifugadora, la cual al imprimirle a la mezcla un movimiento rotatorio con una fuerza mayor que la de la gravedad, provoca la sedimentación de los sólidos o de las partículas de mayor densidad. Éste es uno de los procesos más ampliamente utilizados porque separa la biomasa de forma eficiente y sin necesidad de añadir compuestos químicos, lo que lo hace realmente interesante desde el punto de vista económico para una producción a gran escala como la que se busca con éste proyecto.

5.4 Deshidratación de las micro algas

Una vez recolectada la biomasa a través del centrifugado y previo a la extracción mecánica del aceite, es necesario realizar el secado de las algas. La deshidratación de las mismas se puede realizar con un secador solar utilizando la energía del sol, con un secador spray o mediante tambores rotativos. Cada uno de estos métodos conllevan distintos costes e inversiones aunque el producto final es el mismo: un producto seco y duro capaz de ser almacenado por tiempo indefinido.

Mediante un análisis de cada uno de los métodos propuesto buscaremos identificar aquel que mejor se adapta a las necesidades del proyecto, tratando de optimizar los requerimientos de producción con los rendimientos y costos asociados a cada uno de los procesos de deshidratación.

5.4.1 Secador Solar

Se entiende como secado solar al uso de radiación solar como fuente de energía para el proceso de deshidratación, en éste caso, de algas. Existen dos tipos de secadores solares: el secador solar indirecto y el directo. En el primero la radiación solar es captada por un colector donde circula una cierta cantidad de aire, calentándolo. El aire caliente ingresa a la cámara de secado pasando a través del producto eliminando el contenido de la humedad.

La otra forma de secado es el secador solar directo, donde la radiación solar incide directamente sobre las algas eliminando la humedad de las mismas. Éste método depende fuertemente de la climatología y la irradiación solar disponible.

La deshidratación de las micro algas a partir de radiación solar indirecta es el método más utilizado hoy en día por su velocidad de secado a pesar de su mayor costo con respecto al método directo. Para un secador industrial de 40m², de la empresa Vimar Systems con base en España, la inversión inicial se estima en € 19.000 con un consumo medio de 11kWh y una capacidad de secado de 1500 kg de biomasa en 8 horas.

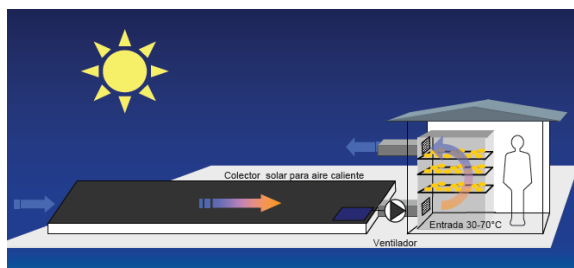


Figura 5.4: Secador solar de flujo de aire caliente

5.4.2 Secador Spray

El secado por spray (o atomización) es un método aplicado para secar o formar partículas con soluciones acuosas u orgánicas, emulsiones, en química industrial y en la industria alimentaria. El secado por spray se puede utilizar para conservar los alimentos o simplemente como un método de secado rápido.

Éste método comienza con la atomización del líquido de alimentación en un rocío de gotas en spray. Luego, dichas gotas son puestas en contacto con una corriente de aire caliente en la cámara de secado. El spray es producido por una

tobera de atomización. La evaporación de la humedad de las gotas y la formación de partículas secas ocurre en condiciones controladas de temperatura y flujo de aire. El polvo se descarga continuamente en la cámara de secado y también se recuperan los gases de escape por medio de un ciclón. El proceso completo generalmente no dura más que unos pocos segundos.



Figura 5.5: Secador Spray GEA Process Engineering

El secador spray tiene la ventaja de tener un alto rendimiento de secado, alrededor de 95%, y el proceso de deshidratación de las micro algas es ultrarrápido. Sin embargo, el coste del equipo es elevado y su consumo importante: € 45.000 y 80kWh respectivamente para un equipo con una capacidad de producción final de 265kg/hora.

5.4.3 Secador de tambores rotativos

El tambor secador se compone de uno o dos cilindros horizontales de cromo, un bastidor soporte, un sistema de alimentación del producto, una espátula y auxiliares. El diámetro de tambores típicos fluctúa entre 0,5 a 6 metros y entre 1 y 6 metros de longitud, tal como se puede observar en la Figura 5.6.

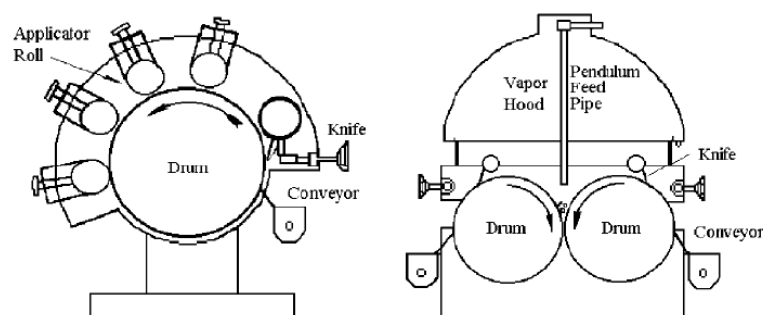


Figura 5.6: Tambor rotativo singular y de doble cilindro.

El principio de éste método de secado es la aplicación de soluciones acuosas en un rotador, preferiblemente chapado con cromo, en un tambor climatizado. La materia a ser secada se calienta durante algunos segundos y de esta forma se produce la consiguiente deshidratación que origina la apertura de la pared celular, dependiendo de la viscosidad del producto y de su concentración.

Según averiguaciones con distintos proveedores, el costo de este tipo de secador es de € 35.000 para una unidad con una capacidad de 420 kg/hora denotando un consumo energético de 45kWh.

Sin embargo, y a pesar de asegurar un producto bacteriológicamente seguro, el nivel de deshumectación alcanzado por este método no es suficiente en relación a los requerimientos de la siguiente etapa del proceso (extracción del aceite con prensa que requiere un mínimo de 90% de secado). De ésta forma tendremos que descartar esta alternativa para el secado de las micro algas.

5.5 Extracción del aceite de las micro algas disecadas

Una vez que las micro algas fueron disecadas, se procede con la extracción del aceite de las mismas. Existen en la actualidad al menos 6 métodos para la extracción, aunque algunos son extremadamente costosos o se encuentran en proceso de desarrollo:

1) Método de prensa: utiliza simplemente la prensa mecánica para extraer el aceite. Muchas veces es complementado con la aplicación de solventes que permiten eficiencias de hasta el 75 %.

2) Método de extracción de fluidos supercrítica: en éste proceso, el dióxido de carbono (CO₂) es licuado y calentado bajo presión con el objetivo de que actúe como solvente para la extracción de aceites. A pesar que las eficiencias alcanzadas están cercanas al 100 %, es necesaria la fuerte inversión en maquinaria especial.

3) Método de solvente con hexano: es un método relativamente barato, en donde el hexano actúa como solvente. Sin embargo, el hexano es muy inflamable y utilizarlo en grandes concentraciones es muy peligroso. Su eficiencia puede alcanzar el 95 %.

4) Método del shock osmótico: la osmosis es un proceso biológico por el cual el líquido contenido dentro de la célula genera una presión sobre las membranas y paredes celulares. Cuando esta presión se ve interrumpida, las membranas y paredes de la célula pueden romperse y el aceite verse liberado.

5) Método enzimático de extracción: las enzimas pueden ser utilizadas para degradar las paredes celulares. Aunque por el momento este método requiere de más investigación y no está disponible en el mercado.

6) Método de extracción asistida por ultra-sonido: un aparato de ondas de ultrasonido es utilizado con el objetivo de crear burbujas de cavitación en el solvente. La explosión de esas burbujas en la cercanía de las paredes celulares puede provocar su ruptura y la liberación del aceite contenido, convirtiéndolo en uno de los métodos más prometedores para realizar una disrupción para recuperar productos intracelulares de las micro algas

Resaltados figuran aquellos métodos a ser detallados con mayor profundidad al ser considerados los más aptos para el proyecto enfocado en éste estudio.

5.5.1 Extracción mecánica

El principio básico de la extracción mecánica radica en la presión y la fricción. Mediante la fricción se genera calor que permite que el aceite producido se deslice por la superficie, mientras que la presión es función del rendimiento obtenido.

A partir de contactos con Alvan Blanch (Inglaterra con subsidiaria en México) se pudo caracterizar las propiedades del modelo XP 100 (Ver Figura 5.7).



Figura 5.7⁴²: Prensa mecánica modelo XP 100 de Alvan Blanch.

Este modelo ejerce presiones del orden de 2800-3000 Kg/m² con rendimiento estimado de procesamiento de 240 kg/hora. Los costos del equipo son de U\$D 11.500 y el consumo se estima en 10 kWh.

La máquina dispone de un motor, imanes en las entradas, posibilidad de precalentar la semilla a una temperatura determinada para mantener una producción definida y estable. Cuenta además con sensores que interrumpen la operación al detectar algún impedimento y posibilidad de ajustar la presión interna de la cámara, incluso cuando está en funcionamiento.

Cabe destacar que resulta el método de extracción de aceite más simple, con rendimientos del 70-75% del aceite de algas.

5.5.2 Extracción mecánica de las micro algas con solventes orgánicos.

Para optimizar el proceso de extracción de aceite de algas se pueden utilizar productos químicos. Los dos métodos comúnmente utilizados son la extracción con solventes orgánicos y la extracción Soxhlet que es más utilizada a nivel laboratorio.

Tras haber intentado con benceno y éter, se concluyó que la sustancia química más apta para este proceso resulta ser el ciclo-hexano, que es hoy en día la más utilizada por tener un costo relativamente bajo.

La extracción con solventes es básicamente un proceso de difusión de un solvente en las células que contienen aceite como materia prima, dando como resultado una solución de aceite en solvente.

Una vez que el aceite se ha extraído por el método de expeler/exprimir, se mezcla la pulpa restante con ciclo-hexano para extraer el aceite residual. El aceite se disuelve en el ciclo-hexano, y la pulpa se elimina de la solución. Finalmente, se separan el aceite y el ciclo-hexano por destilación. El disolvente recuperado se recicla para volver a ser utilizado y la biomasa residual se puede dedicar a fines

⁴² Fuente: www.alvanblanch.co.uk

energéticos, alimentación animal o como materia prima para extracción de otros compuestos de valor añadido.

