

Trabajo Fin de Grado
Grado en Ingeniería en las Tecnologías
Industriales

Estudio técnico y económico de la producción de biodiésel en España

Autor: Pablo Torroja Bartrina

Tutor: Aurelio Luis Azaña García

**Dpto. Ingeniería de la construcción y proyectos
de ingeniería**

**Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla**

Sevilla, 2019



Trabajo de Fin de Grado
Grado en Ingeniería de las Tecnologías industriales

Estudio técnico y económico de la producción de biodiésel en España

Autor:

Pablo Torroja Bartrina

Tutor:

Aurelio Luis Azaña García

Profesor asociado

Dpto. de Ingeniería de la construcción y proyectos de ingeniería

Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Universidad de Sevilla

Sevilla, 2019

Proyecto Fin de Carrera: Estudio técnico y económico de la producción de biodiésel en España

Autor: Pablo Torroja Bartrina

Tutor: Aurelio Luis Azaña García

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

El Secretario del Tribunal

Sevilla, 2019

Agradecimientos

Me gustaría agradecer en primer lugar a mi tutor, Aurelio Azaña, por haber aceptado a realizar este trabajo conmigo y por su disponibilidad y atención a lo largo del mismo.

Seguidamente querría agradecer a mis amigos y mi familia, por haber sido el gran apoyo que he necesitado durante la carrera. En especial a mis padres, que me han enseñado que con constancia y trabajo se puede alcanzar cualquier objetivo.

Por último, me gustaría agradecer especialmente a Carolina, por haber estado tanto en los buenos como en los malos momentos y por alegrarme cada día, contigo la vida es más fácil.

Gracias a todos.

RESUMEN

En el presente proyecto llevaremos a cabo una revisión sobre el biodiésel y el papel que juega dentro del mercado energético actual. Se detallará además los principales procesos de producción, teniendo en cuenta las distintas materias primas y reactivos que se pueden utilizar y los distintos subproductos a obtener. Trataremos también los procesos que deben incurrir las materias primas y los productos finales para cumplir los niveles de calidad necesarios para comercializarse.

Igualmente estudiaremos el sector del biodiésel en España, como se encuentra en la actualidad y las posibles situaciones futuras que pueden darse y las consecuencias que podrían acarrear.

ABSTRACT

In this project we will carry out a review on biodiesel and the role it plays within the current energy market. The main production processes will also be detailed, taking into account the different raw materials and reagents that can be used and the different by-products to be obtained. We will also cover the processes that raw materials and the final products must incur to meet the necessary quality levels to be marketed.

It will also be studied the biodiesel sector in Spain, as it is today and the possible future situations that may occur and the consequences that could result.

Contenido

RESUMEN

ABSTRACT

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE TABLAS

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Contexto energético.	1
1.2 Situación de los biocombustibles.	3
1.3 Ventajas	4
1.4 Inconvenientes	5
1.5 Mercados mundial y europeo	6
1.5.1 Marco mundial	6
1.5.2 Marco europeo	7
2. BIODIÉSEL	9
2.1 Aspectos generales	9
2.2 Procesos de producción	9
2.3 Materias primas	10
2.3.1 Aceites vegetales convencionales	12
2.3.2 Aceites vegetales alternativos	12
2.3.3 Aceites de fritura usados	13
2.3.4 Aceites de microalgas	13
2.3.5 Aceites de grasas animales	13
2.4 Reactivos y subproductos	14
2.4.1 Catalizadores homogéneos	14
2.4.2 Catalizadores heterogéneos	15
2.4.3 Catalizadores enzimáticos	16
2.4.4 Subproductos	16
2.5 Procesos industriales	17
2.5.1 Extracción del aceite	17
2.5.2 Refinado del aceite	18
2.5.3 Producción de biodiésel	19
2.6 Análisis de calidad	20
2.6.1 Especificaciones relacionadas con la reacción de transesterificación	22

2.6.2 Especificaciones relacionadas con las propiedades de los ésteres de alquilo de ácidos grasos	23
2.6.3 Especificaciones relacionadas con la influencia de materiales extraños	24
2.7 Testeo y prestaciones de motores de biodiésel	25
2.7.1 Biodiésel vegetal y aceite reutilizado	25
2.7.2 Biodiésel de microalgas	29
2.7.3 Biodiésel de grasas animales	31
3. ANÁLISIS ECONÓMICO	38
3.1 Ubicación	38
3.2 Descripción del estudio económico	42
3.2.1 Inversión inicial	42
Ingeniería	43
Equipos y suministros	43
Obra civil	43
Instalaciones exteriores	44
Coste de la inversión según el volumen de producción.	44
3.2.2 Gastos de operación e ingresos	46
Gastos de personal	46
Gastos de materia prima y reactivos	50
Servicios auxiliares	59
Revisión anual y repuestos	59
Transporte	60
Seguros	61
Ingresos	61
3.2.3 Análisis de rentabilidad	63
Escenario 1	63
Escenario 2	70
Escenario 3	74
Escenario 4	74
Escenario 5	81
3.3 Conclusiones	83
BIBLIOGRAFÍA	1

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Demanda de energía primaria y emisiones de CO₂

Figura 1.2: Dependencia energética de la UE

Figura 1.3: El ciclo del CO₂ en el biodiésel.

Figura 1.5.1: Gráfico sobre los principales exportadores de biodiésel a la UE

Figura 1.5.1: Gráfico sobre los principales exportadores de biodiésel a la UE

Figura 2.1: Diagrama del proceso de producción del biodiésel

Figura 2.6.1: Norma ASTM para biodiésel

Figura 2.6.2: Norma Europea para biodiésel

Figura 2.7.1.1: Representación esquemática del experimento.

Figura 2.7.1.2: Presiones y tasas netas de liberación de calor para los distintos combustibles.

Figura 2.7.1.4: Emisiones de biodiésel vegetal y de aceites usados

Figura 2.7.3.1: Representación esquemática del motor para biodiésel con grasas animales.

Figura 2.7.3.2: Variación de la potencia efectiva para el diésel, el biodiésel y las mezclas.

Figura 2.7.3.3: Variación del consumo específico para el diésel, el biodiésel y sus mezclas.

Figura 2.7.3.4: Variación de la eficiencia térmica para el diésel, biodiésel y sus mezclas.

Figura 2.7.3.5: Variación de temperatura de escape para diésel, biodiésel y sus mezclas.

Figura 2.7.3.6: Variación de CO para diésel, biodiésel y sus mezclas.

Figura 2.7.3.7: Variación de NO_x para diésel, biodiésel y sus mezclas.

Figura 2.7.3.8: Variación de SO₂ para diésel, biodiésel y sus mezclas.

Figura 2.7.3.9: Variación de la opacidad del humo para diésel, biodiésel y sus mezclas.

Figura 3.1.1: Localización de la refinería y nuestra parcela.

Figura 3.1.2: Localización de nuestra parcela respecto al puerto.

Figura 3.2.3.1: Comparación valores del VAN para las distintas cuotas de mercado que alcanzaremos en los escenarios 1 y 4

Figura 3.2.3.2: Comparación valores del VAN para 400.000 toneladas anuales en escenarios 4 y 5

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.3: Comparación de degradación entre carburante tradicional y biocombustible

Tabla 2.2: Propiedades físicas y químicas de las principales materias primas utilizadas en la producción de biodiésel

Tabla 2.7.1.1: Características técnicas del motor empleado.

Tabla 2.7.1.2: Resumen del experimento.

Tabla 2.7.2.1: Resumen de resultados en experimentos con biodiésel de microalgas

Tabla 2.7.2.2: Resumen de resultados en experimentos con biodiésel de microalgas

Tabla 2.7.3.1: Especificaciones técnicas del motor para biodiésel con grasas animales.

Tabla 3.1.1 Capacidad de producir productos derivados del petróleo y demanda de biodiésel.

Tabla 3.1.2 Capacidad de producción de biodiésel en cada planta.

Tabla 3.1.3: Posible demanda de biodiésel por refinería.

Tabla 3.2.1.1: Coste del terreno dependiendo de su tamaño.

Tabla 3.2.1.2: Costes fijos para una producción de 25.000 toneladas de biodiésel anuales.

Tabla 3.2.1.3: Costes fijos para una producción de 50.000 toneladas de biodiésel anuales.

Tabla 3.2.1.4: Costes fijos para una producción de 100.000 toneladas de biodiésel anuales.

Tabla 3.2.1.5: Costes fijos para una producción de 200.000 toneladas de biodiésel anuales.

Tabla 3.2.1.6: Costes fijos para una producción de 400.000 toneladas de biodiésel anuales.

Tabla 3.2.2.1: Coste personal para una producción de 25.000 toneladas de biodiésel anuales.

Tabla 3.2.2.2: Coste personal para una producción de 50.000 toneladas de biodiésel anuales.

Tabla 3.2.2.3: Coste personal para una producción de 100.000 toneladas de biodiésel anuales.

Tabla 3.2.2.4: Coste personal para una producción de 200.000 toneladas de biodiésel anuales.

Tabla 3.2.2.5: Coste personal para una producción de 400.000 toneladas de biodiésel anuales.

Tabla 3.2.2.6: Precio por tonelada de los aceites convencionales.

Tabla 3.2.2.7: Costes variables para una producción de 25.000 toneladas de biodiésel anual empleando aceite de colza.

Tabla 3.2.2.8: Costes variables para una producción de 50.000 toneladas de biodiésel anual empleando aceite de colza.

Tabla 3.2.2.9: Costes variables para una producción de 100.000 toneladas de biodiésel anual empleando aceite de colza.

Tabla 3.2.2.10: Costes variables para una producción de 200.000 toneladas de biodiésel anual empleando aceite de colza.

Tabla 3.2.2.11: Costes variables para una producción de 400.000 toneladas de biodiésel anual empleando aceite de colza

Tabla 3.2.2.12: Costes variables para una producción de 25.000 toneladas de biodiésel anual empleando aceite de girasol.

Tabla 3.2.2.13: Costes variables para una producción de 50.000 toneladas de biodiésel anual empleando aceite de girasol.

Tabla 3.2.2.14: Costes variables para una producción de 100.000 toneladas de biodiésel anual empleando aceite de girasol.

Tabla 3.2.2.15: Costes variables para una producción de 200.000 toneladas de biodiésel anual empleando aceite de girasol.

Tabla 3.2.2.16: Costes variables para una producción de 400.000 toneladas de biodiésel anual empleando aceite de girasol.

Tabla 3.2.2.17: Costes variables para una producción de 25.000 toneladas de biodiésel anual empleando aceite de palma.

Tabla 3.2.2.18: Costes variables para una producción de 50.000 toneladas de biodiésel anual empleando aceite de palma.

Tabla 3.2.2.19: Costes variables para una producción de 100.000 toneladas de biodiésel anual empleando aceite de palma.

Tabla 3.2.2.20: Costes variables para una producción de 200.000 toneladas de biodiésel anual empleando aceite de palma.

Tabla 3.2.2.21: Costes variables para una producción de 400.000 toneladas de biodiésel anual empleando aceite de palma.

Tabla 3.2.2.22: Costes variables para una producción de 25.000 toneladas de biodiésel anual empleando aceite de soja.

Tabla 3.2.2.23: Costes variables para una producción de 50.000 toneladas de biodiésel anual empleando aceite de soja.

Tabla 3.2.2.24: Costes variables para una producción de 100.000 toneladas de biodiésel anual empleando aceite de soja.

Tabla 3.2.2.25: Costes variables para una producción de 200.000 toneladas de biodiésel anual empleando aceite de soja.

Tabla 3.2.2.26: Costes variables para una producción de 400.000 toneladas de biodiésel anual empleando aceite de soja.

Tabla 3.2.2.27: Costes variables para una producción de 25.000 toneladas de biodiésel anual empleando aceite de maní.

Tabla 3.2.2.28: Costes variables para una producción de 50.000 toneladas de biodiésel anual empleando aceite de maní.

Tabla 3.2.2.29: Costes variables para una producción de 100.000 toneladas de biodiésel anual empleando aceite de maní.

Tabla 3.2.2.30: Costes variables para una producción de 200.000 toneladas de biodiésel anual empleando aceite de maní.

Tabla 3.2.2.31: Costes variables para una producción de 400.000 toneladas de biodiésel anual empleando aceite de maní.

Tabla 3.2.2.32: Coste de los servicios auxiliares para las distintas producciones anuales.

Tabla 3.2.2.33: Coste de revisión anual y repuestos para una producción de 25.000 toneladas de biodiésel anuales.

Tabla 3.2.2.34: Coste de revisión anual y repuestos para una producción de 50.000 toneladas de biodiésel anuales.

Tabla 3.2.2.35: Coste de revisión anual y repuestos para una producción de 100.000 toneladas de biodiésel anuales.

Tabla 3.2.2.36: Coste de revisión anual y repuestos para una producción de 200.000 toneladas de biodiésel anuales.

Tabla 3.2.2.37: Coste de revisión anual y repuestos para una producción de 400.000 toneladas de biodiésel anuales.

Tabla 3.2.2.38: Coste de transporte entre refinerías para una producción de 400.000 toneladas de biodiésel anuales y un transporte de 106.000 toneladas.

Tabla 3.2.2.39: Coste de los seguros para las distintas producciones anuales.

Tabla 3.2.2.40: Ingresos para una producción de 25.000 toneladas de biocombustible anuales.

Tabla 3.2.2.41: Ingresos para una producción de 50.000 toneladas de biocombustible anuales.

Tabla 3.2.2.42: Ingresos para una producción de 100.000 toneladas de biocombustible anuales.

Tabla 3.2.2.43: Ingresos para una producción de 200.000 toneladas de biocombustible anuales.

Tabla 3.2.2.44: Ingresos para una producción de 400.000 toneladas de biocombustible anuales.

Tabla 3.2.3.1: Balance anual de la producción de biodiésel con aceite de colza.

Tabla 3.2.3.2: Balance anual de la producción de biodiésel con aceite de girasol.

Tabla 3.2.3.3: Balance anual de la producción de biodiésel con aceite de palma.

Tabla 3.2.3.4: Balance anual de la producción de biodiésel con aceite de soja.

Tabla 3.2.3.5: Balance anual de la producción de biodiésel con aceite de maní.

Tabla 3.2.3.6: VAN para los distintos volúmenes de producción y tasas de descuento empleando aceite de colza.

Tabla 3.2.3.7: VAN para los distintos volúmenes de producción y tasas de descuento empleando aceite de colza.

Tabla 3.2.3.8: VAN para los distintos volúmenes de producción y tasas de descuento empleando aceite de colza.

Tabla 3.2.3.9: VAN para los distintos volúmenes de producción y tasas de descuento empleando aceite de colza.

Tabla 3.2.3.10: VAN para los distintos volúmenes de producción y tasas de descuento empleando aceite de colza.