A través de estas dos etapas, con la extracción por prensado y el añadido de solventes orgánicos, el rendimiento aumenta y se es capaz de obtener hasta el 95% del aceite total presente en las algas. Sin embargo, la mayor desventaja surge a partir del peligro inherente de trabajar y manipular sustancias químicas y su consiguiente riesgo de explosión.

Para llevar a cabo este proceso es necesario 1,5 kg de ciclo-hexano por cada 1kg de biomasa después de la extracción por prensado. Sin embargo, se consume únicamente 0,05kg del solvente por cada kilogramo de biomasa, recuperándose/reciclándose el resto. El costo del ciclo hexano es de 15 \$/litro según averiguación en Ballester Productos Químicos S.A⁴³.

5.6 Proceso de Producción de Biodiesel a partir de micro algas

El proceso de producción de biodiesel a partir de micro algas en forma industrial tiene diferentes etapas, tal como se muestra en la Figura 5.8. A lo largo de ésta sección recorreremos brevemente cada uno de las citadas etapas para cubrir el proceso completo, desde el cultivo en los estanques y fotobiorreactores hasta el almacenado para su disposición final.

⁴³ Fuente: Consulta telefónica. Datos disponibles en http://www.quimicosballester.com.ar/productos_lista.htm

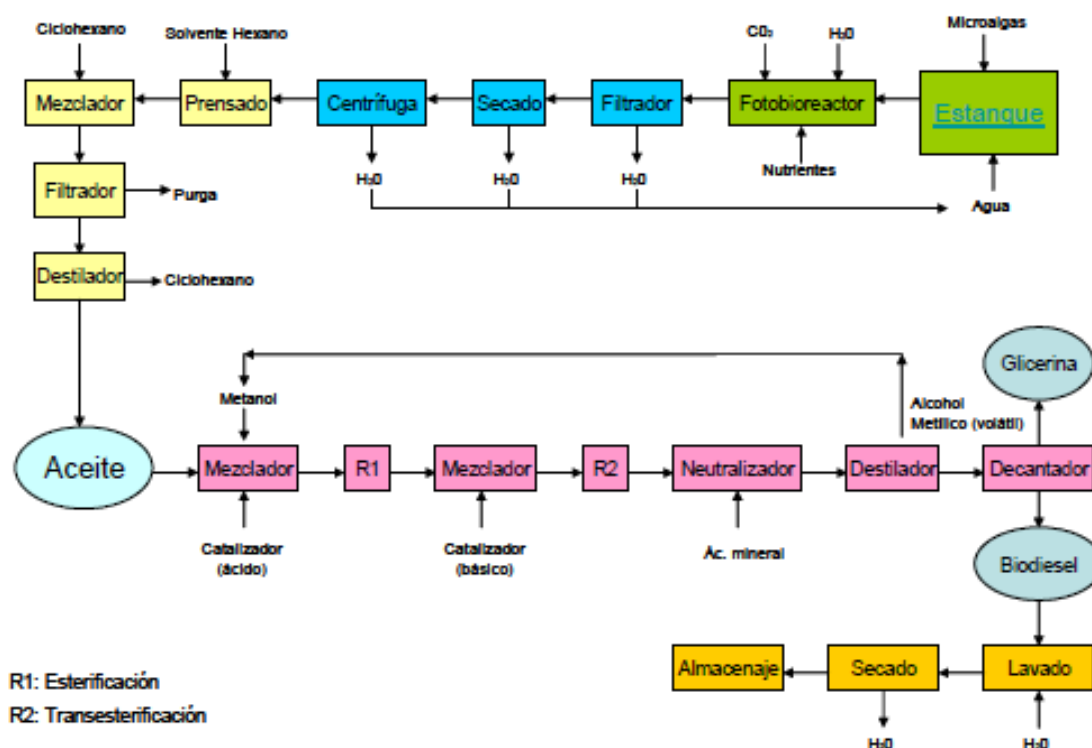


Figura 5.8⁴⁴: Diagrama de flujo de producción de biodiesel a partir de micro algas

5.6.1 Fase I: Producción de Aceite

- **Filtrador:** Es necesario separar el cultivo en una fase líquida y en una fase sólida que contiene los microorganismos (biomasa) a través del proceso de centrifugado.
- **Secado:** se deberá obtener una reducción del 95% de la humedad de las micro algas por lo que se utiliza un secador solar.
- **Centrifugación:** Esto implica hacer girar el material de crecimiento muy rápidamente, exagerando los efectos de gravedad. La finalidad de este proceso se basa en dos principios: la primera es separar rápidamente las células de algas del material de crecimiento (el material de crecimiento puede ser drenado, dejando algas con mucha densidad, es decir una concentración aproximadamente del 20%). El segundo principio combina centrifugación con micro

⁴⁴ Fuente: Producción de Biodiesel a partir de micro algas, Barraza-Collao-Espinoza-Moya-Thun-Torres, Valparaíso (Chile), 2009

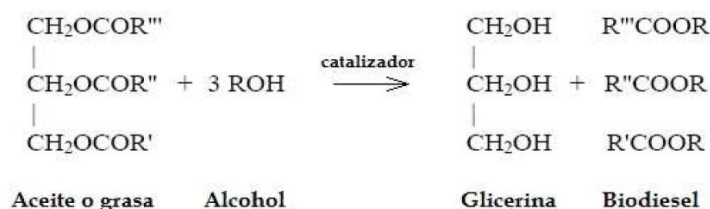
filtración, haciendo girar el material de crecimiento y algas contra micro filtros o micro pantallas que permiten que el material de crecimiento pase a través reteniendo las algas. Para éste estudio se proyectará únicamente el uso de centrifugadoras (sin micro filtración que aumenta considerablemente los gastos).

5.6.2 Fase II: Purificación del Aceite

- **Prensado:** una vez que las algas están secas, éstas retienen el aceite, que puede ser exprimido con una prensa de aceite. Se utilizará una combinación mecánica y solventes químicos (ciclo hexano principalmente) para la extracción del aceite, haciéndolo más eficiente.
- **Mezclado y Filtrado:** La extracción por medio del hexano puede usarse solo o combinado con el método de exprimir. Después de que el aceite haya sido extraído por el método de exprimir, la pulpa restante puede ser mezclada con ciclo-hexano para extraer el aceite restante. El aceite se disuelve en el ciclo hexano, y la pulpa es eliminada de la solución.
- **Destilación:** El aceite y el ciclo hexano son separados por medio de la destilación. Estas dos etapas (extracción en frío y solvente hexano) juntos serán capaces de sacar más del 95 % del aceite total presente en las algas.
- **Reciclado de Agua:** el agua obtenida de cada uno de los procesos anteriores se reciclan para su reutilización en los estanques sin peligro de toxicidad. Será necesario el agregado de nutrientes y CO₂ para que el crecimiento y desarrollo de la biomasa sea mayor.
- **Pureza del aceite:** luego del proceso de destilación se procede con el ensayo de la pureza del aceite que depende entre otros factores, del tipo de alga cultivado, la cantidad de nutrientes en el medio y la radiación de la energía solar.

5.6.3 Fase III: Producción de Biodiesel.

- **Primer Mezclado:** En el primer mezclador se utiliza los aceites de las micro algas, el cual está constituido por ácidos grasos de cadena larga, el alcohol metílico (CH₃OH) y un catalizador ácido. Entre esos catalizadores encontramos: ácidos homogéneos (H₂SO₄, HCl, H₃PO₄, RSO₃), ácidos heterogéneos (Zeolitas, Resinas Sulfúricas, SO₄/ZrO₂, WO₃/ZrO₂).
- **Reactor N°1:** en el reactor 1 se produce la esterificación del metanol con los aceites grasos en presencia de un catalizador ácido.



La esterificación corresponde a la síntesis de ésteres. Ésta se lleva a cabo por la reacción de un ácido carboxílico y un alcohol. Cabe destacar que todos los ácidos grasos son ácidos carboxílicos que junto a la glicerina forman los triglicéridos.

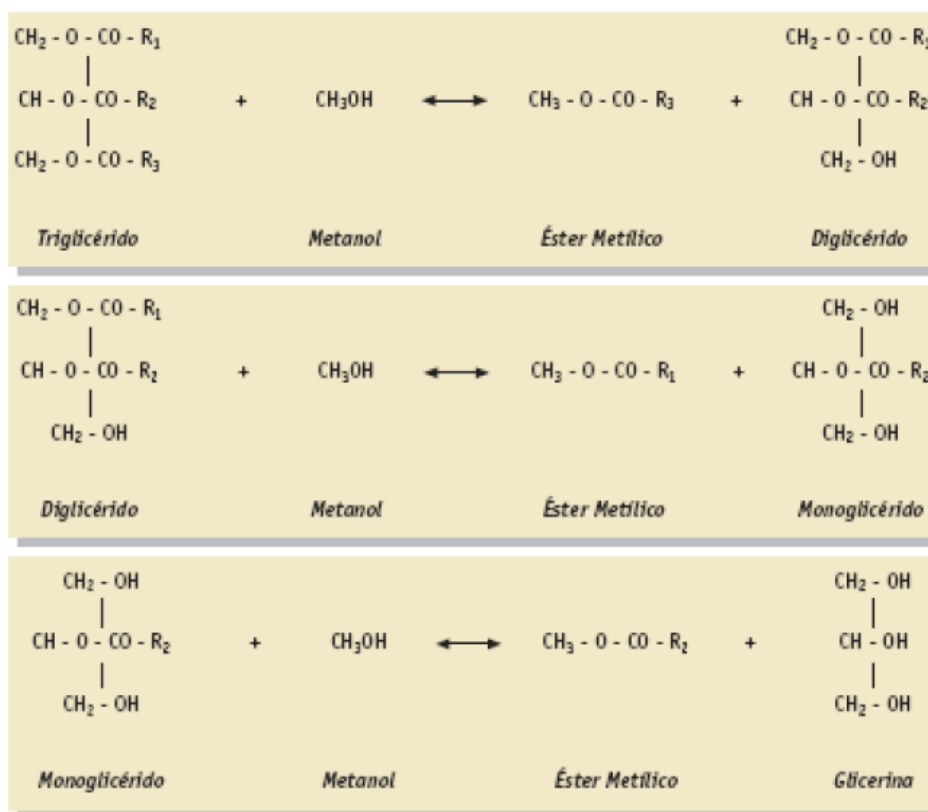
La síntesis de biodiesel puede llevarse a cabo solo con la transesterificación, pero la esterificación suele ocuparse para ahorrar tiempo y aumentar el rendimiento final, ya que hace reaccionar los ácidos grasos libres (que no están formando triglicéridos) y los transforma en éster metílico.

En la esterificación utiliza catalizadores ácidos, por lo que no es necesario recurrir a trabajar con temperaturas elevadas y tiempos de reacción largos.

- **Segundo Mezclador:** Se agrega un catalizador de tipo básico, en los cuales encontramos: básicos heterogéneos (MgO, CaO, Na/NaOH/Al₂O₃), básicos homogéneos (KOH, NaOH). Además se pueden usar catalizadores enzimáticos: lipasas intracelulares y extracelulares. Ambas resultan efectivas en reacciones de transesterificación desarrolladas en medio acuoso. La cantidad de catalizador depende del tipo que se emplee aunque para los

catalizadores básicos se registran valores desde 0,3 a 2 % en peso con respecto al aceite.

- **Reactor N°2:** En éste reactor se realiza la transesterificación de los ácidos grasos, que consiste en tres reacciones reversibles y consecutivas. El triglicérido es convertido consecutivamente en diglicérido, monoglicérido y glicerina. En cada reacción un mol de éster metílico es liberado. Esta reacción se desarrolla en una proporción molar de alcohol a triglicérido de 3:1.



La transesterificación es la parte más importante del proceso de producción de biodiesel, por lo que se debe tener especial cuidado en todas las posibles variables de la reacción que afecten su contenido final. De ésta forma, es preciso medir y controlar la concentración y tipo de catalizador, acidez, humedad, relación molar de alcohol / aceite (relación estequiométrica 3:1), el tiempo de reacción y la temperatura.

Las condiciones ideales de la operación son: temperatura 60°C, presión 0 psi, agitación 200 rpm, con un tiempo de reacción de 90 min.

- **Neutralizador:** Es aquí donde la mezcla de la transesterificación se mezcla con un ácido para que los catalizadores básicos no reaccionen con los ácidos grasos libres que queden, evitando que se produzcan jabones indeseados en el producto final.
- **Destilador:** En el destilador se busca separar el alcohol metílico de la mezcla. El destilador consta de un recipiente donde se almacena la mezcla a la que se le aplica calor, un condensador donde se enfrían los vapores generados, llevándolos de nuevo al estado líquido y un recipiente donde se almacena el líquido concentrado. En la unidad de destilación se despoja al producto de los volátiles, compuestos fundamentalmente por el alcohol metílico en exceso. Los vapores de metanol se condensan y se envían al primer mezclador, del cual será nuevamente introducido en el ciclo.
- **Decantador:** consiste en la separación de mezcla por medio de las densidades. El producto de fondo del destilador, que contiene el metiléster, la glicerina, y sales se envía al decantador, en el cual se separa el metiléster del resto de los productos. Obteniendo por un lado mezcla de glicerina al 90% y el resto sales e impurezas (jabones, catalizadores ácidos) y por otro el biodiesel.

Las condiciones de operación son las siguientes: temperatura 25°C, presión 0 psi, y una duración aproximada de 12 min.

5.6.4 Fase IV: Purificación del Biodiesel

El biodiesel está constituido principalmente, por mezcla de ésteres metílicos, pero también puede contener resto de jabones, glicerina, glicéridos (mono-, di- y tri-), ácidos grasos libres, catalizadores, sustancias insaponificables y agua.

La presencia de estos componentes minoritarios en mayor o menor medida son los que determinan la calidad del biodiesel.

- **Lavado:** Una vez el biodiesel es separado de la glicerina debe ser lavado porque puede tener contenidos de sales, metanol, jabones y

grasas sin reaccionar. Para el lavado se utiliza una cantidad de agua correspondiente a la tercera parte del volumen de biodiesel obtenido. Se efectúan un total de cuatro lavados. Las condiciones de operación son: temperatura 25°C, presión 0 psi.

- **Secado:** El biodiesel es secado para eliminar el contenido de agua que queda del lavado, dejándolo secar hasta que no se observe burbujeo.

Condiciones de operación: temperatura 110°C, presión 0 psi.

Luego del secado del biodiesel, este se encuentra en condiciones para su almacenamiento y distribución.

Los aspectos más importantes a tener en cuenta en la producción del biodiesel, para asegurar un correcto desempeño en el motor Diesel son:

- Reacción de transesterificación completa.
- Eliminación de la glicerina.
- Eliminación del catalizador.
- Eliminación del alcohol.
- Ausencia de ácidos grasos libres en el producto final.

5.7 Localización

Para definir la localización de la planta industrial productora de biodiesel es preciso establecer las condiciones de mayor importancia, es decir los factores determinantes además de los deseados.

En primer lugar, es importante contar con acceso a agua de mar para el cultivo de las micro algas. A partir de la producción determinada se define la cantidad de fotobiorreactores necesarios y así la cantidad requerida de agua de mar⁴⁵. Sin embargo, no es necesario localizar la planta sobre la propia costa de mar; por los volúmenes que se requieren, es suficiente situarla en las adyacencias de la misma, en una ciudad costera.

⁴⁵ Se precisan 12 unidades de 132 tubos de 80mts de largo con un diámetro de 0,06mts para producir 200.000 litros de biodiesel anuales.

En segundo lugar es preciso tener continuo acceso a anhídrido carbónico de tal forma que las micro algas puedan realizar la fotosíntesis. Localizar las instalaciones de la planta industrial en la cercanía de plantas térmicas u otras industrias contaminantes puede resultar de gran utilidad para el desarrollo de éstos organismos.

Por su parte, es determinante el factor cercanía a los centros de consumo del producto, ya sea una refinería o el consumo particular de biocombustible.

Finalmente, es deseable para éste tipo de industria disponer de acceso a energía eléctrica, empleados capacitados además de buenos accesos a las vías de comunicación con los principales mercados.

A partir de expuesto anteriormente, localizar la planta industrial en la ciudad de Mar de Ajó en el Partido de la Costa, en la costa atlántica bonaerense resulta una opción a considerar. Con una población estimada en 25.475 habitantes para el 2008, se encuentra ubicada a 360km de la ciudad de Buenos Aires y a escasos 320km de la refinería La Plata de YPF, el cual sería el principal cliente. Entre sus plantas industriales se encuentra la Central Termoeléctrica Turbogas Mar de Ajó una potencia instalada que alcanza los 31,58 MW a partir de sus dos equipos que funcionan con Gas Oil.

De ésta forma, se vería solucionada la necesidad de agua salada, la disponibilidad de dióxido de carbono, buenos accesos a rutas de comunicación con los principales mercados además de cercanía con los centros de consumo.

Mediante una alianza estratégica a celebrar con la empresa CCA S.A (Centrales de la Costa Atlántica S.A.), dispondríamos de un predio de 5 hectáreas lindero a la Central Termoeléctrica Turbogas Mar de Ajó y continuo acceso a un residuo gaseoso de su producción, como lo es el dióxido de carbono. En contrapartida, la empresa productora y comercializadora de biodiesel se compromete a entregar una porción de su producción con la que la central térmica desarrolla su operación.



Figura 5.9⁴⁶: Central Termoeléctrica Turbogás Mar de Ajó y potencial localización de planta de biodiesel.

⁴⁶ Fuente: Google Earth

6. Estudio Económico-Financiero

En el desarrollo de la presente sección se considerarán los números del proyecto para analizar su viabilidad económica y financiera a lo largo del tiempo. Se tendrán en cuenta tanto los aspectos de la maquinaria necesaria como la instalación requerida para su funcionamiento.

Sin embargo, para dar un marco acorde a la situación se deberán aclarar ciertos aspectos. En primer lugar, no hay inversión en terreno ya que el mismo forma parte del predio de la Central Termoeléctrica de Mar de Ajó con la que existe una alianza estratégica de colaboración mutua.

Se tomará un horizonte temporal de 10 años para el análisis y la tasa de cambio para monedas extranjeras (dólares estadounidenses y euros) será la que figura en el BCRA⁴⁷.

6.1 Inversiones

Las inversiones se componen de activos fijos, como la maquinaria, los muebles y útiles, etc. En las siguientes tablas se detalla el valor de cada uno de éstos rubros. La tasa de cambio para el dólar es de 4,20 AR\$/USD y de 5,7 AR\$/€.