Tabla 3.2.3.11: TIR para los distintos volúmenes de producción empleando aceite de colza.

Tabla 3.2.3.12: TIR para los distintos volúmenes de producción empleando aceite de girasol.

Tabla 3.2.3.13: TIR para los distintos volúmenes de producción empleando aceite de palma.

Tabla 3.2.3.14: TIR para los distintos volúmenes de producción empleando aceite de soja.

Tabla 3.2.3.15: TIR para los distintos volúmenes de producción empleando aceite de maní.

Tabla 3.2.3.16: Coste de transporte entre refinerías para una producción de 400.000 toneladas de biodiésel anuales.

Tabla 3.2.3.17: Balance de operación para una producción de 400.000 toneladas en el escenario 2.

Tabla 3.2.3.18: VAN para el aceite de colza en el escenario 2.

Tabla 3.2.3.19: VAN para el aceite de girasol en el escenario 2.

Tabla 3.2.3.20: VAN para el aceite de palma en el escenario 2.

Tabla 3.2.3.21: VAN para el aceite de soja en el escenario 2.

Tabla 3.2.3.22: VAN para el aceite de maní en el escenario 2.

Tabla 3.2.3.23: TIR para los distintos tipos de aceites para el escenario 2.

Tabla 3.2.3.24: Balance anual de la producción de biodiésel con aceite de colza para el escenario 4.

Tabla 3.2.3.25: Balance anual de la producción de biodiésel con aceite de girasol para el escenario 4.

Tabla 3.2.3.26: Balance anual de la producción de biodiésel con aceite de palma para el escenario 4.

Tabla 3.2.3.27: Balance anual de la producción de biodiésel con aceite de soja para el escenario 4.

Tabla 3.2.3.28: Balance anual de la producción de biodiésel con aceite de maní para el escenario 4.

Tabla 3.2.3.29: VAN para los distintos volúmenes de producción y tasas de descuento empleando aceite de colza para el escenario 4.

Tabla 3.2.3.30: VAN para los distintos volúmenes de producción y tasas de descuento empleando aceite de girasol para el escenario 4.

Tabla 3.2.3.31: VAN para los distintos volúmenes de producción y tasas de descuento empleando aceite de palma para el escenario 4.

Tabla 3.2.3.32: VAN para los distintos volúmenes de producción y tasas de descuento empleando aceite de soja para el escenario 4.

Tabla 3.2.3.33: VAN para los distintos volúmenes de producción y tasas de descuento empleando aceite de maní para el escenario 4.

Tabla 3.2.3.34: TIR para los distintos volúmenes de producción empleando aceite de colza palma en el escenario 4.

Tabla 3.2.3.35: TIR para los distintos volúmenes de producción empleando aceite de girasol palma en el escenario 4.

Tabla 3.2.3.36: TIR para los distintos volúmenes de producción empleando aceite de palma en el escenario 4.

Tabla 3.2.3.37: TIR para los distintos volúmenes de producción empleando aceite de soja en el escenario 4.

Tabla 3.2.3.38: TIR para los distintos volúmenes de producción empleando aceite de maní en el escenario 4.

Tabla 3.2.3.39: Balance de operación para una producción de 400.000 toneladas en el escenario 5.

Tabla 3.2.3.40: VAN para el aceite de colza en el escenario 5.

Tabla 3.2.3.41: VAN para el aceite de girasol en el escenario 5.

Tabla 3.2.3.42: VAN para el aceite de palma en el escenario 5.

Tabla 3.2.3.43: VAN para el aceite de soja en el escenario 5.

Tabla 3.2.3.44: VAN para el aceite de maní en el escenario 5.

Tabla 3.2.3.45: TIR para los distintos tipos de aceites para el escenario 5.

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Contexto energético.

La base de todas las áreas económicas de cualquier país es la energía; es empleada en todos los sectores, tanto en la agricultura, como en la industria y en los servicios. Actualmente, nos encontramos ante una crisis de modelo energético mundial que sitúa la obtención de ésta, de manera limpia y económica, como uno de los principales objetivos de los países desarrollados.

Encontramos que la mayor demanda que se ha dado de forma sostenida en los últimos años continuará elevándose. Este crecimiento viene dado por el aumento de la población mundial, que llegará a alcanzar los 9.200 millones de personas en 2040. A este crecimiento hay que añadir además que, debido a un aumento de la productividad mundial, se ha elevado a casi 2.000 millones de personas de la situación de pobreza, aumentando así su nivel de consumo energético. La aparición de una clase media grande y en expansión en los países en vías de desarrollo caracteriza fuertemente la economía y las tendencias económicas mundiales. Las economías en desarrollo representarán cerca del 80% de la expansión mundial, con China e India ocupando hasta la mitad de este crecimiento.

Esta necesidad de mayor cantidad de energía viene contrapuesta a la creciente urgencia de reducir los niveles de CO₂ que vienen asociados a la quema de combustibles fósiles. El uso de éstos representa a día de hoy, hasta un 70% de las fuentes de energía empleadas, habiéndose propuesto la Unión Europea, tras el acuerdo de París, que las energías renovables ocupen un cupo de al menos el 27% para 2030, así como una reducción del 40% de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI).

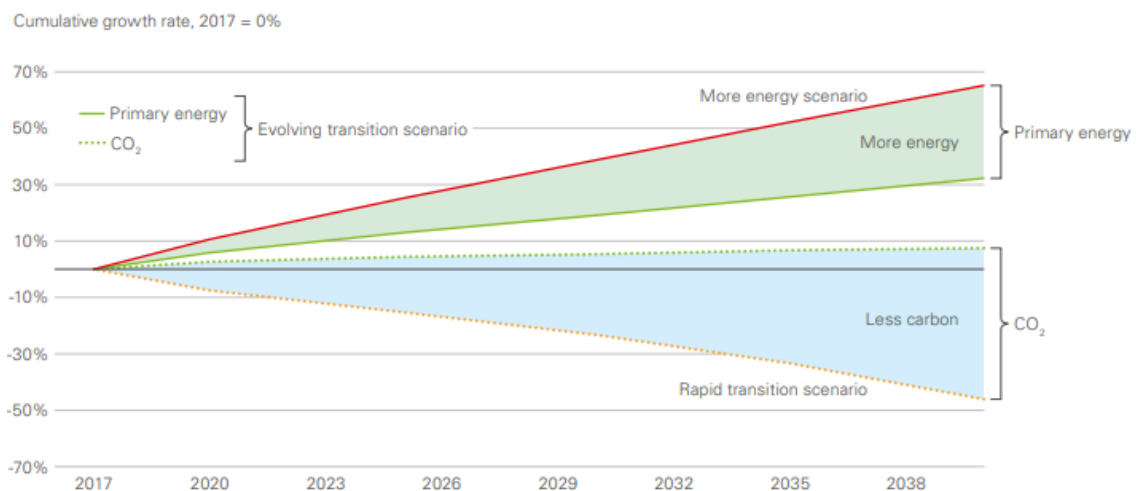


Figura 1.1 Demanda de energía primaria y emisiones de CO₂

Fuente: BP Energy Outlook 2019

Por su parte, la dependencia de las importaciones de energía primaria de la Unión Europea (UE) para satisfacer su demanda interna se ha visto acrecentada debido a la caída de la producción de fuentes como el petróleo crudo, el gas natural, o la energía nuclear. Desde el año 2013 las importaciones de energía superaron a las exportaciones, alcanzándose en 2016 un margen de casi 904 Megatoneladas equivalentes de petróleo (Mtep). El origen de esta energía obtenida ha variado a lo largo de los últimos años, manteniendo Rusia su posición de proveedor principal de petróleo, gas natural, crudo y combustibles sólidos. La garantía en el abastecimiento energético puede verse amenazada debido a la alta concentración de las importaciones en pocos socios comerciales, el 77,1% de las importaciones de gas natural en 2016 procedieron de Rusia, Argelia y Noruega, y el 68,2% de combustibles fósiles provenían de Rusia, Colombia y Australia.

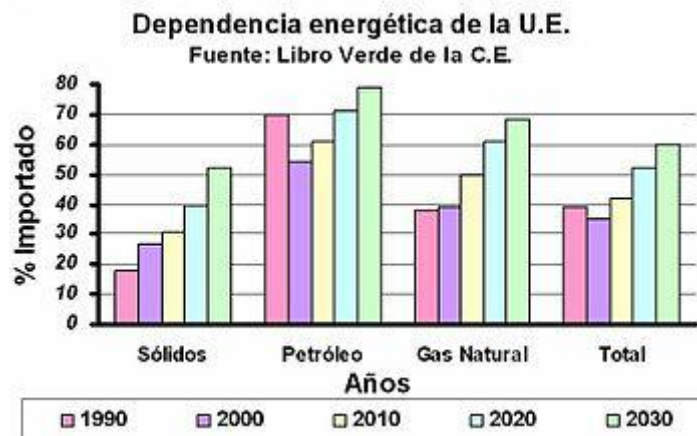


Figura 1.2: Dependencia energética de la UE

Fuente: Libro verde de la Comunidad Europea (2007)

Ante esta situación de subordinación energética y amenaza medioambiental, la Unión Europea está desarrollando diferentes estrategias energéticas, para impedir que los altos costes de la energía supongan un impedimento a la competitividad y que además sean sostenibles con el medio ambiente. La asociación de países presentaba su máximo consumo en los años 2005/2006 siendo este de 1825 Mtep; comenzando a disminuir hasta 2014 donde volvió a alzarse, llegando a los 1561 en 2017. Como objetivo la Directiva Relativa a la Eficiencia Energética Revisada (DEE) estableció reducir un 32,5% respecto al consumo en 2018, lo que equivaldría a consumir 1273 Mtep de energía primaria para 2030. Además, se implantó en el Pacto de París el objetivo del 20-20-20; en el cual se busca que para 2020 se obtenga el 20% de energías renovables, se consiga una mejora de la eficiencia energética del 20% y una reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero del 20% en relación con los niveles de 1990. Para lo cual la UE destina una gran cantidad de recursos a este proyecto ya que se trata de un sector estratégico que se encuentra en una situación delicada.

1.2 Situación de los biocombustibles.

Los biocombustibles o biocarburantes se corresponden según el artículo 2 de la ORDEN ITC /2877/2008 con aquellos combustibles líquidos o gaseosos generados a partir de biomasa ya sea para propósitos de transporte, generación eléctrica o calefacción. A su vez la biomasa puede definirse como todo material de origen biológico excluyendo aquellos que han sido englobados en formaciones geológicas, sufriendo un proceso de mineralización, o como la fracción biodegradable de los productos, desechos y residuos de origen biológico procedentes de actividades agrarias (incluyendo las sustancias de origen vegetal y animal), de la silvicultura y de las industrias conexas, incluidas a pesca, la agricultura, así como la fracción biodegradable de los residuos industriales y municipales. De cualquier manera, identificamos los biocombustibles como la posible alternativa que proteja al medio ambiente, si se produce de la forma adecuada, y que pueda sustituir a la gasolina y al gasóleo en la industria del transporte.

Dentro de los biocarburantes podremos diferenciar entre cuatro tipos principales atendiendo al desarrollo comercial; el bioetanol, el biodiésel, el hidrobiodiésel y el biogás, siendo los dos primeros los más empleados. El bioetanol es el alcohol etílico producido a partir de productos agrícolas o de origen vegetal, empleándose con una modificación o transformación química o sin ella. El biodiésel, cuya definición más extendida se dará posteriormente, es un éster metílico o etílico producido a partir de grasas de origen vegetal o animal. El hidrobiodiésel es un hidrocarburo resultante del tratamiento de aceites vegetales o grasas animales con hidrógeno, bien en unidades dedicadas a ello, o bien mediante técnicas de coprocesado en refinerías. Por último, el biogás es un gas combustible que se genera en medios naturales o en dispositivos específicos, por las reacciones de biodegradación de la materia orgánica en ausencia de oxígeno mediante la acción de microorganismos.

Encontramos en lo referente a la contaminación de los biocombustibles una gran controversia. Ésta viene ocasionada por el hecho de que algunos detractores argumentaban que, en la cultivación, donde se puede incurrir en una deforestación y acidificación del suelo, los biocarburantes producían más daño ambiental del que contrarrestan. Para esclarecer esto, investigadores del Instituto Federal Suizo de Ciencias Materiales y Tecnología investigaron 26 diferentes biocarburantes desde su producción hasta consumición, teniendo en cuenta los GEI y el impacto ambiental, donde incluyeron el daño a las personas y al medio ambiente. Como resultado obtuvieron que la mayoría, 21 de 26, redujeron las emisiones de GEI en comparación con los combustibles tradicionales; sin embargo, cerca de la mitad de ellos producían un impacto ambiental mayor. Los mejores biocarburantes resultarían ser aquellos provenientes de aceites reutilizados y los peores para el medio ambiente el biodiésel producido con soja brasileña o los bioetanoles realizados con patatas, centeno y soja.

1.3 Ventajas

Actualmente un gran número de países están apoyando la producción de este tipo de combustibles debido a las ventajas que ofrecen, entre las que se encuentran ser una posible alternativa para los combustibles fósiles, la seguridad en la manipulación o la gran biodegradabilidad que poseen.

Como se ha mencionado antes, pueden ser la respuesta a la dependencia de los combustibles fósiles, más aún en el sector automovilístico; sector, que emplea actualmente un 94% de petróleo. Esta dependencia podría llegar a ser reducida, a escala mundial, hasta un 85% en 2040, si continuamos con la tendencia actual. El empleo de biocombustibles que puede darse tanto de forma combinada con el gasóleo y la gasolina como en solitario; sin necesitar ningún tipo de ajuste los motores en el primer caso y con pequeñas variaciones en el segundo.

Otro elemento importante para el sector de la automoción es la mejora que proporcionan a la lubricidad de los motores, reduciendo el deterioro por el uso de los mismos, manteniendo a la vez propiedades similares en encendido, par del motor, rendimiento y consumo. Esta mejora es posible gracias al 11% de contenido en oxígeno y a no contener azufre.

Como añadido a este sector, la manipulación de los biocarburantes es más segura y fácil debido al alto punto de ignición (flash point) que tienen; como ejemplo destaca el biodiésel con una temperatura de 150° frente a los 60° del diésel tradicional.

Además, el empleo de éstos permitiría tanto aumentar el empleo en zonas rurales, donde deberían realizarse grandes plantaciones de donde obtener los aceites necesarios; como una disminución de manera indirecta de los GEI. Los biocombustibles además de generar menores cantidades de CO₂, al provenir de aceites vegetales en su mayoría provocan que, en su etapa de cultivo, grandes cantidades de dicho gas sean absorbidas.

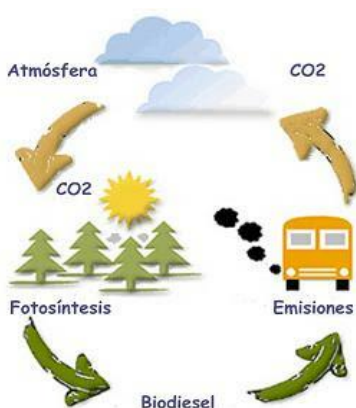


Figura 1.3: El ciclo del CO₂ en el biodiésel.

Como elemento favorable al medio ambiente también cabe recalcar la baja toxicidad de los biocarburantes y su alta biodegradabilidad. Tests realizados por la universidad de Idaho revelaron que la degradación del biodiésel en una solución acuosa fue del 95% después de 28 días, cuando para el mismo lapso de tiempo el gasoil se degradó el 40%. Así, la degradación del diésel puede ser modificada añadiendo pequeñas proporciones de biodiésel.

En la siguiente tabla se compara el porcentaje de degradación, en un periodo de 28 días, entre la carburantes tradicionales y biocombustibles.

Fuel sample	Degradation in 28 days, %
Gasoline (91 octane)	28
Heavy fuel (bunker C oil)	11
Refined rapeseed oil	78
Refined soybean oil	76
Rapeseed oil methyl ester	88
Sunflower seed oil methyl ester	90

Tabla 1.3: Comparación de degradación entre carburante tradicional y biocombustible.

En el marco legislativo también observamos cierta incentivación para incrementar la viabilidad de estos combustibles al ser una tecnología emergente. La UE impulso una exención fiscal sobre los mismos en algunos países como España desde 2006 hasta 2013, exigiendo además que los países miembros deben alcanzar para 2020 una cuota del 10% de energía procedente de fuentes renovables en los combustibles usados para el transporte. Esta situación ha propiciado que precios de los biocombustibles hayan llegado a niveles de combustibles fósiles o se hayan acercado mucho; en España se ha conseguido en comunidades como Andalucía en las que el diésel se encuentra a 1,152 €/l, el biodiésel alcance precios de 1,305 €/l

1.4 Inconvenientes

Los problemas técnicos de los biocombustibles, y en especial del biodiésel por ser el más empleado, se relacionan con el comportamiento deficiente a bajas temperaturas, la estabilidad a la oxidación, o la producción de GEI de forma indirecta.

Al contrario que a altas temperaturas el biodiésel presenta complicaciones en la manipulación a bajas temperaturas. Dado el alto contenido de alquilésteres saturados que poseen, alrededor del 50% en peso, a medida que la temperatura disminuye comienzan a formarse cristales, que, al crecer de tamaño, pueden llegar a formar aglomerados capaces de restringir los conductos y filtros que atraviesa el combustible. Añadido a este problema se encuentra la mayor viscosidad, que puede provocar problemas de pérdidas de flujo a través de los filtros e inyectores.

Asimismo, encontraremos obstáculos en aquellos biocarburantes, que provengan de un aceite con alta concentración de ácido linolénico o de ácidos insaturados, pues serán propensos a presentar problemas de estabilidad a la oxidación. Esta situación se puede agravar dependiendo de condiciones como el almacenamiento, la exposición al aire o la luz, las altas temperaturas o la presencia de sustancias que ocasionasen un efecto catalítico en la oxidación.

Es necesario, sin embargo, tener un control sobre el crecimiento en número de las plantaciones ya que dependiendo de la situación pueden producirse efectos adversos a los deseados. Un ejemplo de esto sería un aumento en las emisiones debido al cambio del uso del suelo, pudiendo ser directo o indirecto. El cambio directo, se produce cuando tierras forestales se convierten en tierras agrícolas con una pérdida del carbono almacenado, mientras que el indirecto sucede cuando se necesitan emplear nuevos campos para garantizar el suministro de alimentos, como compensación del uso de cultivos alimentarios para la producción de biocarburantes.

1.5 Mercados mundial y europeo

1.5.1 Marco mundial

Nos encontramos ante una situación en la que algunos eventos geopolíticos pueden desencadenar tensiones en materias primas clave para el mercado de los biocarburantes.

Por un lado, el mercado del petróleo está en cambio, habiéndose comprometido la Organización de Países Exportadores de Petróleo (OPEC, por sus siglas en inglés) a reducir la producción, además de entrar en vigor las sanciones por parte de Estados Unidos contra Irán. Por todo ello el precio del gasóleo se espera que continúe subiendo respecto al valor final de 2018.

Por otro lado, a la vez que ocurre lo anterior, la guerra comercial entre Estados Unidos y China comenzada en marzo de 2018 continúa, lo que provoca que se espere que los precios sobre los productos básicos agrícolas disminuyan. Ante la dificultad de venta de algunos productos que de forma tradicional se importaban, como la de soja por parte de China, se prevé que los precios de estos productos, empleables para producir biocarburantes, baje.

Además, las negociaciones respecto al Brexit siguen en marcha, y en las elecciones europeas se ha observado un auge de los partidos verdes, habiéndose propuesto la nueva presidenta de la Comisión Europea como una de sus prioridades el cambio climático; todo ello promueve una alta incertidumbre acerca de la relación euro-dólar americano.

Los mayores exportadores de biodiésel se espera que pasen además a ser grandes compradores, como respuesta a los grandes proteccionismos que se están desarrollando por parte de la Unión Europea y Estados Unidos. Mediante legislación, se pretende establecer porcentajes mínimos de biodiésel por cada litro de diésel; así Malasia y Brasil pretenden alcanzar un 10% y Argentina e Indonesia un 20% para 2020 mientras que India pretende comercializar con un 5% para 2030.

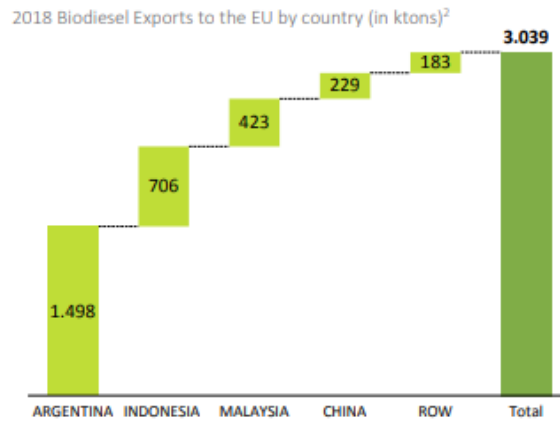


Figura 1.5.1: Gráfico sobre los principales exportadores de biodiésel a la UE

Fuente: EUROSTAT

Pese a que el suministro global puede verse amenazado por el autoconsumo de los grandes países exportadores, las dificultades en relación a los retrasos y a el aprovisionamiento local se suavizarían.

1.5.2 Marco europeo

En relación a Europa, en 2018 se aprobó la directiva de energías renovables, que establece algunos parámetros que deben respetar los países integrantes durante los próximos diez años. Mediante las obligaciones a los proveedores, las energías renovables en transportes llegarán al menos a un 14% antes de 2030. Adicionalmente, los biocarburos convencionales, aquellos realizados con materia prima alimenticia, se limitarán a un 7% como mínimo en toda la Unión Europea, estableciendo límites adicionales a los estados miembros que se sitúen por debajo de ese porcentaje. Finalmente dicta también que la contabilización de biocarburos con un alto riesgo de producir una alteración indirecta del uso de la tierra, se quedará en los niveles de 2019 y se irá disminuyendo entre 2023 y 2030.

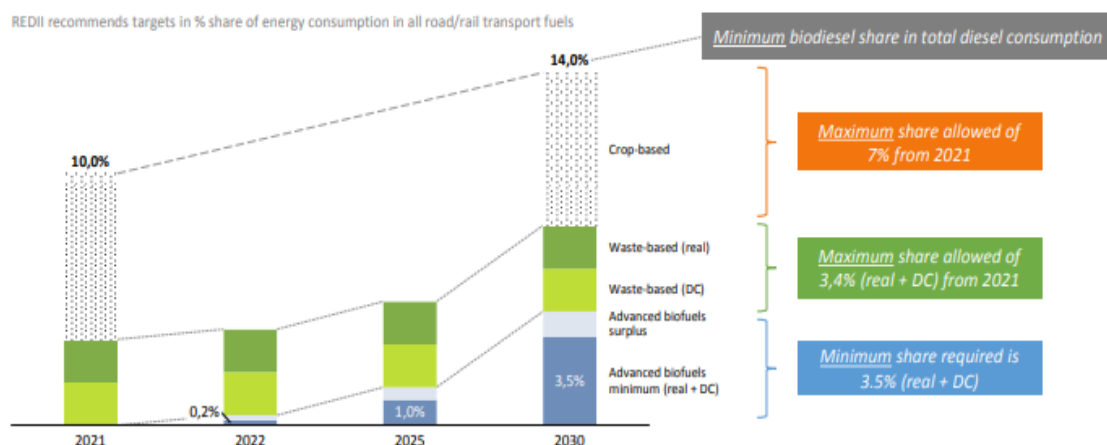


Figura 1.5.2: Límites establecidos por la Unión Europea

Desde el punto de vista de la producción de colza, y por tanto de su aceite empleado en la generación de biodiésel, se espera que disminuya pues el área plantada es un 27% inferior a años anteriores. Por otro lado, una bajada en el nivel del Rin imposibilitó, en el último cuatrimestre de 2018, la salida de la materia prima de las instalaciones de producción, con lo que no pudieron llegar a ser transformados. Mas allá de esta cuestión, debido a la sequedad del clima durante la temporada de siembra, la producción se ha visto fuertemente afectada. Si las importaciones no continúan creciendo en 2019 los productores locales no tendrán suficiente materia prima para cubrir la demanda.

Las importaciones, tanto del biodiésel como del bioetanol, producidas con aceite de palma se espera que mengüen a finales de 2019 debido a la legislación de Francia y Noruega que las prohibirá desde el principio de 2020, debido a los problemas medioambientales que genera. A pesar de tratarse de un biodiésel competitivo, muy abundante y barato, la Unión Europea está restringiendo su uso, así como investigando medidas contra el biodiésel indonesio, cuyos efectos se reflejarán a partir del tercer cuatrimestre de 2019.

Por el contrario, el biodiésel de soja aumentará su presencia en Europa mientras la Unión Europea no restrinja las importaciones. En los últimos años ha habido un constante enfrentamiento entre la Unión Europea y Argentina acerca de sus exportaciones, llegando a establecer la primera derechos antidumping en 2013; sin embargo, a principios de 2019 se alcanzaron acuerdos sobre los volúmenes y los precios de las exportaciones del país sudamericano. A esta polémica debe unirse que además ciertos países han retirado la necesidad de que el biodiésel consumido para hacer diésel sea producto nacional, lo que provoca un aumento importante de las importaciones, provocando que muchas plantas se hayan visto obligadas a bajar su producción o a cesar su funcionamiento.

Además, observamos que el biodiésel encuentra una gran oposición por parte de ciertos sectores, que recriminan el uso de aceites con posibles usos alimenticios para la producción de un combustible. Debido a esta corriente de pensamiento, se prevé que el biodiésel de aceites usados vea un incremento en su producción, siendo este aceite inútil para la producción una vez empleado. Varios países, mediante decretos y legislación, están impulsando el crecimiento de este sector; entre estos países se encuentran Holanda, Reino Unido, España y Francia.

2. BIODIÉSEL

2.1 Aspectos generales

Como se ha mencionado anteriormente, el biocombustible líquido más desarrollado y empleado en la actualidad se trata del biodiésel. Concretamente, durante el año 2018 de todos los biocombustibles líquidos empleados en la Unión Europea, el biodiésel tuvo una repercusión del 75%, seguido de lejos por el bioetanol, que representó un 18% de los empleados, el 7% restante fue repartido entre el resto de los biocarburantes.

Según la Asociación Internacional de Normativa de Calidad (ASTM), se puede definir el biodiésel como un compuesto de ésteres monoalquílicos de ácidos grasos de cadena larga derivados de aceites vegetales o grasas animales para su uso en motores por compresión (motores Diesel). El término biodiésel se refiere al combustible puro, comúnmente denominado B100, pudiendo ser empleado en estado puro, pero usado con mayor frecuencia como aditivo para el combustible diésel convencional. El empleo del recurso puro es menos usual debido a que, como indicamos con anterioridad en el apartado de biocombustibles, sería necesaria aplicar una ligera modificación de determinadas piezas del motor.

2.2 Procesos de producción

El método más empleado en la actualidad para la producción de biodiésel se trata de la reacción de transesterificación (alcoholólisis) de aceites y grasas con alcoholes de bajo peso molecular y cadena corta, en presencia de un catalizador que acelere el proceso. La reacción consiste en el cambio del alcohol de la estructura triglicérida mediante la incorporación de otro alcohol de cadena corta. Con este desplazamiento se provoca la separación de las tres moléculas de ácidos grasos, quedando así como ésteres metílicos o etílicos, dependiendo del alcohol empleado.

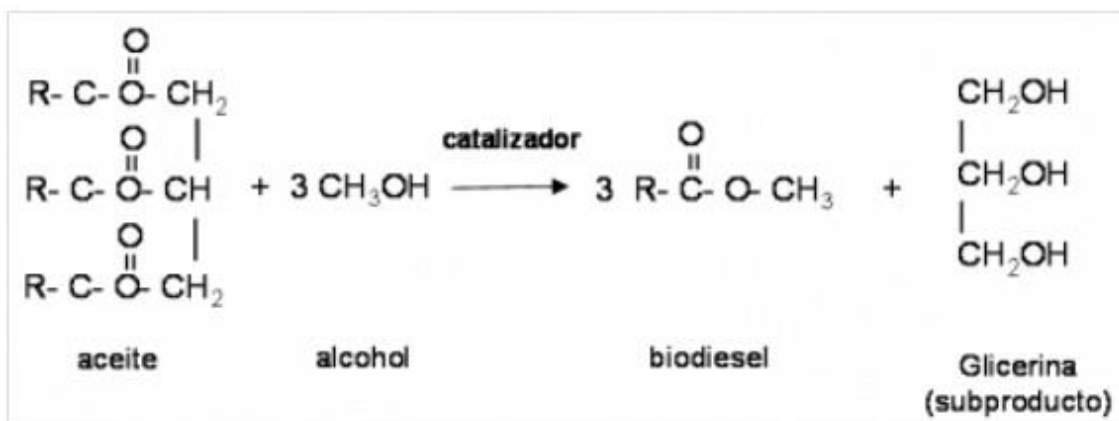


Figura 2.2: Reacción de transesterificación de un triglicérido con metanol.

La figura anterior muestra el proceso global de formación del biodiésel y la glicerina como subproducto. Sin embargo, esta reacción tiene lugar mediante el desarrollo de tres reacciones reversibles en serie respecto al aceite y en paralelo respecto al alcohol. En la siguiente imagen podemos observar el proceso de manera esquemática paso a paso.