⁴⁷ Banco Central de la Republica Argentina, disponible en <http://www.bcra.gov.ar/index.asp>

Activos Fijos	
Descripcion	Precio (AR\$)
Galpón (depósito nutrientes y torta proteica, maquinaria)	\$ 160.000,00
Zona Administrativa y oficina tecnica	\$ 41.000,00
Baños y Vestuarios	\$ 28.000,00
Tanque de almacenamiento de aceite	\$ 35.000,00
Tanque de almacenamiento de biodiesel	\$ 135.000,00
Fotobiorreactores	\$ 1.723.680,00
Piletones de cultivo de micro algas	\$ 26.000,00
Piletones de decantacion	\$ 53.000,00
Instalaciones de gas	\$ 18.000,00
Instalaciones de agua	\$ 13.000,00
Instalaciones electricas	\$ 90.000,00
Instalaciones de comunicaciones (TEL, Internet)	\$ 6.000,00
Iluminacion	\$ 20.000,00
Seguridad	\$ 11.000,00
Sistema contra incendios	\$ 40.000,00
Parquizacion	\$ 17.000,00
Caminos Internos	\$ 22.000,00
Playa de carga de camiones (100m ²)	\$ 77.000,00
Balanza de control para camiones	\$ 130.000,00
Laboratorio	\$ 75.000,00
	\$ 2.720.680,00

Tabla 6.1: Cuantificación de Activos Fijos

Muebles y útiles			
Descripción	Cantidad	Precio Unitario	Total (AR\$)
Mesa de Reuniones	1	\$ 3.000,00	\$ 3.000,00
Sillas Sala Reuniones	8	\$ 350,00	\$ 2.800,00
Sillas Oficina	4	\$ 250,00	\$ 1.000,00
Escritorios Oficina	2	\$ 1.000,00	\$ 2.000,00
Lámparas	4	\$ 250,00	\$ 1.000,00
Botiquín Primeros Auxilios	1	\$ 800,00	\$ 800,00
Aire Acondicionado Sala Reuniones	1	\$ 1.350,00	\$ 1.350,00
Aire Acondicionado Oficina	1	\$ 1.350,00	\$ 1.350,00
Telefonía	3	\$ 100,00	\$ 300,00
Computadora	2	1000 U\$D	\$ 8.400,00
Impresora+Fax	1	\$ 600,00	\$ 600,00
Otros	1	\$ 1.000,00	\$ 1.000,00
			\$ 23.600,00

Tabla 6.2: Cuantificación de Muebles y Útiles

Maquinaria					
Descripción	Cantidad	Precio Unitario	Moneda	Cotización ()/AR\$	Total (AR\$)
Secador Solar	1	19000	€	5,7	\$ 108.300,00
Prensa mecánica modelo XP 100 de Alvan Blanch	1	11500	U\$D	4,2	\$ 48.300,00
Reactor + Mezclador	2	9100	U\$D	4,2	\$ 76.440,00
					\$ 233.040,00

Tabla 6.3: Cuantificación de Maquinaria

De ésta forma, podemos consolidar todas las inversiones anteriores en una sola Tabla a modo de resumen, indicando a su vez, los tiempos característicos de amortización para cada concepto. El Impuesto sobre el Valor Agregado (IVA) también está presente.

Se propone que las fases de las inversiones sean dos: una con el inicio de las actividades en el año 0 y la otra al comienzo del año 6. Es en ese momento

cuando se renuevan los bienes de uso y se instalan nuevas maquinarias que reemplazan a las anteriores, ya amortizadas.

Es importante destacar que las inversiones se realizan en su totalidad con capital propio, descartando préstamos de cualquier tipo; las inversiones la realizan grupos privados interesados en el proyecto.

Rubro					
Bienes de uso					
			Vida Útil	Valor Residual	Amortización Anual
Obras Civiles					
	Obras Civiles	\$ 2.720.680,00	30	\$ -	\$ 90.689,33
Maquinaria y/o Equipos					
	Maquinaria (Años 0-5)	\$ 233.040,00	5	\$ -	\$ 46.608,00
	Maquinaria (Años 6-10)	\$ 233.040,00	5	\$ -	\$ 46.608,00
Muebles y Útiles					
	Muebles y Útiles (Años 0-5)	\$ 23.600,00	5	\$ -	\$ 4.720,00
	Muebles y Útiles(Años 6-10)	\$ 23.600,00	5	\$ -	\$ 4.720,00
Imprevistos					
	Imprevistos (20%)	\$ 646.792,00	5	\$ -	\$ 129.358,40
Cargos Diferidos					
	Constitución y organización de la empresa	\$ 20.000,00	5	\$ -	\$ 4.000,00
	Gastos de Administración e Ingeniería durante la instalación	\$ 28.000,00	5	\$ -	\$ 5.600,00
	Imprevistos (10%)	\$ 4.800,00	5	\$ -	\$ 960,00
TOTAL					
		\$ 3.933.552,00			\$ 333.263,73

Tabla 6.4: Inversiones

6.2 Gastos

Una vez definidas las inversiones, las amortizaciones de las mismas y en qué momento del proyecto se realizan cada una, es preciso definir los costos tanto de la producción como de la administración. Los gastos se delimitan en dos tipos:

los gastos de fabricación que tienen en cuenta los gastos de la operación y mantenimiento de la planta, y los gastos de administración. Es importante aclarar que las cepas de micro algas de la especie seleccionada para éste proyecto las provee el laboratorio de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad Nacional de Mar del Plata (UNMdP) como desarrollo de sus investigaciones en la carrera de Licenciatura en Ciencias Biológicas en un ámbito de mutua colaboración.

Gastos Generales de Fab	Monto
Amortizaciones	\$ 281.935,73
MOD	\$ 300.199,20
Energía	\$ 23.500,80
Insumos	\$ 32.374,00
TOTAL GGF	\$ 638.009,73

Gastos Generales de Adm	Monto
MOI	\$ 328.707,50
Limpieza y uniformes	\$ 18.000,00
Materiales de oficina	\$ 1.200,00
TOTAL GGA	\$ 347.907,50

Tabla 6.5: Gastos Generales

6.2.1 Mano de Obra

Cuando nos referimos a la mano de obra a utilizar en el proyecto es necesario aclarar ciertas cuestiones. Según las tareas y responsabilidades propias del puesto, se definen cuatro tipos/categorías de empleados caracterizados por jerarquías y sueldos. La dotación se compone por un gerente general de planta, un gerente de operaciones, dos empleados administrativos y tres operarios por cada uno de los dos turnos de 8 horas.

En las siguientes tablas se muestran las cargas sociales, los aportes y demás contribuciones como porcentaje del sueldo bruto y la remuneración según la categoría dentro de la empresa.

Cargas Sociales		Puesto	Salario
Jubilación	11%	Gerente General de Planta	\$ 9.000,00
Ley 19032	3%	Gerencia	\$ 7.000,00
Aportes Patronales		Administración	\$ 4.500,00
Ley 19032	18%	Operario	\$ 4.000,00
Obra Social	5%		
ART	2,50%		
Otros			
Sindicatos	8,33%		
Previsión por despido	2%		
Previsión por vacaciones	1%		
Total CS + Aportes y Contribuciones			
50,83%			

Tabla 6.6: Sueldos y cargas sociales

MOD		MOI	
OPERACIÓN: Turno Mañana 3		Gerente General 1	
Salario	4000,0	Salario por persona	\$ 9.000
Costo salarial	\$ 144.000	Costo salarial	\$ 108.000
Cargas Sociales + Contribuciones	\$ 6.100	Cargas Sociales + Contr	\$ 4.575
Costo total	\$ 150.100	Costo total	\$ 121.575
OPERACIÓN: Turnos Tarde 3		Gerencias 1	
Salario	4000,0	Costo salarial	\$ 7.000
Costo salarial	\$ 144.000	Salario total	\$ 84.000
Cargas Sociales + Contribuciones	\$ 6.100	Cargas Sociales + Contr	\$ 3.558
Costo total	\$ 150.100	Costo total	\$ 94.558
Costo Total MOD \$ 300.199		Empleados admin. 2	
		Costo salarial	\$ 4.500
		Salario total	\$ 108.000
		Cargas Sociales + Contr	\$ 4.575
		Costo total	\$ 112.575
		Costo total Adm y Gerencia \$ 328.708	
		TOTAL COSTO DE PERSONAL \$ 628.907	

Tabla 6.7: Costo de Mano de Obra

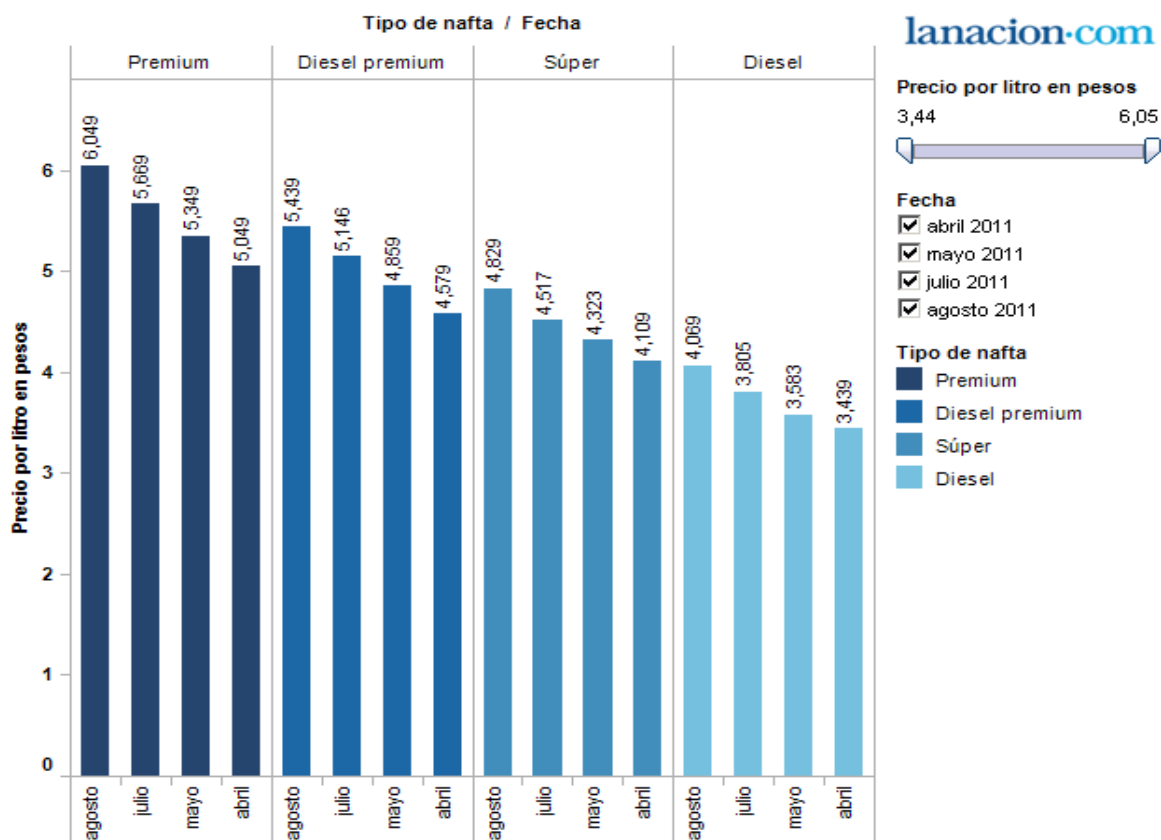
6.3 Ingresos por Ventas

El proyecto en cuestión tiene como eje principal la producción y comercialización de biodiesel según estándares de producción establecidos. Por su parte, es posible lograr la comercialización de la glicerina como subproducto a la industria farmacéutica a partir de pequeños ajustes y purificaciones del la misma.