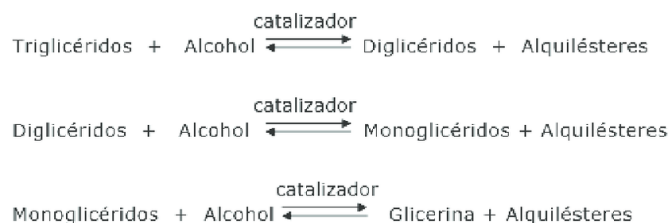


Figura 2.2.2: Proceso paso a paso de transesterificación.

Dado que la transesterificación se trata de una reacción reversible, y queremos que se produzca todo el biodiésel de la manera más rápida, en la práctica se emplea un exceso de alcohol, de 6 a 1, para mover el equilibrio de la reacción hacia la producción de los ésteres.

2.3 Materias primas

Podemos encontrar una gran variedad de materias primas en el mercado de producción de biodiésel. El principal requisito que debe cumplir cualquier candidato a ser materia prima es alcanzar un elevado número de triglicéridos. Así, entrarían dentro de esta clasificación todo origen de triglicéridos animal o vegetal, incluyendo aquellos aceites de fritura ya usados.

Para el biodiésel la elección de una materia prima determinada es de enorme importancia, pues de ello dependerá el proceso de producción que tendrá lugar y representa un elevado porcentaje del coste final de producción del combustible. La composición y el contenido de ésteres de ácidos grasos tendrán una gran influencia en la calidad y el desempeño del biodiésel como combustible. El perfil de los ácidos grasos del vegetal de origen se mantiene en los ésteres formados durante la transesterificación con el alcohol. Las principales propiedades que pueden influir en la elección de una materia prima u otra serán la estabilidad oxidativa, las propiedades a bajas temperaturas, el número de cetano y la viscosidad.

La estabilidad oxidativa se refiere a la resistencia relativa a los cambios físico y químicos producidos por la interacción con el ambiente durante el almacenamiento de un combustible líquido. Este factor es crucial por tanto en almacenamientos muy prolongados donde la calidad del biodiésel puede verse influida por parámetros como la luz, el aire, la humedad, o los microorganismos presentes entre otros. La composición de ésteres y ácidos grasos, la presencia de insaturaciones o el tamaño de las cadenas afectan directamente a la estabilidad oxidativa, siendo los ácidos di y trisaturados los que poseen mayor susceptibilidad para la oxidación por contener sitios preferenciales para la reacción de oxidación.

Uno de los grandes inconvenientes del biodiésel como indicamos anteriormente es su empleo a bajas temperaturas donde tiene escasa resistencia, como puede ser indicado con parámetros tales como el punto de nube, el punto de fluidez, y el punto de obstrucción del filtro a baja temperatura. Cuando la temperatura es baja en relación al punto correcto de empleo, ocurre la formación de núcleos de cristales de cera sólidos, estos núcleos comienzan a crecer en tamaño llegando a tener un diámetro mayor de 0,5 mm al alcanzar el punto de nube, conocido con este nombre por la formación de una suspensión turbia que se produce. Una vez alcanzado este punto los sólidos y cristales crecen rápidamente bloqueando los filtros y las líneas de combustible, ocasionando problemas operacionales. Los compuestos grasos insaturados tendrán puntos de fusión más bajos que los compuestos saturados. Por ello, el biodiésel producido con una base de grasas y aceites vegetales con cantidades importantes de grasas insaturadas tendrán valores más bajos para los puntos de nube, fluidez, contrariamente a su estabilidad oxidativa que como hemos indicado anteriormente será menor.

El índice o número de cetano (NC) se trata del principal indicador de la calidad de los motores diésel y un indicador de la calidad de la ignición, teniendo una relación inversa con el tiempo de retardo de la ignición. La escala empleada en este índice es análoga a la utilizada en el octanaje de la gasolina. Esta escala muestra el nivel de la resistencia a la detonación del combustible. Como referencias primarias para el combustible se emplean el hexadecano ($C_{16}H_{34}$) y el 2,2,4,4,6,8,8-heptametilnonano ($C_{16}H_{34}$). El primero como límite superior al tratarse de una cadena hidrocarburada, larga y no ramificada, asignándole un valor de NC de 100 y el segundo como el inferior, pues pese a tener la misma composición de hidrocarburos, es altamente ramificado y tiene una pobre calidad de ignición, por lo que se le atribuye un valor de NC de 15.

Por último, la viscosidad es la medida de la resistencia al flujo de líquido debido a la fricción interna, lo cual afecta a la atomización en la inyección de combustible en la cámara de combustión y está asociado a la formación de depósitos perjudiciales en el motor. Esta propiedad aumenta con la longitud de la cadena y con mayor grado de insaturación. Factores como la configuración del doble enlace también influyen, la configuración cis del doble enlace es menos viscosa que la trans, mientras que la viscosidad no se ve afectada por la posición que ocupan los enlaces dobles.

En la tabla que se presenta a continuación podemos observar como ejemplo las propiedades físicas de las principales materias primas empleadas en la producción de biodiésel.

	Soja	Palma	Girasol	Colza	Jatropha	Maní	Algodón	Ricino
Índice de cetano	49	57.3	50	55	50	53	52	42
Viscosidad cinemática(40°C-mm ² /s)	4.2	4.71	4.2	4.4	4.4	4.6	6	13.75
Punto de nube(°C)	-0.5	16	7.21	-3	4	0	-2	-6
Punto de fluidez(°C)	-4	-	-151	-9	-5	-88	-4	-30
Estabilidad oxidativa (h)	3.87	11	1.73	2	3.23	2	0.17	6
Punto de obstrucción del filtro frío (°C)	-5	12	-3	-10	-	17	-	1

Tabla 2.2: Propiedades físicas y químicas de las principales materias primas utilizadas en la producción de biodiésel

Las materias primas en la actualidad pueden ser clasificadas en aceites vegetales convencionales, aceites vegetales alternativos, de fritura usados, aceites de microalgas y aceites de grasas animales.

2.3.1 Aceites vegetales convencionales

En la actualidad se han identificado más de 350 cultivos de aceite susceptibles de ser empleados como materia prima para el biodiésel, sin embargo, de entre todos ellos solo los aceites de girasol, palma, soja, colza y de maní pueden considerarse adecuados. El biodiésel producido empleando estos aceites toma el nombre de biodiésel de primera generación, siendo éstos aquellos elaborados mediante cultivos agrícolas destinados a la alimentación humana.

La principal virtud de los aceites tradicionales es que la infraestructura y las plantaciones están ya desarrolladas en la mayoría de los países productores, haciendo que su elaboración sea mas sencilla. No obstante, el uso de estos aceites está rodeado de cierta polémica debido a que supone una competencia con el mercado alimenticio, pudiendo llegar a una disminución de los mismos y un consecuente aumento de precios.

2.3.2 Aceites vegetales alternativos

Los problemas mencionados con los aceites convencionales han llevado a la búsqueda de unos aceites alternativos como los de la jatropha, el ricino o el algodón. Estos productos no son usados en la industria de la alimentación y se suelen caracterizar por los altos rendimientos, siendo los dos primeros los más ampliamente usados.

Además del elevado rendimiento en estos aceites se busca que puedan ser cultivados y desarrollados en ambientes extremos de temperatura y humedad. A este tipo de biodiésel se le conoce como de segunda generación, ya que no solo no precisan de unas condiciones climáticas determinadas, sino que, pueden cultivarse en tierras marginales.

2.3.3 Aceites de fritura usados

Los aceites de fritura representan un gran peligro para el medio ambiente, sobre todo aquellos empleados en viviendas particulares, ya que una vez se ha empleado suele acabar siendo desechado con residuos acuosos. Cuando esto ocurre en los canales de tratamiento se origina una alta carga orgánica y se añade una dificultad en el proceso de depuración del agua. Por evitar este impacto ambiental el aceite debe ser tratado o eliminado, siendo la generación de biodiésel una posible solución. Esta alternativa permite la generación de biocombustible a un bajo precio y a su vez el tratamiento como residuo.

En relación a la producción de este tipo de aceites, en países como Francia o España, donde el uso del aceite de girasol y oliva está muy extendido se consumen enormes cantidades. En el país español se consume alrededor de un millón de toneladas de estos aceites, los cuales poseen un bajo nivel de reutilización una vez ha acabado su vida útil, esto los convierte en unos buenos candidatos para su transformación. A escala mundial, solo en Estados Unidos se generan en un año mil millones de toneladas provenientes de los restaurantes y establecimientos de comida rápida.

2.3.4 Aceites de microalgas

El interés en las microalgas para la producción de biodiésel se debe a su alto contenido de lípidos en algunas especies y al hecho de que la síntesis de éstos, especialmente de triglicéridos no polares, que son el mejor sustrato para la producción de biodiésel, pueden ser manipulada por cambios de las condiciones de cultivo.

Además, las microalgas tienen algunas ventajas sobre otras materias primas disponibles, entre las que destacan la alta tasa de crecimiento, duplicando su biomasa aproximadamente cada 24 horas; periodos de cosecha muy cortos, lo que permite cosechas continuas o múltiples; poseen potencial para producir mayor cantidad de biomasa y de aceite que cualquier planta oleaginosa; fácil cultivo y no precisan de luz solar ni algunos nutrientes, pudiendo ser cultivadas así donde otros cultivos serían inviables, además son capaces de utilizar los nutrientes de aguas residuales en su crecimiento; pueden de fijar grandes cantidades de CO₂, lo que permitiría acoplar su producción a una corriente de gases de combustión industrial reducir así el efecto invernadero; y por último la biomasa residual que queda tras la extracción de los lípidos tienen aplicación en las industrias alimenticias, farmacéuticas o agropecuarias.

2.3.5 Aceites de grasas animales

Las grasas animales que provienen de los desechos animales, más abundantes que los aceites de fritura, son potenciales materias primas. Estas grasas solían emplearse como alimento para animales, pero esta práctica perdió fuerza enormemente al relacionarse con enfermedades animales. El uso de grasas animales para la producción de biodiésel es una buena alternativa para reciclar estos desechos, empleándose en ello grasas de animales como el cerdo la ternera o el pollo. Sin embargo, pese a la gran cantidad de residuos que se producen éstas poseen una enorme proporción de ácidos sin grasas. Este hecho provoca grandes problemas a la hora de producir el biodiésel pues reacciona con la base catalizadora generando jabones, incrementando los costes.

2.4 Reactivos y subproductos

En la reacción de transesterificación como materias iniciales solo son necesarias el alcohol, los triglicéridos y un catalizador. Habiendo descrito en el apartado anterior las posibles fuentes de triglicéridos pasamos a describir los tipos de alcoholes y catalizadores que se suelen emplear.

Los alcoholes empleados en la reacción deben ser de cadena corta como el butanol, etanol, propanos o metanol. De entre ellos de manera tradicional se suelen seleccionar el metanol y el etanol, en especial el primero por ser más económico y tener mejores propiedades químicas como la mayor polaridad o menor longitud de cadena. Se ha demostrado que el metanol provoca una velocidad de reacción mayor, así como que permite disolver los catalizadores homogéneos básicos, los cuales son muy empleados y mostraremos a continuación.

La cinética de la transesterificación puede verse aumentada a partir de elevar la temperatura del medio de reacción, por esta razón suele darse la reacción a una temperatura cercana a la de ebullición del alcohol. A pesar de esta ayuda, la velocidad de reacción es todavía demasiado baja como para que el proceso sea rentable, por ello debe emplearse un catalizador que acelere el proceso.

Dependiendo del tipo de catalizador tendremos un tipo de transesterificación u otra. Podemos encontrar homogéneos, enzimáticos y heterogéneos.

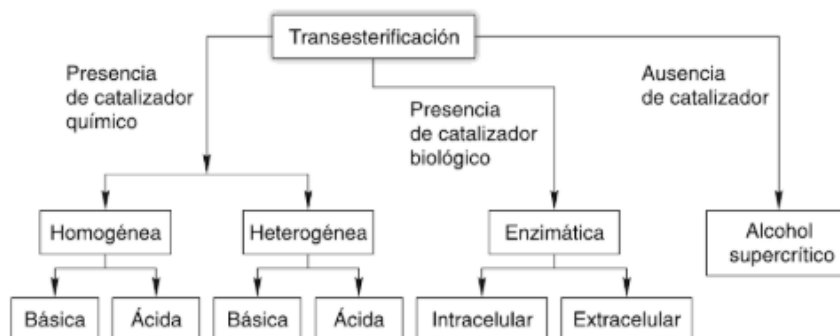


Figura 2.4: Tecnologías para la producción del biodiésel

2.4.1 Catalizadores homogéneos

Los catalizadores homogéneos son aquellos que son solubles en los alcoholes empleados en la transesterificación. Es decir, son aquellos que están en la misma fase que los reactivos. Podemos distinguir entre los catalizadores básicos y ácidos.

Los básicos suelen ser sustancias que, como indican su nombre, tienen un comportamiento básico fuerte; los más empleados de este tipo suelen ser los hidróxidos, los carbonatos y los alcóxidos de sodio y potasio. Cuando cualquiera de éstos se mezcla con el alcohol se forma el verdadero catalizador, el grupo alcóxido.

En la industria éstos son los más empleados, concretamente los hidróxidos de sodio y potasio por su bajo coste. Cuando se usan este tipo de catalizadores, la reacción se da en poco tiempo y en condiciones de temperatura y presión moderadas. Además de esta ventaja, son menos corrosivos que los ácidos, para alcanzar mayores rendimientos se necesita menor cantidad de catalizador, y el exceso de alcohol requerido es inferior al necesario en otros tipos de catálisis.

A pesar de estas ventajas, también encontramos algunos inconvenientes o restricciones. La separación del catalizador de los productos finales es complicada, teniendo también como resultado la generación de aguas residuales que deben ser tratadas. Otro inconveniente presente en este tipo es que se necesita que la materia prima empleada contenga un bajo nivel de ácidos grasos libres, pues éstos al unirse al catalizador forman jabones lo cual puede provocar la pérdida de productos impidiendo la separación entre la glicerina y el biodiésel.

Al contrario que en lo anterior, los catalizadores ácidos presentan un comportamiento marcadamente ácido. El catalizador ácido más empleado es el ácido sulfúrico, pero también se usan otros ácidos inorgánicos como el clorhídrico, fosfórico u otros ácidos orgánicos como el sulfónico.