Según datos obtenidos de la Secretaría de Energía de la Nación, el precio del biodiesel se ubicaría por encima de los 5084 \$/Tonelada (Abril`11) que fue la última publicación del ente encargado de la actualización. A partir de los últimos ajustes en los combustibles en general desde el mes de Abril a la fecha y alcanzando un alza del 30% en los precios de YPF por ejemplo en los últimos doce meses incluso superando valores expuestos para la inflación real, es posible estimar que el precio del biodiesel cotiza en torno a 5950 \$/Ton.

La suba de precios de YPF en el año

La petrolera que vende 6 de cada 10 litros de combustible en el país aumentó varias veces sus precios



Fuente: YPF // Precios relevados en la ciudad de Buenos Aires por La Nación

Figura 6.8⁴⁸: Suba de precios de los combustibles acumulada 2011

Como se mencionó con anterioridad, el proceso de transesterificación de aceites de cualquier procedencia, ya sean animales o vegetales, genera una gran cantidad de glicerina como subproducto, del orden de 10 Kg por cada 100 Kg de ésteres metílicos, lo que supone el 10 % del biodiesel producido.

En los últimos años, y como consecuencia del crecimiento de la industria del biodiesel sustentado en las necesidades energéticas y amparada en las legislaciones nacionales, la producción de glicerina ha aumentado exponencialmente. Esto generó la caída de los precios a nivel mundial, con precios superando los 1500 U\$D/Ton en 2001/2002 hasta la actualidad, cuando éste producto se comercializa a 360 U\$D/Ton.

⁴⁸ Fuente: disponible en <http://www.lanacion.com.ar/1397760-ypf-aumento-6-sus-combustibles>

De ésta forma, los ingresos obtenidos por la venta del biodiesel como producto principal y la glicerina como subproducto se pueden observar en la siguiente tabla.

	Producción (Ton.)	Precio por Ton.	Moneda	Precio (\$/Ton)	Ingreso por Ventas
Biodiesel	320	5950	\$	5950	\$ 1.904.000
Glicerina	32	360	USD	1512	\$ 48.384
				TOTAL	\$ 1.952.384

Tabla 6.9: Ingreso por Ventas

Las ventas comienzan a ser efectivas luego de seis meses de iniciado el proyecto ya que el primer semestre del año inicial se ocupa para realizar todas las obras de infraestructura y de instalación de maquinaria. Esto se ve reflejado en el cuadro de resultados donde las ventas del primer año son el 50% de los años restantes. Por su parte, en el sexto año, cuando se renuevan la maquinaria también hay un leve descenso en las ventas, aunque en esta oportunidad se toma un 75% de las ventas anuales estándar.

6.4 Cuadro de Resultados

De ésta forma, el cuadro de resultados arroja las siguientes cifras:

Estado de Resultados										
Año	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ventas Totales	\$976.192,00	\$1.952.384,00	\$1.952.384,00	\$1.952.384,00	\$1.952.384,00	\$1.464.288,00	\$1.952.384,00	\$1.952.384,00	\$1.952.384,00	\$1.952.384,00
Costo de Producción	\$638.009,73	\$638.009,73	\$638.009,73	\$638.009,73	\$638.009,73	\$638.009,73	\$638.009,73	\$638.009,73	\$638.009,73	\$638.009,73
Resultado Operativo	\$338.182,27	\$1.314.374,27	\$1.314.374,27	\$1.314.374,27	\$1.314.374,27	\$826.278,27	\$1.314.374,27	\$1.314.374,27	\$1.314.374,27	\$1.314.374,27
Costo de Administración	\$347.907,50	\$347.907,50	\$347.907,50	\$347.907,50	\$347.907,50	\$347.907,50	\$347.907,50	\$347.907,50	\$347.907,50	\$347.907,50
Resultado Bruto	\$9.275,23	\$966.466,77	\$966.466,77	\$966.466,77	\$966.466,77	\$478.370,77	\$966.466,77	\$966.466,77	\$966.466,77	\$966.466,77
Ingresos brutos	\$0,00	\$28.994,00	\$28.994,00	\$28.994,00	\$28.994,00	\$0,00	\$28.994,00	\$28.994,00	\$28.994,00	\$28.994,00
UAIAG	\$9.275,23	\$937.472,76	\$937.472,76	\$937.472,76	\$937.472,76	\$478.370,77	\$937.472,76	\$937.472,76	\$937.472,76	\$937.472,76
Impuesto a las Ganancias	\$0,00	\$328.115,47	\$328.115,47	\$328.115,47	\$328.115,47	\$167.429,77	\$328.115,47	\$328.115,47	\$328.115,47	\$328.115,47
Utilidad Neta	\$9.275,23	\$609.357,30	\$609.357,30	\$609.357,30	\$609.357,30	\$310.941,00	\$609.357,30	\$609.357,30	\$609.357,30	\$609.357,30

6.5 Flujo de Fondos

Año	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Egresos										
Inversión en Activo Fijo	\$ 3.933.552,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 338.768,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00
IVA Inversión	\$ 621.045,60	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00
IG	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00
Total Egresos	\$ 4.554.597,60	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 338.768,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00
Ingresos										
UAI/G	\$ 9.725,23	\$ 937.472,76	\$ 937.472,76	\$ 937.472,76	\$ 937.472,76	\$ 478.370,77	\$ 937.472,76	\$ 937.472,76	\$ 937.472,76	\$ 937.472,76
Recupero del Crédito Fiscal	\$ 0,00	\$ 410.000,64	\$ 211.044,96	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00
Ahorizaciones	\$ 281.935,73	\$ 281.935,73	\$ 281.935,73	\$ 281.935,73	\$ 281.935,73	\$ 142.017,33	\$ 142.017,33	\$ 142.017,33	\$ 142.017,33	\$ 142.017,33
Total Ingresos	\$ 272.210,50	\$ 1.629.409,14	\$ 1.430.453,46	\$ 1.219.408,50	\$ 1.219.408,50	\$ 620.388,10	\$ 1.079.490,10	\$ 1.079.490,10	\$ 1.079.490,10	\$ 1.079.490,10
FF	\$ 4.282.387,10	\$ 1.629.409,14	\$ 1.430.453,46	\$ 1.219.408,50	\$ 1.219.408,50	\$ 281.620,10	\$ 1.079.490,10	\$ 1.079.490,10	\$ 1.079.490,10	\$ 1.079.490,10
FF acumulado	\$ 4.282.387,10	\$ 2.652.977,96	\$ 1.222.524,51	\$ 3.116,01	\$ 1.216.292,49	\$ 1.497.912,59	\$ 2.577.402,69	\$ 3.656.892,78	\$ 4.736.382,88	\$ 5.815.872,98
Período de repago (Años)					4,00					
TIR		14%								
VAN	\$ 825.207,47									

6.6 Flujo de Fondos Acumulado

El flujo de fondos acumulado resulta de realizar la sumatoria del flujo de fondos de cada año con la finalidad de determinar la Tasa Interna de Retorno (TIR) del proyecto y su correspondiente periodo de repago. Esto se puede proyectar a partir del Cuadro de Resultados y la tabla del Flujo de Fondos, antes presentados.

En la Figura XX es posible observar el comportamiento financiero del proyecto a lo largo del tiempo, visualizando tiempo (en años) en las Abscisas y Utilidad (en \$) en las Ordenadas.

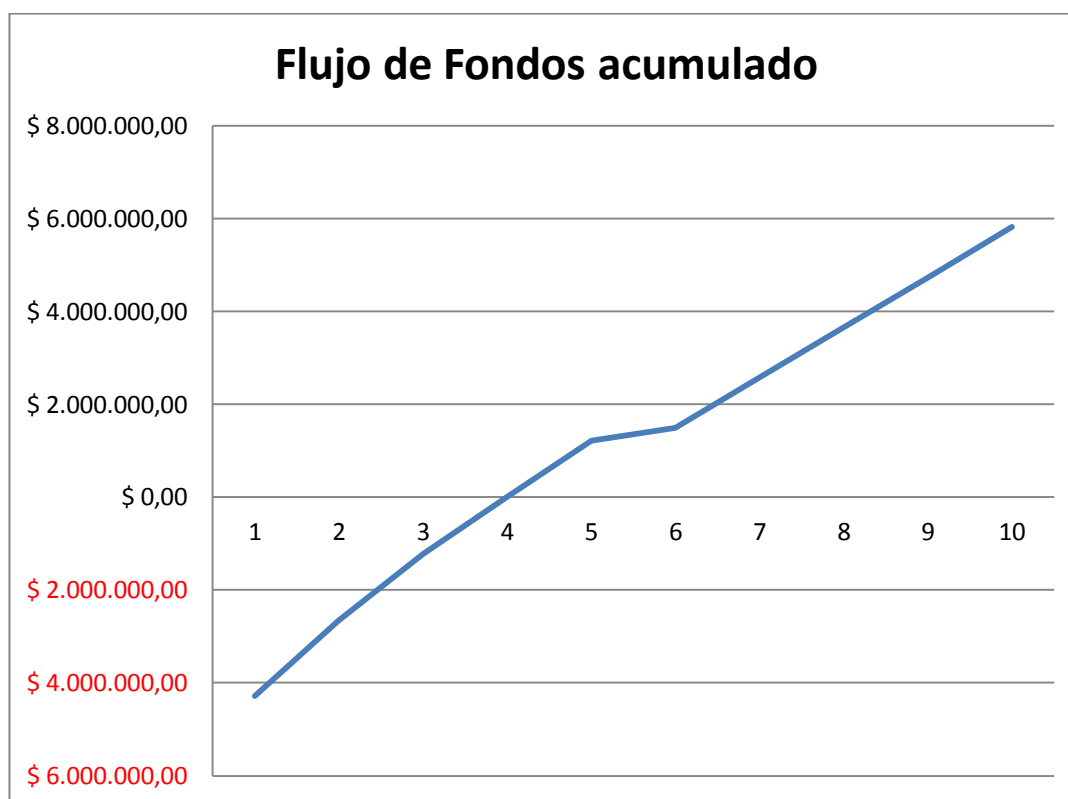


Figura 6.10: Flujo de Fondos Acumulado

Tal como se observa en la Figura, el periodo de repago se ubica exactamente a los 4 años de iniciado el proyecto, pudiendo resultar interesante para los inversores involucrarse en el emprendimiento.