Los catalizadores ácidos se caracterizan por altos rendimientos, pero una baja velocidad de reacción, por ello deben emplearse grandes cantidades de catalizador y que en proporción el ácido sea mucho mayor que el aceite. Al contrario que en los básicos este tipo de catalizador puede utilizarse con aquellas materias primas que contengan alto niveles de ácidos grasos libres ya que son capaces de catalizar dos reacciones simultáneamente, la transesterificación de los triglicéridos y la esterificación de los ácidos grasos libres. La esterificación se basa en la reacción entre el catalizador y el ácido para la formación de un éster alquilo y agua, lo que impide la formación de jabones y la pérdida de rendimiento.

2.4.2 Catalizadores heterogéneos

Este tipo de catalizadores surgió ante los problemas que ofrecían los catalizadores homogéneos. Gracias a la división que se produce entre producto final y catalizador, éstos pueden ser reutilizados. Esto permite que el lavado sea eliminado del proceso de producción, eliminando así un componente líquido que sería necesario de tratar; precisa aun así un filtrado para separar al catalizador.

Como inconvenientes tenemos su precio, su compleja elaboración y las condiciones más extremas, desde mayor temperatura o presión, a mayor exceso de alcohol. Además, hay que tener en cuenta que algunos catalizadores heterogéneos pueden ser solubles en la mezcla de la reacción dando lugar a especies en el producto como metales que dañan el resultado final.

2.4.3 Catalizadores enzimáticos

Los catalizadores enzimáticos están siendo a día de hoy investigados todavía, presentando un alto nivel de eficiencia. Al igual que los catalizadores heterogéneos pueden ser reutilizados, siendo capaces de convertir los ácidos grasos libres en ésteres. Presentan además la característica de no verse inhibidos por la presencia de agua y poder separar la fase enriquecida en glicerina de manera fácil.

Tiene sin embargo como defectos que precisa de altos tiempos de reacción, un elevado coste y que la purificación de los productos es compleja.

2.4.4 Subproductos

El principal subproducto del proceso del biodiésel es la glicerina. Los otros subproductos que encontraremos tras la producción de biodiésel serán el agua con jabón y ácidos grasos libres y el excedente de alcohol.

La glicerina es la cadena de 3 alcoholes más simples. Aparece cuando los triglicéridos de los aceites vegetales se rompen en ácidos grasos libres y la molécula de la glicerina. Los ácidos reaccionan con el metanol para formar el biodiésel. La glicerina es un líquido muy viscoso y de densidad alta. La cantidad de glicerina que se forma en la reacción viene dada por la cantidad del éster que se forma en el proceso, suponiendo generalmente un 10% de la cantidad empleada.

En lo referente a su separación del producto, dada la diferencia de densidades, la glicerina siempre va a querer situarse por encima del biodiésel; gracias a esto, el separado se puede realizar fácilmente drenando por la parte inferior del tanque tras la sedimentación. Una alternativa al drenaje empleada en los procesos continuos es la separación por centrifugación.

Sin embargo, el subproducto normalmente se extrae parcialmente diluido con agua y mezclado con mono y diglicéridos, jabones, alcohol, agua y catalizador. Además, parte es perdido cuando se mezcla con las aguas residuales, y siempre el éster va a conservar una mínima proporción.

En muchos casos, las plantas transformadoras realizan una purificación y en algunos casos una refinación para poder cumplir las rígidas especificaciones impuestas para su uso, tanto como alimento, como envase de alimentos, productos farmacéuticos o cosméticos. El proceso consiste en una destilación seguida de un tratamiento a través de carbón activo.

La glicerina pura anhidra tiene una densidad de 1.261 g/cm^3 , un punto de fusión de 18.2°C y de ebullición de 290°C . Es una sustancia estable en las condiciones normales de almacenamiento y compatible con muchos productos químicos, además de ser soluble en agua y alcoholes, parcialmente soluble en disolventes comunes e insoluble en hidrocarburos. Debido a estas propiedades y su flexibilidad y las propiedades higroscópicas poseen un alto valor económico.

Pese a sus buenas propiedades fisicoquímicas, a partir del año 2005, donde comenzó el biodiésel a ser una fuente importante de la energía consumida de manera mundial, su precio disminuyó considerablemente. A partir de esta bajada, determinadas industrias desarrollaron procesos donde se involucraba a esta como un agente importante.

El segundo subproducto generado en la transesterificación es el jabón. El jabón puede producirse por la saponificación de las grasas o con los ácidos grasos libres contenidos en la glicerina y una base, como puede ser el catalizador en algunos casos. Este subproducto tiene varias aplicaciones, como la de desengrasante industrial, fertilizante, abono o la producción de jabón ya sea líquido, sólido o en polvos. Antes de poder emplearlo hay que realizarle una destilación completa, más aún si se ha empleado etanol como el alcohol en la reacción, ya que éste es altamente tóxico y posee un punto de inflamabilidad muy bajo siendo un combustible, lo que lo hace ser susceptible de ser inhalado.

2.5 Procesos industriales

2.5.1 Extracción del aceite

El primer paso que hay que realizar antes de la producción de biodiésel será la extracción del aceite. Podemos diferenciar dos tipos de extracción, la mecánica y la química. Previamente a extraer el aceite de cualquiera de estas formas deberemos limpiar, trocear y moler nuestra materia prima.

Para la extracción en frío o mecánica, las semillas se homogeneizan en un acondicionador, tras esto se procede a un prensado de tornillo a elevadas presiones. Se realiza de un solo paso la separación entre el aceite y las tortas proteínicas en el caso de los aceites vegetales. El aceite útil comercial es limpiado de impurezas gracias a un tamizado vibratorio. Gracias al sistema de vibraciones no es necesario parar para limpiar el tamiz, ya que las impurezas no se pegarán a la superficie del tamiz. Finalmente, el aceite es abrillantado y limpiado otra vez en el filtro, obteniendo como producto final un aceite crudo filtrado.

La torta proteínica separada en la prensa será descargada en un tornillo sin fin que alimenta unos rodillos trituradores. Esta torta puede ser desgrasada aún más en una planta de extracción por disolventes. Además, los residuos pueden ser empleados como alimento para la industria ganadera o si pasa por unos determinados procedimientos incluso para la alimentación humana, otra alternativa es emplearla como combustible.

Este proceso suele proporcionar un aceite de mayor calidad para el empleo en procesos de obtención de biocombustibles.

En la extracción química o por disolventes una vez las semillas han sido limpiadas, descascarilladas y trituradas se homogeneiza con un rodillo, pasando posteriormente a un molino, con lo que se divide finamente, permitiendo una mejor extracción. Una vez realizado esto, un disolvente de las materias grasas arrastra a éstas, siendo separadas posteriormente a altas temperaturas en el evaporador a la vez que se recupera el disolvente y vuelve al extractor.

Las tortas proteínicas obtenidas por el sistema anterior pueden tener alrededor de un 11 y 15%, pudiendo reducirse con este proceso hasta un 2 o 4%.

Este tipo de extracción se suele emplear cuando se tratan de grandes volúmenes de producción debido a su elevado coste y a la complejidad de trabajar con el disolvente.

2.5.2 Refinado del aceite

Después de la extracción el aceite debe ser refinado para poder cumplir las exigencias impuestas por la producción de biodiésel. Se perseguirá por tanto que el refino proporcione las características necesarias para las aplicaciones que se le vaya a dar. En nuestro caso se pretende eliminar constituyentes menores que no se estén empleando, como ácidos grasos libres, intentando conseguir siempre el mínimo deterioro posible del aceite y sus constituyentes deseados.

Los procesos más empleados para el refino son el desgomado, la neutralización, el blanqueado y la desodorización.

Desgomado

En el desgomado se pretende eliminar algunas sustancias sólidas que enturbian el aceite, como podrían ser fofátidos, proteínas o resinas. El método más empleado es la coagulación, empleando ácido fosfórico o cítrico a unas temperaturas entre 65 y 75 °C. Estas temperaturas son importantes puesto que, si se hace por debajo del límite inferior, la viscosidad será demasiado alta, mientras que, si sobrepasamos el límite inferior, se favorece que se solubilizan las gomas que pretendemos eliminar. Una vez realizado esto se lava con agua hasta la alcanzar una neutralidad.

Neutralización

La neutralización, también conocida como desacidificación, se encarga de la extracción los responsables de la acidez del aceite, los ácidos grasos libres. Este proceso neutraliza los ácidos grasos libres en el aceite con soda cáustica, lo que produce la conversión de los ácidos en jabones, que se eliminan fácilmente mediante un proceso de decantación o por la fuerza centrífuga. Además, se reducen los monoacilglicéridos y fosfátidos que puedan quedar en el aceite tras el desgomado.

Uno de los principales rasgos de este paso es su adaptabilidad a la calidad del aceite, procurando una pérdida mínima de aceite.

La neutralización puede realizarse en dos modalidades, tanto por cargas como en proceso continuo.

Cuando se realiza en calderas por cargas se añade una solución de la sosa de entre un 12 y un 15% del aceite. La lejía se añade lentamente en la caldera, que contiene un agitador y una calefacción, y se forma una emulsión en el aceite. Esta emulsión se unirá a medida que aumente la temperatura y pasa a los decantadores donde se separa el aceite y el jabón. En este proceso encontraremos pérdidas por saponificación, ya que encontraremos jabones residuales en los aceites, que necesitarán de un lavado posterior.

En el caso de la neutralización continua el aceite pasa a un reactor de neutralización donde, con alcohol y NaOH, se agita. Una vez agitado, se pasa a un decantador donde recuperar el aceite separando las fases.

Cuando el porcentaje de aceites grasos libres supera el 12% la neutralización es difícil ya que la pasta que se forma de las emulsiones es muy difícil de separar y aumentan las pérdidas considerablemente.

Blanqueamiento

El blanqueamiento es el proceso previo a la desodorización. Con este proceso se busca mejorar la calidad del aceite, así como la reducción del contenido de posibles contaminantes en el aceite como podrían ser partículas metálicas, jabones o productos de pigmentación.

Para realizar el blanqueamiento podemos diferenciar distintos pasos. Comenzamos mezclando la arcilla y el aceite en el vacío, de forma que eliminamos el aire y consumimos menos arcilla. Tras esto se aplica la cantidad de arcilla necesaria para alcanzar el color deseado mediante un proceso continuo que garantice el máximo contacto entre aceite y arcilla. Por último, se lava el aceite blanqueado a través de discos de acero inoxidable de filtración para que queden menos residuos, dejando que el filtro se controle automáticamente.

Desodorización

La desodorización es uno de los procesos clave en la refinación de ciertos aceites. Las sustancias eliminadas son por lo general una mezcla de elementos liberados en procesos de descomposición anaeróbica. El proceso de desodorización se basa en una aireación y calentamiento entre 150 y 160°C del aceite blanqueado, para posteriormente emplear un vapor de alta presión en forma de corriente que hace que los desechos sean arrastrados.

Como datos importantes cabe remarcar que hay que evitar el contacto con oxígeno, evitando así las oxidaciones, y que debe desairearse el vapor, siendo el nivel de vacío muy elevado, no existiendo así ninguna entrada de aire.

2.5.3 Producción de biodiésel

El proceso de producción de biodiésel se puede realizar tanto de manera discontinua como continua, siendo más empleado el segundo método pues el producto final suele no ser homogéneo por lo que son necesarios procesos continuos.

Podemos encontrar muchas maneras distintas de purificar el biodiésel, a continuación, mostramos un proceso completo válido de manera esquemática para producir el biodiésel.

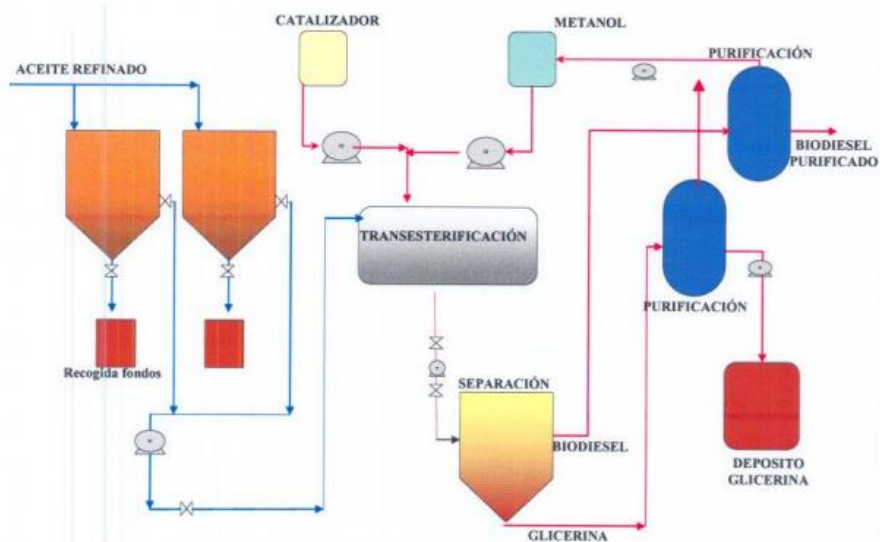


Figura 2.1: Diagrama del proceso de producción del biodiésel

En los procesos discontinuos el aceite se mezcla con la solución catalizador-alcohol a una temperatura de 60-65°C para el caso del metanol, manteniéndose agitado durante la reacción. Podemos situar dos reactores en serie, realizando la reacción en dos etapas extrayendo la glicerina generada entre las etapas primera y segunda. Gracias a esto se consiguen grados de conversión muy altos, ya que de esta manera podemos quitar los productos de reacción y agregar reactivos.

Aun siendo la etapa de reacción un proceso discontinuo, se utilizan diversos tanques de almacenamiento capaces de contener el producto procedente de 3 a 4 ciclos de reacción para llevar a cabo la separación y purificación de los productos de forma continua.

Por el contrario, en los procesos continuos los reactores serán de flujo de pistón o bien reactores continuos y de tanque agitado. Estos últimos son los más utilizados y se emplean para grandes volúmenes de reacción. Es corriente emplear varios reactores en cascada con diferente tamaño y tiempo de residencia, lo que incrementa el rendimiento del proceso. La diferencia entre uno y otro se trata de la dirección en la que avanza la mezcla de reacción, siendo de forma longitudinal en los de flujo de pistón y axialmente en los reactores continuos.

2.6 Análisis de calidad

Encontramos diversos factores que afectan a la calidad del biodiésel tras el proceso de transesterificación. El primero de los factores tiene que ver con el hecho se trate de un proceso escalonado. El segundo está relacionado con las propiedades inherentes de los ésteres de alquilo que componen el biodiésel. Otro factor sería la influencia que pueden tener determinados materiales extraños como la exposición a otros materiales y las condiciones de almacenamiento del combustible.

Estos factores pueden llegar a afectar de diversas formas al biodiésel, siempre teniendo en cuenta el perfil de los ácidos grasos del combustible, que suelen ir asociados, como ya conocemos, a la materia prima. Los problemas técnicos anteriormente mencionados pueden, por lo general, asociarse a uno o varios de estos factores. Para poder limitar correctamente las propiedades que deben conseguirse y no incurrir en dichos problemas se establecen algunas normas entre las que destacan dos, la American Society for Testing and Materials o ASTM y la European Committee for Standardization CEN.

A continuación, se muestran dos tablas explicativas donde se establecen valores concretos regulados por las dos normas principales empleadas en Estados Unidos y la Unión Europea. Observamos que hay muchos valores en los que concuerdan, como en el valor ácido o la ceniza sulfatada, mientras que hay otros donde difieren como en el punto de inflamación.

Tabla 1. Norma astm para biodiésel D6751-09				
Propiedad	Limite		Unidad	Método de prueba
	Min	Max		
Punto de inflamación	93		°C	D 93
Control de alcohol Debe cumplir con una de las siguientes: 1. Contenido de metanol 2. Punto de inflamación	130	0,2	masa % °C	EN 14110 D93
Agua y sedimento		0,050	% volumen	D2709
Número ácido		0,50	mg KOH / g	D664
Ceniza sulfatada		0,020	% masa	D874
Corrosión lámina de cobre		No. 3		D130
Residuo de carbono		0,050	% masa	D4530
Viscosidad cinemática	1,9	6,0	mm ² /s	D445
Número de cetano	47			D613
Punto de turbidez	Reporte		°C	D2500
Filtrabilidad de impregnado en frío		360	Segundos	Anexo A1
Estabilidad de oxidación	3		horas	EN 14112
Glicerina libre		0,020	% masa	D6584
Glicerina total		0,240	% masa	D6584
Sodio y potasio, combinados		5	ppm (µg/g)	EN 14538
Calcio y magnesio, combinados		5	ppm (µg/g)	EN 14538
Azufre*		0,0015 0,05	% masa (ppm)	D5453
Contenido de fósforo		0,001	% masa	D4951
Temperatura destilación, Temperatura atmosférica equivalente, 90% recuperado		360	°C	D1160

Figura 2.6.1: Norma astm para biodiésel

Tabla 2. Norma Europea para Biodiésel en 14214 – 2008				
Propiedad	Limite		Unidad	Método de prueba
	Min	Max		
Contenido de éster	96.5			en 14103
Punto de inflamación	101		°C	en ISO 2719 en ISO 3679
Contenido de metanol		0.20	% (m/m)	en 14110
Contenido de agua		500	mg/kg	en ISO 12937
Valor ácido		0.50	mg KOH / g	en 14104
Ceniza sulfatada		0.02	% (m/m)	ISO 3987
Corrosión lámina de cobre	No. 1			en ISO 2160
Residuo de carbono (10% residuo dist.)		0.30	% (m/m)	en ISO 10370
Contaminación total		24	mg/kg	en 12662
Densidad a 15°C	860	900	kg/m ³	en ISO 3675 en ISO 12185
Viscosidad cinemática	3.5	5.0	mm ² /s	en ISO 3104
Número de cetano	51			en ISO 5165
Estabilidad de oxidación, 110°C	6		horas	en 14112
Glicerina libre		0.020	% (m/m)	en 14105 en 14106
Glicerina total		0.240	% (m/m)	en 14105
Contenido de monoglicéridos		0.80	% (m/m)	en 14105
Contenido de diglicéridos		0.20	% (m/m)	en 14105
Contenido de triglicéridos		0.20	% (m/m)	en 14105
Índice de yodo		120	g yodo / 100 g	en 14111
Contenido de ácido linoléico		12	% (m/m)	en 14103
Contenido de fame con ≥ 4 enlaces dobles		1	% (m/m)	
Metales Grupo I (Na + K)		5	mg/g	en 14108 en 14109 en 14538
Metales Grupo II (Ca + Mg)		5	mg/g	en 14538
Azufre		10	mg/kg	en ISO 20846 en ISO 20884
Contenido de fósforo		4	mg/kg	en 14107

Figura 2.6.2: Norma Europea para biodiesel

2.6.1 Especificaciones relacionadas con la reacción de transesterificación

Como ya mencionamos antes, la reacción de transesterificaciones se da en tres pasos en los que la estructura de los triglicéridos cambia. En cada uno de estos sitios de reacción se puede reaccionar para dar un éster de alquilo y un glicerol con una cadena con menos ácidos grasos adheridos a su estructura. El glicerol se forma completamente cuando los tres sitios han reaccionado. Aunque realicemos una purificación, el biodiésel contendrá tanto glicerol y alcoholes como tri-, di- y monoglicéridos sin reaccionar.

Estos productos que no han reaccionado o que solo lo han hecho parcialmente, poseen ciertas propiedades que no queremos en nuestro biodiésel, como pueden ser su alta viscosidad o los altos puntos de fusión de los monoglicéridos. Estas impurezas están por tanto limitadas según la norma astm bajo la forma de “glicerina libre” el glicerol y “glicerol total” los mono-, di- y triglicéridos. En la norma europea se encuentran limitaciones similares, especificando sin embargo el contenido de cada forma de glicérido

Las impurezas en forma de alcohol se ven reflejadas en ambas normas en el punto de inflamación, a pesar de que la norma americana contiene un apartado específico para el contenido de alcohol.

Otras impurezas quedan de la misma manera limitadas en las normas. Estos elementos pueden tener efectos perjudiciales en la combustión del combustible. Ejemplos de esto son el sodio y el potasio, que pueden permanecer en el biodiésel tras la transesterificación cuando se emplean hidróxido o alcóxido de sodio o de potasio. En ambas normas se marcan valores límites y métodos de análisis.

2.6.2 Especificaciones relacionadas con las propiedades de los ésteres de alquilo de ácidos grasos

Para poder determinar la composición final del biodiésel es importante conocer la materia prima empleada ya que dependiendo de ésta la proporción de ácidos grasos varía. Debido a la variedad de materias primas, las propiedades del biodiésel cambiarán dependiendo de su origen. Las propiedades más importantes, que son determinadas en gran medida por los ésteres de alquilo de ácidos grasos en el biodiésel, están contenidas en las normas. Estas propiedades incluyen algunas de las explicadas en apartados anteriores como son el número de cetano, viscosidad cinemática y estabilidad de oxidación.

La alta viscosidad de los aceites vegetales, transmitida por sus componentes es el motivo principal por el que se produce biodiésel a partir de ellos. Dada la importancia que tiene queda regulado así en la norma astm según la viscosidad cinemática, dando un valor suficientemente amplio como para que entren la mayoría de las materias primas.

El número de cetano como recordamos es un descriptor en sí mismo de la calidad de ignición de un combustible cuando se inyecta en la cámara de combustión del motor diésel. Por lo general se relaciona un número de cetano alto con una mayor calidad de ignición y menor tiempo de referencia. En la norma americana se establece un mínimo de 40, mientras que en la europea será superior la exigencia mínima, tratándose de 51; esto es debido a la naturaleza de las fuentes de biodiésel que se emplea en cada sitio.

En el caso de la estabilidad de oxidación, las cadenas de ácidos grasos insaturados reaccionan con el oxígeno en el aire formando hidroperóxidos, lo que suele provocar reacciones de oxidación que producen ácidos grasos libres, cetonas o aldehídos. Además de generar estos productos, puede darse la polimerización oxidativa. Ambas normas utilizan el mismo método de medida, estando descrito en la norma europea. Este método se basa en la oxidación de una muestra determinada a 110°C bajo aire midiendo la conductividad tras un baño de agua. El máximo cambio de tasa de conductividad del agua da el tiempo de inducción que es el parámetro utilizado en las normas. Los tiempos varían en las normas desde 3 horas en la ASTM y 6 horas en la CEN. Normalmente será necesaria la adición de un antioxidante que retrase la oxidación y la degradación del combustible.

Tanto el clima como la ubicación geográfica son factores importantes en las propiedades de flujo en frío. El punto de turbidez como ya sabemos es la primera temperatura a la que se forman cristales en el combustible por el enfriamiento. La norma europea propone un método de identificación conocido como el punto de obstrucción de filtro frío, variando los límites impuestos con donde realicemos el experimento y la época del año. Esta propiedad se ve afectada también por los ésteres grasos debido a la influencia de éstos en el punto de fusión.

Además de estas propiedades, la norma europea recoge otras propiedades como la densidad, donde proporciona un rango aceptable. Esto permite distinguir entre la materia prima, que tendrá una mayor densidad, y el producto final de biodiésel.

Otras propiedades, sin embargo, aparecen en una norma, pero no en la otra. Este es el caso del índice de yodo, que aparece en la europea y no en la americana. Este índice marca la insaturación total de una muestra de éster graso.

2.6.3 Especificaciones relacionadas con la influencia de materiales extraños

Hay diversas impurezas menores presentes en el biodiésel que pueden afectar a determinados factores, como por ejemplo el flujo en frío. Un ejemplo de esto son los glucósidos esteroides, estando compuestos de esteroides y carbohidratos que elevan el punto de fusión. Debido a que los componentes minoritarios pueden precipitar incluso a temperaturas superiores a la de turbidez se establece una prueba de filtrabilidad en frío. Esta prueba está descrita en la norma americana, aunque encontramos cierta controversia en su uso y acerca de los límites que deben tomarse.

Como ya hemos mencionado, diversas impurezas están limitadas en las normas, algunas de las impurezas a controlar son el sodio el potasio el calcio, el magnesio el fósforo y el azufre. La presencia de estos elementos puede justificarse o bien por el empleo de catalizadores alternativos o por el contacto de la materia prima con materiales extraños como huesos o carne. La prueba de corrosión en lámina de cobre en las normas de biodiésel está relacionada con el azufre, en especial con sus propiedades corrosivas.

Como dijimos antes, el contenido de agua en la materia prima debe ser el mínimo, de igual manera tendremos que tener en cuenta que en el almacenamiento el producto puede ponerse en contacto con agua en forma de humedad. El agua puede provocar la generación de ácidos grasos libres en ésteres insaturados. El contenido de agua en biodiésel está limitado, tanto en la norma ASTM como en la CEN a 500 ppm.

Por último, encontramos limitación también en los ácidos grasos libres ya que estos pueden generar jabones, tanto en el proceso de transesterificación como durante el almacenamiento.

2.7 Testeo y prestaciones de motores de biodiésel

En el siguiente apartado indicaremos, de manera cuantitativa, las distintas propiedades que se ven afectadas en los motores que emplean biodiésel en comparación con aquellos que emplean diésel o gasolina.

2.7.1 Biodiésel vegetal y aceite reutilizado

Para observar el impacto que tienen estos biodiésel tanto en el desempeño del motor como en las emisiones compararemos los biodiésel hechos a partir de soja, colza y aceites de fritura usado con un diésel muy poco sulfurado.

Las pruebas se realizarán en un motor en condiciones de trabajo a altas cargas. El motor se trata de uno de cuatro tiempos, de cilindro único, unido a un dinamómetro de corriente continua. En la siguiente figura se muestra una representación esquemática. Para conseguir grandes cargas se emplea un freno de alta presión efectiva, llegando a medirse hasta 8 bares, lo que representa un 65% de la máxima potencia alcanzable.

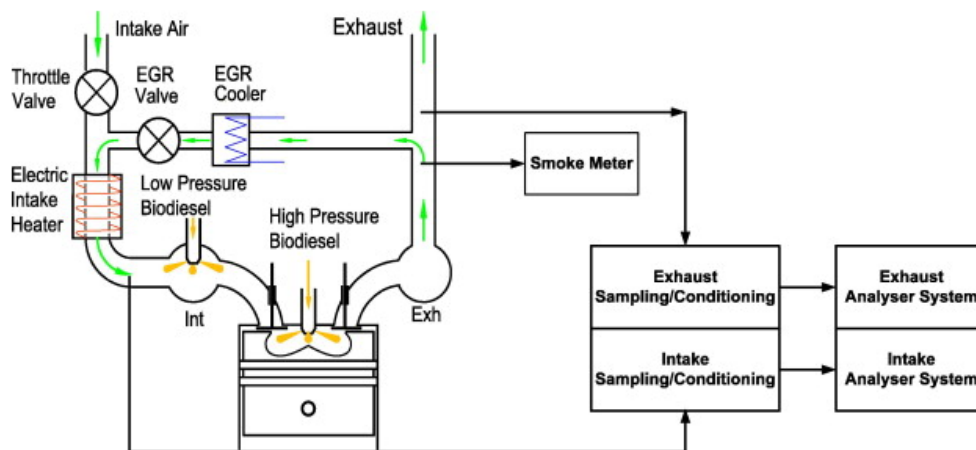


Figura 2.7.1.1: Representación esquemática del experimento.

Characteristic	ASTM test Method	Diesel fuel	Biodiesel fuel	Biodiesel fuel	Biodiesel fuel
		UW No. 1-1	UW No. 2-1	UW No. 2-2	UW No. 2-3
Feedstock	–	Petroleum oil	Soy	Canola	Yellow grease
Description	D975 (Diesel) D6751 (Biodiesel)	Ultra-low Sulphur	E100	B100	B100
Density (kg/m ³) at 15 °C	D1298	835.8	883.3	883.8	876.1
Cetane number	D613	50.2	50.6	53.6	61.2
Kinematic viscosity (cSt) at 40 °C	D445	1.5	4.1	4.4	4.8
Distillation temperature (°C) (Up to 95% distillation)	D86 (Diesel) D1160 (Biodiesel)	175–350	312–420	344–356	321–353
LHV (MJ/kg)	D4801	42.9	37.6	37.8	37.3
LHV (MJ/l)		35.9	33.2	33.4	32.7
Total sulphur (ppm)	D5453	<4	6	2	15
Reduced chemical formula (Based on C/H/O)	D5291	CH _{1.9}	CH _{1.82} O _{0.11}	CH _{1.88} O _{0.11}	CH _{1.95} O _{0.11}
Stoichiometric A/F (mass)	–	14.57	12.34	12.44	12.54

Tabla 2.7.1.1: Características técnicas del motor empleado.

La figura a continuación muestra la presión en el cilindro, así como la tasa neta de liberación de calor en las condiciones descritas, mientras que la tabla muestra los resultados resumidos. Por lo general, los resultados de las presiones y la tasa de liberación de calor son similares. Sin embargo, encontramos inconsistencias en el biodiésel de aceite colza (UW2-2) ya pese a que el índice de cetano era técnicamente inferior al de aceite de fritura usado (UW2-3), encontramos una ignición avanzada, lo que no se corresponde con las propiedades técnicas. Una razón para esto puede ser que en el combustible se encontrara óxido almacenado, que generaría grupos peróxidos, los cuales tienen un profundo efecto en la viscosidad y el índice de cetano.