Por su parte, la máxima exposición financiera ocurre en el inicio del proyecto, al momento de la puesta en marcha y de realizar las inversiones. Al final

del 5to año se observa un bache o desaceleración de la percepción de las utilidades, concordando con el segundo periodo de inversiones.

Finalmente, se determina la TIR del proyecto, que resulta del 14%.

6.6.1 Cálculo de la Tasa de Descuento

La tasa de descuento se utiliza para determinar el valor actual neto del proyecto y para poder determinar la tasa de descuento del proyecto, se utiliza el método WACC⁴⁹ o Promedio Ponderado del Costo de Capital.

Utilizando las hipótesis del modelo CAPM y las hipótesis de Hammada para determinar el coeficiente beta de riesgo sistémico de la industria respecto al mercado, se procedió a seguir los lineamientos del siguiente modelo:

$$E(R_i) = R_f + \beta [E(R_m) - R_f] + R_p$$

Los componentes de cada uno de las variables involucradas responden a las siguientes observaciones. La tasa libre de riesgo corresponde a los bonos del Tesoro de los Estados Unidos de América y, como la tasa de mercado, se obtuvo a partir de páginas web especializadas.⁵⁰

El Beta por industria se obtuvo a partir de información disponible en la web o proporcionada por INSEAD (Institut Européen d'Administration des Affaires). Cabe destacar que el porcentaje del pasivo con respecto a la estructura financiera se definió en un 20%.

De esta forma, podemos obtener el costo del capital. Ver Figura XX.

Beta Unlevered	0,59
Riesgo País	8,9%
Prima de mercado	3,68%
Tasa Libre de Riesgo	2,06%
Beta Levered	0,69
WACC	12,08%

⁴⁹ WACC: Weighted Average Costo of Capital

⁵⁰ Disponible en http://www.portfoliopersonal.com/Tasa_Interes/hTB_TIR.asp (fecha de consulta 11-12-2011)

Figura 6.11: Parámetros para la determinación del costo de capital

Se observa que la TIR del proyecto es mayor que el costo del capital, resultando en un proyecto de atractivo para los inversionistas.

Así, y descontando el flujo de fondos tomando el costo de capital como tasa, se obtiene el Valor Actual Neto (VAN) del proyecto, que resulta ser positivo.

VAN	\$ 825.207,47
------------	----------------------

7. Conclusiones

El estudio y análisis de la producción y comercialización de biodiesel a partir de algas arroja numerosas conclusiones que merecen ser discutidas.

En primer lugar resulta importante destacar que la problemática energética actual es real, y los pronósticos para el futuro no son alentadores de continuar por ésta senda. Es por eso que el mundo necesita buscar alternativas limpias para modificar el paradigma de la escasez y el impacto ecológico que los combustibles fósiles suponen. Así, existen numerosas iniciativas y proyectos con el objetivo de concientizar sobre la relevancia del problema y la necesidad de encontrar soluciones; las micro algas se destacan como una alternativa interesante.

Éstos microorganismos cuentan con múltiples ventajas como materia prima en la producción de biocombustibles, posicionándolas como un sustituto real y efectivo del petróleo.

Las micro algas son, hasta la actualidad, la materia prima más eficiente de cara a la producción de biodiesel, tanto por su eficiencia productiva en relación al espacio como por el hecho de no competir con el mercado alimenticio a la hora de definir el destino de la producción. Las micro algas son, además, captadoras de CO₂, por lo que al cultivarlas para producir biocombustibles se absorbe éste gas que tanto afecta al calentamiento global, contribuyendo, así, a paliar el efecto invernadero y a restablecer el equilibrio térmico del planeta.

Nuestro país es uno de los mayores productores de biodiesel del mundo, apalancado por la masiva producción de granos. Sin embargo, utilizar este tipo de materias primas para producir biocombustibles conlleva privar al mercado alimenticio de dicha producción, elevando el precio de los alimentos. En cambio, producir biodiesel a partir de micro algas descomprime ésta disyuntiva de utilizar los granos para alimento o biocombustibles.

Por otro lado las micro algas presentan una alternativa interesante como materia prima frente a las plantas oleaginosas, ya que son capaces de crecer en suelos inadecuados para el crecimiento de otros tipos de vegetales, y con una producción claramente superior por unidad de superficie. Además, su velocidad de crecimiento es tal que permiten obtener cosechas repetitivas en intervalos muy cortos, favoreciendo la producción y los ingresos por las ventas en el mercado.

Producir FAME (ésteres metílicos de los ácidos grasos) o B100 en la Argentina supone comercializarlo a las grandes petroleras para que éstas lo mezclen con diesel de combustibles fósiles y lo reduzcan a la proporción deseada o indicada por la legislación vigente. Así, parte del atractivo del proyecto es absorbido por estas empresas petroleras de mayor tamaño y estructura que generan utilidades en la mezcla.

Es importante destacar que el biodiesel representa una alternativa limpia y renovable a los combustibles fósiles. Es un producto cada vez más demandado en el mercado argentino y mundial por lo que las perspectivas en cuanto a la demanda son más que alentadoras. Incentivar a los centros educativos y científicos para el estudio y cultivo de las especies de micro algas, definiendo las cepas con mayor proyección supone un desafío para el futuro que deberá ser resuelto en el corto plazo.

Finalmente, resulta valioso enfatizar que éste tipo de proyectos genera producción con valor agregado, implicando mano de obra calificada además de ser sustentable con el medio ambiente que nos rodea.

8. Futuras líneas de Investigación

Para poder optimizar la producción de biocombustibles a partir de micro algas y obtener productos de mejor calidad a menor costo se pueden enfocar las siguientes cuestiones:

- Estudio de las especies de micro algas adecuadas para la producción de biodiesel y sus condiciones de cultivo.
- Optimización de los métodos de cultivo en relación a la exposición a la luz y a la proporción del gas anhídrido carbónico
- Análisis de la viabilidad de extender la línea de producción para la glicerina que se obtiene como subproducto, y comercializarla con mayor valor agregado como un material plástico lo más parecido posible con el petróleo. El sistema, que sólo se ha probado en laboratorio, consiste en transformar la glicerina de biodiesel en polvo, que es arrojado encima del petróleo derramado en océanos y mares, y forma una especie de masa plástica. Al hacer eso ocurre un fenómeno natural entre el petróleo y este plástico, la absorción, porque ambos son igualmente hidrofóbicos y se alejan juntos del agua. De ésta forma, se podrían retirar hasta 23 toneladas de petróleo derramado por cada una tonelada de glicerina que se agrega.

9. Bibliografía

- Jérôme Hervé Lamoureux; Agosto 2007; Diseño conceptual de una planta de Biodiesel; Santiago de Chile, Chile.
- Jacques Reinaldo Gabay; Junio 2009; Globalización y costos de los Alimentos: situación actual, pronósticos y posibles soluciones; Universidad Central de Venezuela; Venezuela.
- Ing. Angel D. González, Dr. Viatcheslav Kafarov, Dr. Alexander Guzmán Monsalve; Diciembre 2009; Desarrollo de métodos de extracción de aceite en la cadena de producción de biodiesel a partir de micro algas; Bucaramanga, Colombia.
- Luis Manuel Navas Gracia; 2007; Sistemas de control de fotobiorreactores para la producción de micro algas; Madrid, España
- Cesar A. Estrada, Yanaika C. Noguera, Jorge E. López; 2010; Desarrollo tecnológico prototipo para la producción de biodiesel a partir de microalgas en sistemas cerrados, como biocombustible de segunda generación; Cali, Colombia.
- Cámara Argentina de Energías Renovables/CADER; Enero 2011; Estado de la industria Argentina de Biodiesel – Reporte Cuarto Trimestre 2010; Buenos Aires, Argentina.
- Chloé Monthieu; Junio 2010; Estudio técnico económico de la extracción de los lípidos de las micro algas para la producción de biodiesel; Madrid, España.

- Instituta Interamericano de cooperación para la Agricultura; 2010; Atlas de la agroenergía y los biocombustibles en las Américas: II Biodiesel; San José, Costa Rica.
- Camila Barraza, Vanessa Collao, Camila Espinoza, Francisco Moya, Gabriel Thun, Mauro Torres; Junio 2009; Producción de biodiesel a partir de micro algas; Valparaíso, Chile.
- Melisa María Polverini; 2009; Factibilidad económica de la elaboración de biodiesel, a base de soja, para comercializar en el mercado interno; Rosario, Argentina.
- Ing. Ambiental Ignacio Roberto Huerga, 2008; Producción de biodiesel a partir de cultivos alternativos: Experiencia con Jatropha Curcas; Rosario, Argentina.
- Pablo Julián Osorio Campusano; Agosto 2008; Estudio Técnico Económico para la producción de biodiesel a partir de algas; Santiago de Chile, Chile.
- Elena López Blanco; Estudio y desarrollo de una planta piloto para la obtención de biodiesel; Valencia, España.

9.1 Páginas web consultadas

<http://biodiesel.com.ar>

<http://www.biodieselspain.com>

<http://www.miliarium.com/Monografias/Biocombustibles/Biodiesel/Biodiesel.asp>

http://www.madrimasd.org/informacionIDI/biblioteca/Publicacion/doc/VT/vt4_Biocarburantes_liquidos_biodiesel_y_bioetanol.pdf

<http://www.soyentrepreneur.com/>

<http://www.inti.gob.ar/>

www.inta.gov.ar/INFO/bioenergia/boletines/bc-inf-06-08.pdf

www.monografias.com/...biodiesel-microalgas/produccion-biodiesel-microalgas.pdf

www.oilfox.com.ar/pdf/

www.smbb.com.mx/revista/Revista_2009_3/Biodiesel.pdf

www.biodiesel-uruguay.com/articulos/biodiesel-algas.pdf

Anexo N° 1

BIOCOMBUSTIBLES

Ley 26.093⁵¹

Régimen de Regulación y Promoción para la Producción y Uso Sustentables de Biocombustibles. Autoridad de aplicación. Funciones. Comisión Nacional Asesora. Habilitación de plantas productoras. Mezclado de Biocombustibles con Combustibles Fósiles. Sujetos beneficiarios del Régimen Promocional. Infracciones y sanciones.