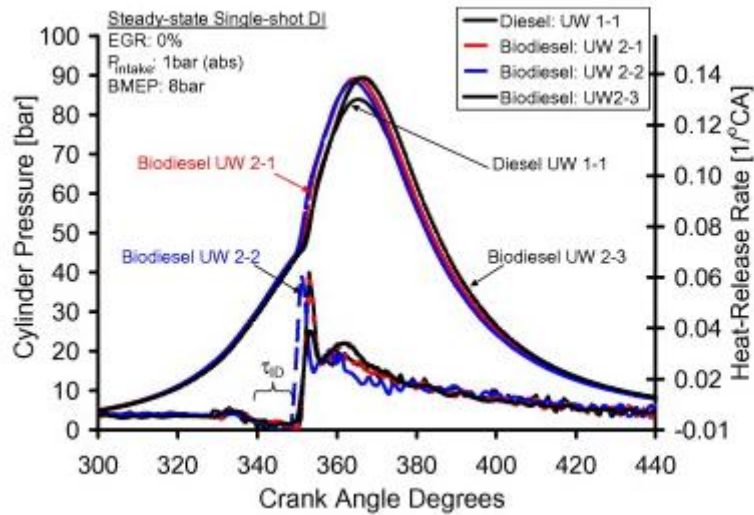


Figura 2.7.1.2: Presiones y tasas netas de liberación de calor para los distintos combustibles.

Fuel	BMEP (bar)	IMEP (bar)	Fuelling (mg/cycle)	λ_E (-)	τ_{ID}		BSFC (g/kW/h)	η_{Brake} (%)
					(ms)	(°CA)		
UW1-1 Diesel	8.2	10.1	44	1.2	0.95	8.0	230	37
UW2-1 Biodiesel	7.9	9.9	52	1.3	0.91	7.6	277	35
UW2-2 Biodiesel	8.0	10	55	1.2	0.71	6.0	290	35
UW2-3 Biodiesel	7.8	9.8	51	1.2	0.83	7.0	278	35

Tabla 2.7.1.3: Resumen del experimento.

Donde los encabezados se corresponden con los siguientes conceptos:

- * BMEP es la presión efectiva media calculada con la potencia suministrada.
- * IMEP es la presión media efectiva calculada con el par medido en el dinamómetro.
- * λ_E es la tasa de efectividad de exceso de aire respecto al combustible.
- * τ_{ID} , se corresponde con el retardo de la ignición.
- * BSFC es el consumo específico de combustible.
- * η_{Brake} es la eficiencia térmica.

Para el cálculo de λ_E se empleó la formula mostrada a continuación, donde MW_{Oxygen} es el peso molecular de O_2 , MW_{Air} es el peso molecular del aire y MAF_{Total} es la masa total de aire que circula.

$$\lambda_E \approx \frac{[(O_2]/100) \times (MW_{Oxygen} / MW_{Air}) \times MAF_{Total} \times 4.29 / \dot{m}_f}{[Air/Fuel]_s}$$

En la combustión a altas temperaturas, la mezcla de oxígeno y combustible se ve muy influenciada por el retardo de ignición donde puede llegar a entrar una cantidad de combustible diferente de la deseada. Basándose en esta premisa, se supone que la mayor cantidad de NO_x se forma en este proceso, especialmente si la mezcla aire-combustible es cercana a la relación estequiométrica. Esto podría explicar los niveles inferiores de biodiésel de aceite de fritura usado en comparación con el de aceite vegetal. En la figura que se muestra a continuación se detallan las distintas emisiones para cada combustible. En orden serían, el total de emisiones de hidrocarburo, monóxido de carbono, hollín y NO_x.

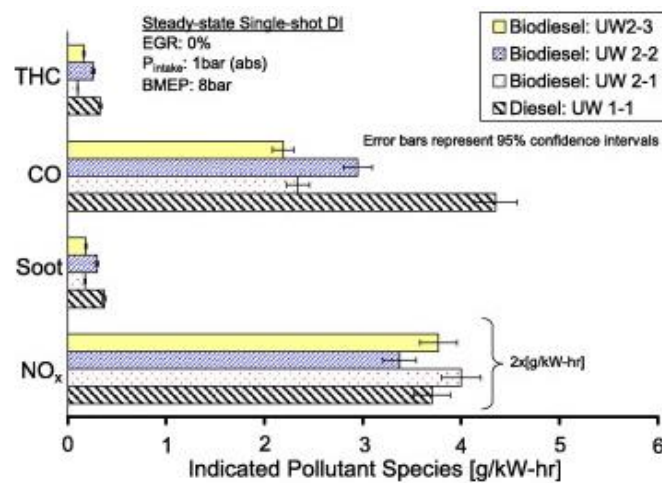


Figura 2.7.1.4: Emisiones de biodiésel vegetal y de aceites usados

Como conclusión del experimento podemos establecer que las emisiones de NO_x que se expulsan al exterior, están relacionadas con el número de cetano. El biodiésel con un número de cetano similar al del diésel, como es el de aceite reutilizado, produce una emisión mayor que éste. Sin embargo, el biodiésel de origen de aceite vegetal, que tiene un índice superior tiene emisiones similares. Ésto se debe a que un mayor número de cetano provoca una ignición más rápida permitiendo que se queme una cantidad de combustible menor, ajustándose más a lo deseado. Consecuentemente, se genera una mezcla más pobre produciendo menos NO_x.

Por lo general observamos que las emisiones de hollín, CO y emisiones de hidrocarburo totales son menores cuando se emplea biodiésel.

Además, se comprueba que tanto la presión en el cilindro como la tasa de liberación de calor son superiores cuando utilizamos biodiésel.

2.7.2 Biodiésel de microalgas

En los ensayos de Tuccar et al se realizaron pruebas sobre mezclas de diésel con biodiésel y diésel puro obtenido de microalgas. Los experimentos se desempeñaron en un motor diésel de cuatro tiempos con cuatro cilindros. Los autores probaron mezclas B5 (5% de biodiésel y 95% de diésel), B10, B20 y B50 para compensar los pequeños niveles de cetano característicos del biodiésel de microalgas. Se encontraron reducciones en la potencia del motor en un 6% para el biodiésel puro, en comparación con el diésel. Esta reducción se asoció con una combustión incompleta del combustible por el nivel tan bajo de cetano, sin embargo, esto no parece ser consecuente del todo, sobre todo debido al hecho de que los autores reportaron también una disminución de las emisiones de CO. Si la máxima inyección en el motor está limitada, el factor que más influiría en esta bajada, sería la diferencia de calentamiento entre combustibles. Además, pudo influir las distintas fases de combustión debido a diferencias en el retardo de ignición.

De acuerdo a sus datos, la máxima diferencia en el valor de calentamiento fue de alrededor de 5 kJ/kg comparando el diésel con el biodiésel puro. Se observó también que el par de salida se vio reducido con el incremento de concentración de biodiésel en las mezclas.

En relación a las emisiones, como se mencionó antes, el CO se vio disminuido cuando se sustituyó el diésel por el biodiésel debido a la mayor cantidad de oxígeno comparado con el diésel. En lo referente al NO_x, también se observaron reducciones que los autores asociaron a menos aire introducido en el cilindro durante la combustión de microalgas. Al igual que antes, esto es poco probable ya que las diferencias deben estar asociadas a otros factores, ya que no hay razón por la que menos aire pasaría a través del motor cuando los combustibles se cambian, y se requeriría una fuerte diferencia antes de que las emisiones de NO_x se vieran afectadas. Este comportamiento puede ser asociado de hecho con el retardo de ignición diferente entre los combustibles y posibles cambios en el tiempo que tarda en inyectar, por la diferencia de los diferentes módulos de compresibilidad de los combustibles.

En la siguiente tabla se muestran las diferentes microalgas empleadas, en que proporciones fueron probadas, los motores empleados y los principales resultados obtenidos.

(Micro) algae	Biofuel tested	Engine	Main results
Not declared	B5, B10, B20, B50, B100 B20But10, B20But20, B20	Mitsubishi Canter 4D34-2A, direct injection, 89 kW	Power output decreased, CO and NOx reduction CO and NOx reduction. Power output slightly decreased when butanol is added
<i>Chlorella sp.</i>	B30	Valmet 320 DMG diesel generator from AGCO SISU Power	3% higher thermal efficiency, reduction of smoke and HC
<i>Ankistrodesmus lensanii</i> and <i>Nannochloropsis sp</i>	B50, B100 and raw algae oil	Ricardo E6 single cylinder indirect injection	Higher combustion pressure rise rate, rate of heat released, noise and ignition delay for B100
<i>Chaetoceros gracilis</i>	B100	Kubota Z482-E504, two cylinder, indirect injection 7.9 kW	Lower power output and highest HC emissions of biofuels tested, but 30% lower than diesel fuel
<i>Chlorella protothecoides</i>	B20	John Deere 4410 e-hydro, three cylinder water cooled diesel engine, 25.8 kW	Reduction of CO, CO ₂ and NO emissions, but not differences on engine performance
<i>Chlorella vulgaris</i>	Emulsion of biodiesel and algal slurry	Yanmar L48N6, single cylinder, diesel engine	Reduction of brake power, increase of BSFC, reduction of NOx and CO ₂
<i>Chlorella vulgaris</i>	B100 and emulsion of biodiesel and algal slurry	Ruggerini HT 51, single cylinder four stroke, direct injection	Higher BSFC for B100 and emulsion. 15% lower exhaust temperature and higher net efficiency with emulsion. CO higher and NOx lower with emulsion
<i>Cryptomonas colvii</i>	B10, B20, B50	Peugeot 308 2.0, four cylinder, turbo-charged, 100 kW	No significant differences in BSFC. Lower cylinder pressure, IMEP and BMEP. NO _x was increased while HC decreases

Tabla 2.7.2.1: Resumen de resultados en experimentos con biodiésel de microalgas

(Micro) algae	Biofuel tested	Engine	Main results
Not declared	B20, B50, B100	SF model diesel engine, 3.7 kW	Higher CO ₂ for B100 but lower for blends compared to diesel fuel
Not declared	B100	Single cylinder, four strokes, diesel engine, 7.4 kW at 1500 rpm	Lower BTE and power output, reduction in CO, HC but increase in NOx
Not declared	B5, B10, B15	Kirloskar DM10 single cylinder direct injection	Higher BTE for B15. HC, CO and decreases, slight increase in NOx.
<i>Nannochloropsis Oculata</i> and <i>Isochrysis Galbana</i>	B20, B100	John Deere 4024T2.4L	Exhaust emissions close to soybean and canola biodiesel, except NO which decreased
<i>Chlorella</i>	B20	Lombardini, four cylinder, four strokes	Slight reduction of torque at high speed, reduction in soot emissions, higher NOx and CO ₂
<i>Chlorella vulgaris</i>	B10, B15, B20	Kirloskar, single cylinder, 3.5 kW	Higher BTE, lower BSEC. CO, HC and smoke reduction. NOx increases
<i>Chlorella vulgaris</i> and <i>Chlorella sorokiniana</i>	B2, B2But20 and B2But20/W0.5	Mitsubishi 4M40-2AT1, four cylinder, direct injection	Reduction in PM for all blends, decrease in NOx for B2But20 and B2But20/W0.5, increase in NOx emissions for B2. HC and CO emissions increased with water addition
<i>Spirogyra</i> , <i>Cladophora</i> and <i>Gracilaria</i>	B5, B10, B20, B30, B100	ISUZU 4FB1, water-cooled, four stroke, four cylinder indirect injection and naturally aspirated. Nominal rated power 39 kW/5000 rpm	A decrease in 42.86% of CO for B10 at 1200 rpm. The reduction in NOx was 40.4% for B10. Up to 45–60% reduction in HC for B10

Tabla 2.7.2.2: Resumen de resultados en experimentos con biodiésel de microalgas

2.7.3 Biodiésel de grasas animales

Para el análisis de las prestaciones de un motor diésel, cuando se emplea biodiésel proveniente de grasas animales, nos apoyaremos en los experimentos realizados por Cengiz Öner y Şehmus Altun. Para el estudio, se empleó sebo animal no apto para el consumo de un matadero local. Se usó tanto como combustible puro como en forma de mezcla con diésel de petróleo en proporciones de 5%, 20% y 50% de volumen en diésel. Como motor de ensayo se seleccionó un motor Rainbow-LA186 de cuatro tiempos, con un único cilindro, de inyección directa y refrigeración por aire.

El motor, cargado con un dinamómetro hidráulico para las medidas, fue probado a velocidades entre 1000 rpm y 3000 rpm con intervalos de 500 rpm. Cada mezcla es ensayada 3 veces y los resultados serán una media entre ellos.

A continuación, mostramos las especificaciones técnicas del motor, así como una representación de éste.

Items	Specification
Model	Rainbow – LA186
Operating principle	Four-stroke and direct injection
Numbers of cylinder	1
Bore × Stroke	86×70 mm
Volume	406 cm ³
Compression ratio	18:1
Standard injection pressure	19.6 ± 0.49 MPa

Tabla 2.7.3.1: Especificaciones técnicas del motor para biodiésel con grasas animales.

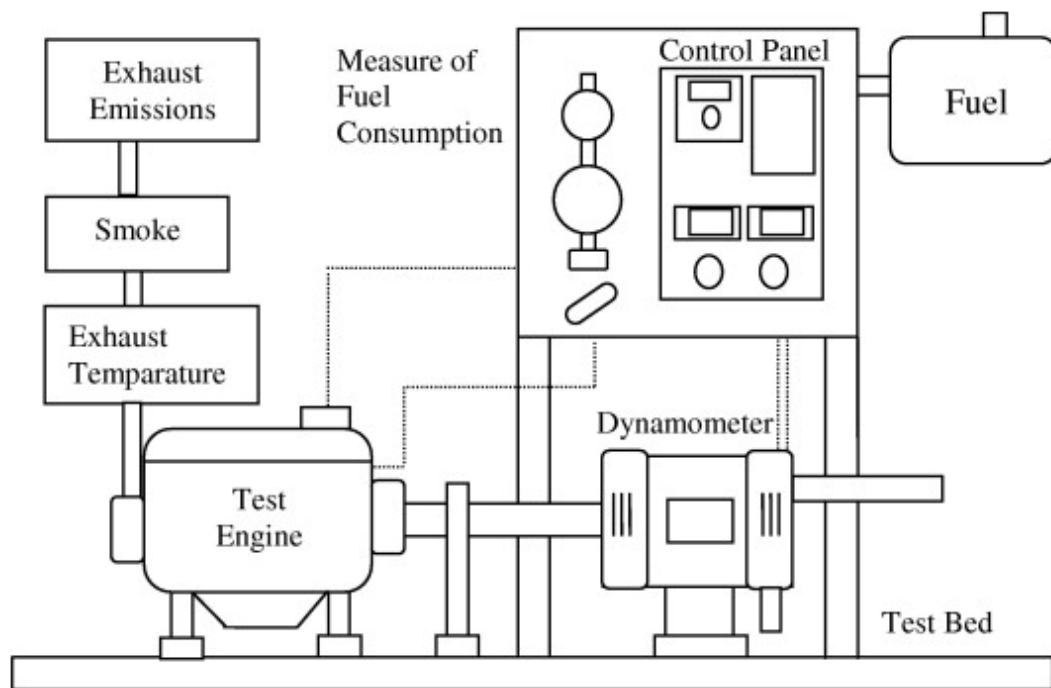


Figura 2.7.3.1: Representación esquemática del motor para biodiésel con grasas animales.