Sancionada: Abril 19 de 2006

Promulgada de Hecho: Mayo 12 de 2006

El Senado y Cámara de Diputados de la Nación Argentina reunidos en Congreso, etc. sancionan con fuerza de Ley:

REGIMEN DE REGULACION Y PROMOCION PARA LA PRODUCCION Y USO SUSTENTABLES DE BIOCOMBUSTIBLES

CAPITULO I

ARTICULO 1. — Dispónese el siguiente Régimen de Promoción para la Producción y Uso Sustentables de Biocombustibles en el territorio de la Nación Argentina, actividades que se regirán por la presente ley.

El régimen mencionado en el párrafo precedente tendrá una vigencia de quince (15) años a partir de su aprobación.

El Poder Ejecutivo nacional podrá extender el plazo precedente computando los quince (15) años de vigencia a partir de los términos establecidos en los artículos 7° y 8° de la presente ley.

Autoridad de Aplicación

ARTICULO 2. — La autoridad de aplicación de la presente ley será determinada por el Poder Ejecutivo nacional, conforme a las respectivas competencias dispuestas por la Ley N° 22.520 de Ministerios y sus normas reglamentarias y complementarias.

Comisión Nacional Asesora

ARTICULO 3. — Créase la Comisión Nacional Asesora para la Promoción de la Producción y Uso Sustentables de los Biocombustibles, cuya función será la de asistir y asesorar a la autoridad de aplicación. Dicha Comisión estará integrada por un representante de cada uno de los siguientes organismos nacionales: Secretaría de Energía, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos, Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable, Secretaría de Hacienda, Secretaría de Política Económica, Secretaría de Comercio, Industria y de la Pequeña y Mediana

⁵¹ Fuente: disponible en http://www.bccba.com.ar/bcc/images/00001197_BIOCOMBUSTIBLES.PDF

Empresa, Secretaría de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva, y Administración Federal de Ingresos Públicos y todo otro organismo o instituciones públicas o privadas —incluidos los Consejos Federales con competencia en las áreas señaladas— que pueda asegurar el mejor cumplimiento de las funciones asignadas a la autoridad de aplicación y que se determine en la reglamentación de la presente ley.

Funciones de la Autoridad de Aplicación

ARTICULO 4. — Serán funciones de la autoridad de aplicación:

- a) Promover y controlar la producción y uso sustentables de biocombustibles.
- b) Establecer las normas de calidad a las que deben ajustarse los biocombustibles.
- c) Establecer los requisitos y condiciones necesarios para la habilitación de las plantas de producción y mezcla de biocombustibles, resolver sobre su calificación y aprobación, y certificar la fecha de su puesta en marcha.
- d) Establecer los requisitos y criterios de selección para la presentación de los proyectos que tengan por objeto acogerse a los beneficios establecidos por la presente ley, resolver sobre su aprobación y fijar su duración.
- e) Realizar auditorías e inspecciones a las plantas habilitadas para la producción de biocombustibles a fin de controlar su correcto funcionamiento y su ajuste a la normativa vigente.
- f) Realizar auditorías e inspecciones a los beneficiarios del régimen de promoción establecido en esta ley, a fin de controlar su correcto funcionamiento, su ajuste a la normativa vigente y la permanencia de las condiciones establecidas para mantener los beneficios que se les haya otorgado.
- g) También ejercitará las atribuciones que la Ley N° 17.319 especifica en su Título V, artículos 76 al 78.
- h) Aplicar las sanciones que correspondan de acuerdo a la gravedad de las acciones penadas.
- i) Solicitar con carácter de declaración jurada, las estimaciones de demanda de biocombustible previstas por las compañías que posean destilerías o refinerías de petróleo, fraccionadores y distribuidores mayoristas o minoristas de combustibles, obligados a utilizar los mismos, según lo previsto en los artículos 7° y 8°.
- j) Administrar los subsidios que eventualmente otorgue el Honorable Congreso de la Nación.
- k) Determinar y modificar los porcentajes de participación de los biocombustibles en cortes con gasoil o nafta, en los términos de los artículos 7° y 8°.
- l) En su caso, determinar las cuotas de distribución de la oferta de biocombustibles, según lo previsto en el último párrafo del artículo 14 de la presente ley.
- m) Asumir las funciones de fiscalización que le corresponden en cumplimiento de la presente ley.
- n) Determinar la tasa de fiscalización y control que anualmente pagarán los agentes alcanzados por esta ley, así como su metodología de pago y recaudación.
- o) Crear y llevar actualizado un registro público de las plantas habilitadas para la producción y mezcla de biocombustibles, así como un detalle de aquellas a las

cuales se les otorguen los beneficios promocionales establecidos en el presente régimen.

p) Firmar convenios de cooperación con distintos organismos públicos, privados, mixtos y organizaciones no gubernamentales.

q) Comunicar en tiempo y forma a la Administración Federal de Ingresos Públicos y a otros organismos del Poder Ejecutivo nacional que tengan competencia, las altas y bajas del registro al que se refiere el inciso o) del presente artículo, así como todo otro hecho o acontecimiento que revista la categoría de relevantes para el cumplimiento de las previsiones de esta ley.

r) Publicar periódicamente precios de referencia de los biocombustibles.

s) Ejercer toda otra atribución que surja de la reglamentación de la presente ley a los efectos de su mejor cumplimiento.

t) Publicar en la página de Internet el Registro de las Empresas beneficiarias del presente régimen, así como los montos de beneficio fiscal otorgados a cada empresa.

Definición de Biocombustibles

ARTICULO 5. — A los fines de la presente ley, se entiende por biocombustibles al bioetanol, biodiesel y biogás, que se produzcan a partir de materias primas de origen agropecuario, agroindustrial o desechos orgánicos, que cumplan los requisitos de calidad que establezca la autoridad de aplicación.

Habilitación de Plantas Productoras

ARTICULO 6. — Sólo podrán producir biocombustibles las plantas habilitadas a dichos efectos por la autoridad de aplicación.

La habilitación correspondiente se otorgará, únicamente, a las plantas que cumplan con los requerimientos que establezca la autoridad de aplicación en cuanto a la calidad de biocombustibles y su producción sustentable, para lo cual deberá someter los diferentes proyectos presentados a un procedimiento de Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) que incluya el tratamiento de efluentes y la gestión de residuos.

Mezclado de Biocombustibles con Combustibles Fósiles

ARTICULO 7. — Establécese que todo combustible líquido caracterizado como gasoil o diesel oil —en los términos del artículo 4º de la Ley N° 23.966, Título III, de Impuesto sobre los Combustibles Líquidos y el Gas Natural, texto ordenado en 1998 y sus modificaciones, o en el que pueda prever la legislación nacional que en el futuro lo reemplace— que se comercialice dentro del territorio nacional, deberá ser mezclado por aquellas instalaciones que hayan sido aprobadas por la autoridad de aplicación para el fin específico de realizar esta mezcla con la especie de biocombustible denominada "biodiesel", en un porcentaje del CINCO POR CIENTO (5%) como mínimo de este último, medido sobre la cantidad total del producto final. Esta obligación tendrá vigencia a partir del primer día del cuarto año calendario siguiente al de promulgación de la presente ley.

La Autoridad de Aplicación tendrá la atribución de aumentar el citado porcentaje, cuando lo considere conveniente en función de la evolución de las variables de mercado interno, o bien disminuir el mismo ante situaciones de escasez fehacientemente comprobadas.

ARTICULO 8. — Establécese que todo combustible líquido caracterizado como nafta —en los términos del artículo 4º de la Ley N° 23.966, Título III, de Impuesto sobre los Combustibles Líquidos y el Gas Natural, texto ordenado en 1998 y sus modificaciones, o en el que prevea la legislación nacional que en el futuro lo reemplace— que se comercialice dentro del territorio nacional, deberá ser mezclado por aquellas instalaciones que hayan sido aprobadas por la autoridad de aplicación para el fin específico de realizar esta mezcla, con la especie de biocombustible denominada "bioetanol", en un porcentaje del CINCO POR CIENTO (5%) como mínimo de este último, medido sobre la cantidad total del producto final. Esta obligación tendrá vigencia a partir del primer día del cuarto año calendario siguiente al de promulgación de la presente ley.

La autoridad de aplicación tendrá la atribución de aumentar el citado porcentaje, cuando lo considere conveniente en función de la evolución de las variables de mercado interno, o bien disminuir el mismo ante situaciones de escasez fehacientemente comprobadas.

ARTICULO 9. — Aquellas instalaciones que hayan sido aprobadas por la autoridad de aplicación para el fin específico de realizar las mezclas, deberán adquirir los productos definidos en el artículo 5º, exclusivamente a las plantas habilitadas a ese efecto por la autoridad de aplicación. Asimismo deberán cumplir con lo establecido en el artículo 15, inciso 4.

La violación de estas obligaciones dará lugar a las sanciones que establezca la referida autoridad de aplicación.

ARTICULO 10. — La autoridad de aplicación establecerá los requisitos y condiciones para el autoconsumo, distribución y comercialización de biodiesel y bioetanol en estado puro (B100 y E100), así como de sus diferentes mezclas.

ARTICULO 11. — El biocombustible gaseoso denominado biogás se utilizará en sistemas, líneas de transporte y distribución de acuerdo a lo que establezca la autoridad de aplicación.

Consumo de Biocombustibles por el Estado nacional

ARTICULO 12. — El Estado nacional, ya se trate de la administración central o de organismos descentralizados o autárquicos, así como también aquellos emprendimientos privados que se encuentren ubicados sobre las vías fluviales, lagos, lagunas, y en especial dentro de las jurisdicciones de Parques Nacionales o Reservas Ecológicas, deberán utilizar biodiesel o bioetanol, en los porcentajes que determine la autoridad de aplicación, y biogás sin corte o mezcla. Esta obligación tendrá vigencia a partir del primer día del cuarto año calendario siguiente al de promulgación de la presente ley, y su no cumplimiento por parte de los directores o responsables del área respectiva, dará lugar a las penalidades que establezca el Poder Ejecutivo nacional.

La autoridad de aplicación deberá tomar los recaudos necesarios para garantizar la provisión de dichos combustibles en cantidades suficientes y con flujo permanente.

CAPITULO II

Régimen Promocional

Sujetos Beneficiarios de la Promoción

ARTICULO 13. — Todos los proyectos de radicación de industrias de biocombustibles, gozarán de los beneficios que se prevén en la presente ley, en tanto y en cuanto:

- a) Se instalen en el territorio de la Nación Argentina.
- b) Sean propiedad de sociedades comerciales, privadas, públicas o mixtas, o cooperativas, constituidas en la Argentina y habilitadas con exclusividad para el desarrollo de la actividad promocionada por esta ley, pudiendo integrar todas o algunas de las etapas industriales necesarias para la obtención de las materias primas renovables correspondientes. La autoridad de aplicación establecerá los requisitos para que las mismas se encuadren en las previsiones del presente artículo.
- c) Su capital social mayoritario sea aportado por el Estado nacional, por la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, los Estados Provinciales, los Municipios o las personas físicas o jurídicas, dedicadas mayoritariamente a la producción agropecuaria, de acuerdo a los criterios que establezca el decreto reglamentario de la presente ley.
- d) Estén en condiciones de producir biocombustibles cumpliendo las definiciones y normas de calidad establecidas y con todos los demás requisitos fijados por la autoridad de aplicación, previos a la aprobación del proyecto por parte de ésta y durante la vigencia del beneficio.
- e) Hayan accedido al cupo fiscal establecido en el artículo 14 de la presente ley y en las condiciones que disponga la reglamentación.

ARTICULO 14. — El cupo fiscal total de los beneficios promocionales se fijará anualmente en la respectiva ley de Presupuesto para la Administración Nacional y será distribuido por el Poder Ejecutivo nacional, priorizando los proyectos en función de los siguientes criterios:

- Promoción de las pequeñas y medianas empresas.
- Promoción de productores agropecuarios.
- Promoción de las economías regionales.

Déjase establecido que a partir del segundo año de vigencia del presente régimen, se deberá incluir también en el cupo total, los que fueran otorgados en el año inmediato anterior y que resulten necesarios para la continuidad o finalización de los proyectos respectivos.

A los efectos de favorecer el desarrollo de las economías regionales, la autoridad de aplicación podrá establecer cuotas de distribución entre los distintos proyectos presentados por pequeñas y medianas empresas, aprobados según lo previsto en los artículos 6º y 13, con una concurrencia no inferior al veinte por ciento (20%) de la demanda total de biocombustibles generada por las destilerías, refinerías de petróleo o aquellas instalaciones que hayan sido debidamente aprobadas por la Autoridad de Aplicación para el fin específico de realizar la mezcla con derivados de petróleo previstas para un año.

Beneficios Promocionales

ARTICULO 15. — Los sujetos mencionados en el artículo 13, que cumplan las condiciones establecidas en el artículo 14, gozarán durante la vigencia establecida en el artículo 1º de la presente ley de los siguientes beneficios promocionales:

1.- En lo referente al Impuesto al Valor Agregado y al Impuesto a las Ganancias, será de aplicación el tratamiento dispensado por la Ley N° 25.924 y sus normas reglamentarias, a la adquisición de bienes de capital o la realización de obras de infraestructura correspondientes al proyecto respectivo, por el tiempo de vigencia del presente régimen.

2.- Los bienes afectados a los proyectos aprobados por la autoridad de aplicación, no integrarán la base de imposición del Impuesto a la Ganancia Mínima Presunta establecido por la Ley N° 25.063, o el que en el futuro lo complemente, modifique o sustituya, a partir de la fecha de aprobación del proyecto respectivo y hasta el tercer ejercicio cerrado, inclusive, con posterioridad a la fecha de puesta en marcha.

3.- El biodiesel y el bioetanol producidos por los sujetos titulares de los proyectos aprobados por la autoridad de aplicación, para satisfacer las cantidades previstas en los artículos 7º, 8º y 12 de la presente ley, no estarán alcanzados por la tasa de Infraestructura Hídrica establecida por el Decreto N° 1381/01, por el Impuesto sobre los Combustibles Líquidos y el Gas Natural establecido en el Capítulo I, Título III de la Ley N° 23.966, texto ordenado en 1998 y sus modificaciones, por el impuesto denominado "Sobre la transferencia a título oneroso o gratuito, o sobre la importación de gasoil", establecido en la Ley N° 26.028, así como tampoco por los tributos que en el futuro puedan sustituir o complementar a los mismos.

4.- La autoridad de aplicación garantizará que aquellas instalaciones que hayan sido aprobadas para el fin específico de realizar las mezclas, deberán adquirir los productos definidos en el artículo 5º a los sujetos promovidos en esta ley hasta agotar su producción disponible a los precios que establezca la mencionada autoridad.

5.- La Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos, promoverá aquellos cultivos destinados a la producción de biocombustibles que favorezcan la diversificación productiva del sector agropecuario. A tal fin, dicha Secretaría podrá elaborar programas específicos y prever los recursos presupuestarios correspondientes.

6.- La Subsecretaría de Pequeña y Mediana Empresa promoverá la adquisición de bienes de capital por parte de las pequeñas y medianas empresas destinados a la producción de biocombustibles. A tal fin elaborará programas específicos que contemplen el equilibrio regional y preverá los recursos presupuestarios correspondientes.

7.- La Secretaría de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva promoverá la investigación, cooperación y transferencia de tecnología, entre las pequeñas y medianas empresas y las instituciones pertinentes del Sistema Público Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación. A tal fin elaborará programas específicos y preverá los recursos presupuestarios correspondientes.

Infracciones y Sanciones

ARTICULO 16. — El incumplimiento de las normas de la presente ley y de las disposiciones y resoluciones de la autoridad de aplicación, dará lugar a la aplicación por parte de ésta de algunas o todas las sanciones que se detallan a continuación:

1.- Para las plantas habilitadas:

- a) Inhabilitación para desarrollar dicha actividad;
 - b) Las multas que pudieran corresponder;
 - c) Inhabilitación para inscribirse nuevamente en el registro de productores.
- 2.- Para los sujetos beneficiarios de los cupos otorgados conforme el artículo 15:
- a) Revocación de la inscripción en el registro de beneficiarios;
 - b) Revocación de los beneficios otorgados;
 - c) Pago de los tributos no ingresados, con más los intereses, multas y/o recargos que establezca la Administración Federal de Ingresos Públicos;
 - d) Inhabilitación para inscribirse nuevamente en el registro de beneficiarios.
- 3.- Para las instalaciones de mezcla a las que se refiere el artículo 9º:
- a) Las multas que disponga la autoridad de aplicación;
 - b) Inhabilitación para desarrollar dicha actividad.
- 4.- Para los sujetos mencionados en el artículo 13:
- a) Las multas que disponga la Autoridad de Aplicación.

ARTICULO 17. — Todos los proyectos calificados y aprobados por la Autoridad de Aplicación serán alcanzados por los beneficios que prevén los mecanismos — sean Derechos de Reducción de Emisiones; Créditos de Carbono y cualquier otro título de similares características— del Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático de 1997, ratificado por Argentina mediante Ley Nº 25.438 y los efectos que de la futura ley reglamentaria de los mecanismos de desarrollo limpio dimanen.

ARTICULO 18. — Establécese que las penalidades con que pueden ser sancionadas las plantas habilitadas y las instalaciones de mezcla serán:

- a) Las faltas muy graves, sancionables por la autoridad de aplicación con multas equivalentes al precio de venta al público de hasta CIEN MIL (100.000) litros de nafta súper.
- b) Las faltas graves, sancionables por la autoridad de aplicación con multas equivalentes al precio de venta al público de hasta CINCUENTA MIL (50.000) litros de nafta súper.
- c) Las faltas leves, sancionables por la autoridad de aplicación con multas equivalentes al precio de venta al público de hasta DIEZ MIL (10.000) litros de nafta súper.
- d) La reincidencia en infracciones por parte de un mismo operador, dará lugar a la aplicación de sanciones sucesivas de mayor gravedad hasta su duplicación respecto de la anterior.
- e) En el caso de reincidencia:
 - 1. En una falta leve, se podrán aplicar las sanciones previstas para faltas graves.
 - 2. En una falta grave, se podrán aplicar las sanciones previstas para faltas muy graves.
 - 3. En una falta muy grave, sin perjuicio de las sanciones establecidas en el punto a) del presente artículo, la autoridad de aplicación podrá disponer la suspensión del infractor de los respectivos registros con inhabilitación para inscribirse nuevamente en el registro de productores.

ARTICULO 19. — A los efectos de la actuación administrativa de la autoridad de aplicación, será de aplicación la Ley Nacional de Procedimientos Administrativos y sus normas reglamentarias.

Agotada la vía administrativa procederá el recurso en sede judicial directamente ante la Cámara Federal de Apelaciones con competencia en materia contencioso-administrativa con jurisdicción en el lugar del hecho. Los recursos que se interpongan contra la aplicación de las sanciones previstas en la presente ley tendrán efecto devolutivo.

ARTICULO 20. — Invítase a las Legislaturas provinciales y de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires a que adhieran al presente régimen sancionando leyes dentro de su jurisdicción que tengan un objeto principal similar al de la presente ley.

ARTICULO 21. — Comuníquese al Poder Ejecutivo.

DADA EN LA SALA DE SESIONES DEL CONGRESO ARGENTINO, EN BUENOS AIRES, A LOS DIECINUEVE DIAS DEL MES DE ABRIL DEL AÑO DOS MIL SEIS.

— REGISTRADA BAJO EL N° 26.093—

ALBERTO BALESTRINI. — DANIEL O. SCIOLI. — Enrique Hidalgo. — Juan Estrada.