En el ensayo se evaluaron tanto la potencia efectiva del motor, el consumo específico de combustible, eficiencia térmica y la temperatura del gas de escape, siempre provocando el par máximo con el motor.

La potencia efectiva del motor es menor cuando el motor emplea biodiésel o mezclas de éste que cuando se emplea el diésel de petróleo debido al menor calentamiento del biodiésel. A pesar de ello, en un rango de velocidades de entre 1000 y 1500 rpm la potencia efectiva es mayor que en el combustible fósil. Esta singularidad puede deberse a que hay tiempo suficiente para una buena combustión a bajas velocidades reduciéndose el tiempo de combustión a medida que aumenta la velocidad.

La media de la potencia efectiva para B5, B20, B50 y B100 fue inferior al diésel por 2.65%, 2.9%, 2.4% y 4% respectivamente.

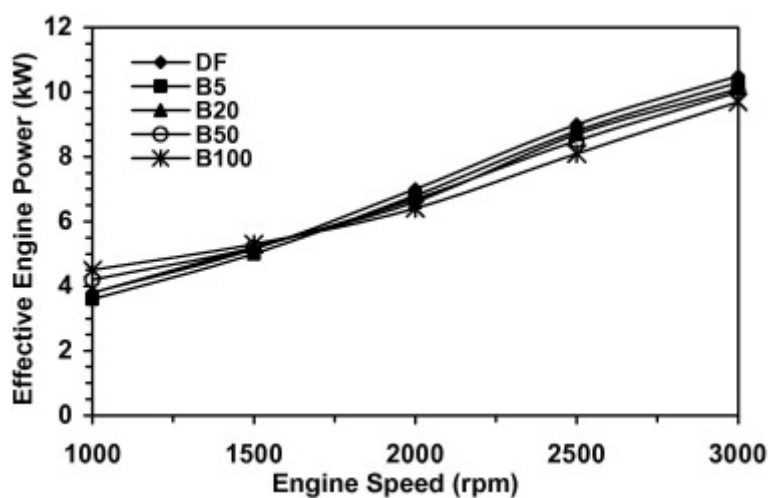


Figura 2.7.3.2: Variación de la potencia efectiva para el diésel, el biodiésel y las mezclas.

El consumo específico de combustible es la relación entre el flujo de masa de combustible y la potencia efectiva. En general incrementa con la proporción de biodiésel en el combustible, mientras que decrece a medida que aumentamos la velocidad del motor, sea cual sea el combustible.

Evidentemente, como el consumo específico está basado en la masa que pasa por segundo, para el combustible con una mayor densidad, con el mismo volumen tendremos un aumento de esta propiedad.

Además, el valor de calentamiento es alrededor de un 7% menor en el biodiésel. Un valor más pequeño de calentamiento implica que se requiere una mayor cantidad de combustible inyectado en la cámara de combustión para alcanzar la misma potencia.

Por estas razones, el consumo medio de combustible para B5, B20, B50 y B100 es mayor que para el diésel en un 4%, 9.4%, 10.2% y 15% respectivamente.

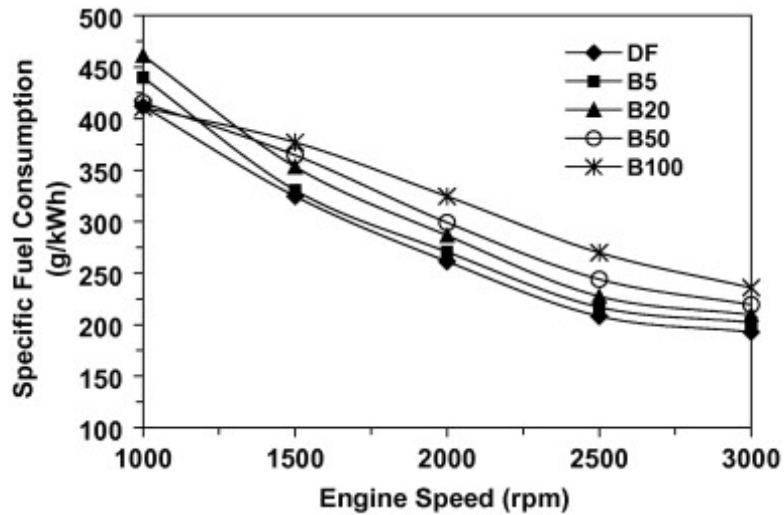


Figura 2.7.3.3: Variación del consumo específico para el diésel, el biodiésel y sus mezclas.

La eficiencia térmica, definida como la correspondencia entre la potencia de salida y la energía introducida a través de la inyección de combustible, siendo esta última el producto del caudal de masa de combustible inyectado y el menor valor de calentamiento.

La eficiencia térmica en general se ve reducida al incrementarse la proporción de biodiésel en las pruebas de combustible. La viscosidad, densidad y valor de calentamiento del éster de sebo es superior a la del diésel; ésto lleva a una atomización, una vaporización y combustión menor, lo que provoca que la eficiencia térmica sea inferior.

La eficiencia térmica para las mezclas B5, B20, B50 y el puro B100 es inferior a la del diésel en un 3.7%, 7.4%, 8.2% y 12.7% respectivamente.

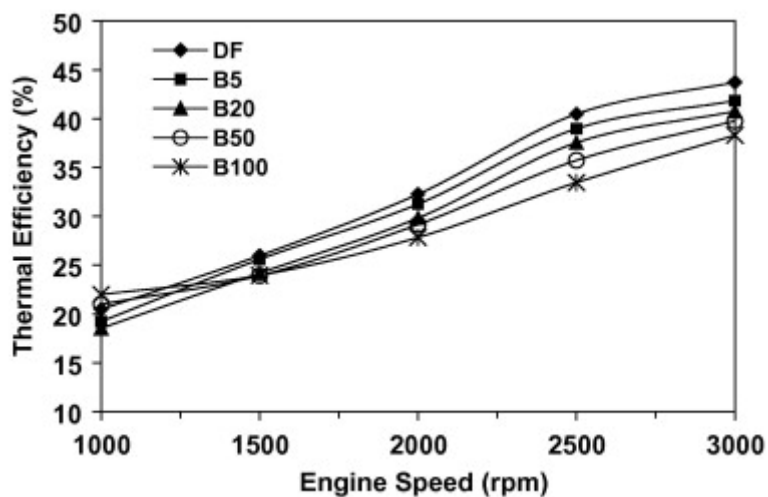
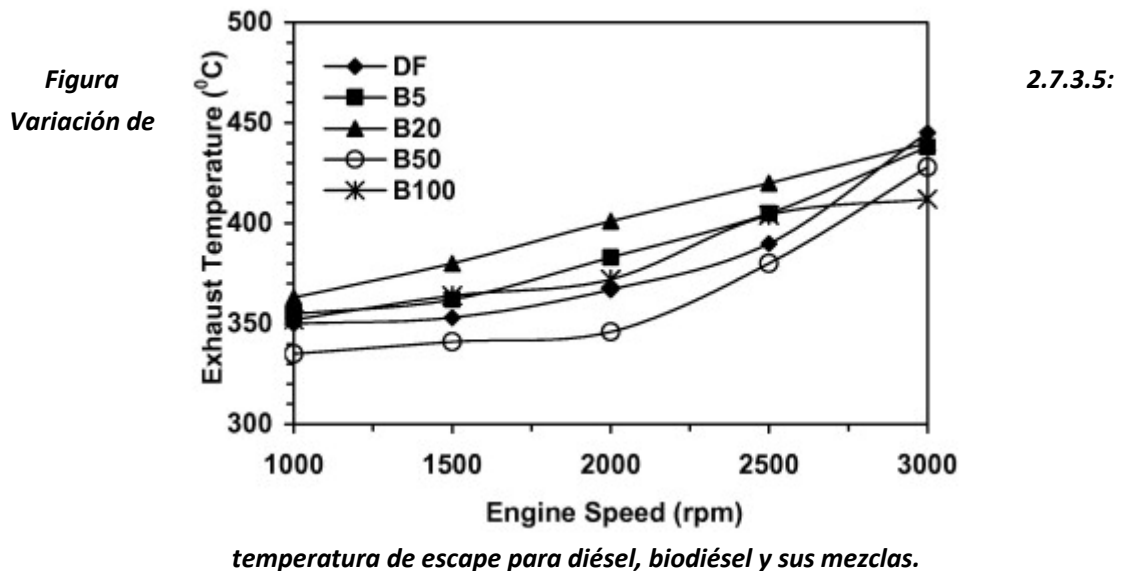


Figura 2.7.3.4: Variación de la eficiencia térmica para el diésel, biodiésel y sus mezclas.

La temperatura del gas de escape incrementa con la velocidad del motor para todos los combustibles empleados. Las máximas medidas para diésel a 3000 rpm, B5, B20, B50, B100 son respectivamente de 445 °C, 438 °C, 440 °C, 428 °C y 412°C. El máximo dentro del grupo de biodiésel es el de B20. Cuando se usa biodiésel a bajas velocidades, la temperatura del gas de escape es más grande, esto puede deberse porque hay tiempo suficiente para completar la combustión de biodiésel.



En cuanto a las emisiones se distinguen en el estudio las de CO, NO_x, SO₂ y humo.

En relación a las de CO, las características más influyentes son la cantidad de oxígeno, la proporción de carbono e hidrógeno que encontramos y la temperatura del cilindro. La primera es superior y la segunda es inferior en el biodiésel, estando éstas relacionadas con las emisiones. A mayor cantidad de oxígeno menor cantidad de contaminantes y la proporción guarda una relación directa con la contaminación. La temperatura influye a la hora de discernir por que la reducción de emisiones no es lineal con el aumento de proporción de biodiésel. Las reducciones de CO respecto al diésel fueron de 14%, 15.5%, 4.5% y 14.5% para el B5, B20, B50, B100.

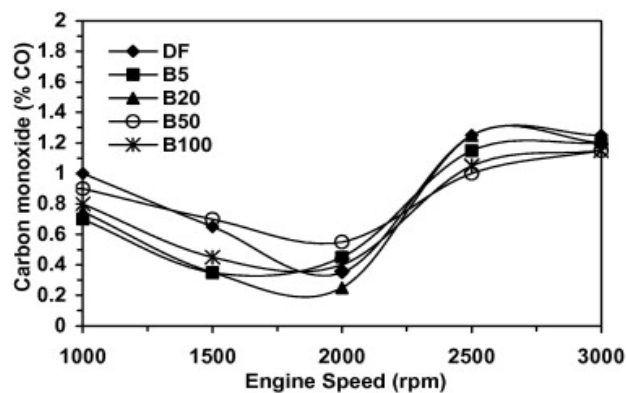


Figura 2.7.3.6: Variación de CO para diésel, biodiésel y sus mezclas.

Para el NO_x resulta de vital importancia el número de cetano, provocando este como hemos dicho anteriormente que se produzca un retraso en la ignición más corto, lo que permite la formación de menos NO_x . Las emisiones medias de NO_x para el B5, B20, B50 y B100 serán de 20.2%, 40.1%, 11.5% y 38.5% inferiores a las del diésel.

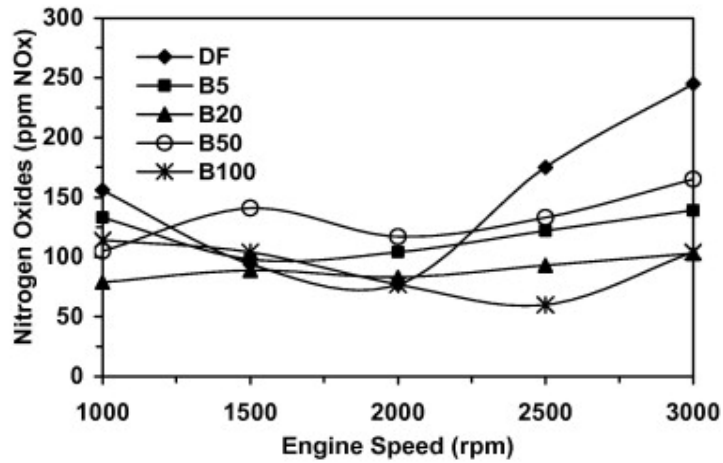


Figura 2.7.3.7: Variación de NO_x para diésel, biodiésel y sus mezclas.

Las emisiones de SO_2 también se ven reducidas por el menor contenido de sulfuro. De media se reduce un 19.1%, 65%, 61.6% y un 72.7% para el B5, B20, B50 y B100.

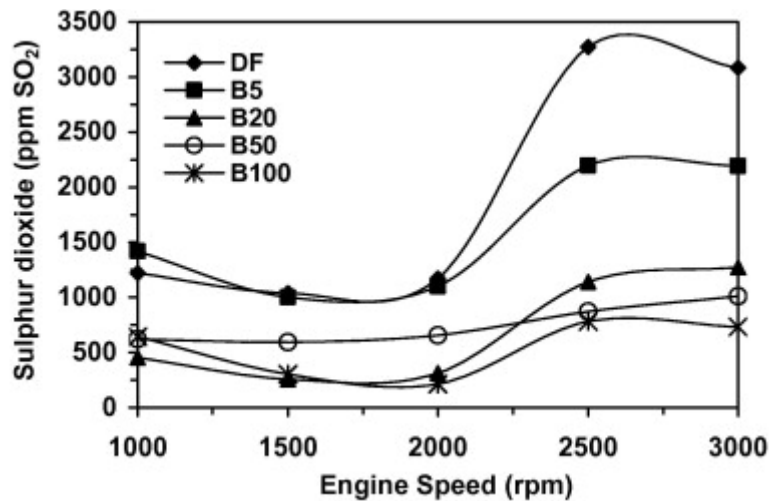


Figura 2.7.3.8: Variación de SO_2 para diésel, biodiésel y sus mezclas.

La opacidad del humo también se ve reducida respecto al diésel por el aumento del contenido de oxígeno y con descenso de la proporción C-H. Cuanto mayor es el contenido de oxígeno, mayor es la oxidación completa del combustible incluso en las zonas ricas. De media se redujeron en el biodiésel B5, B20, B50, B100 un porcentaje de 15.9%, 27.2%, 45.4%, 56.8% respectivamente.

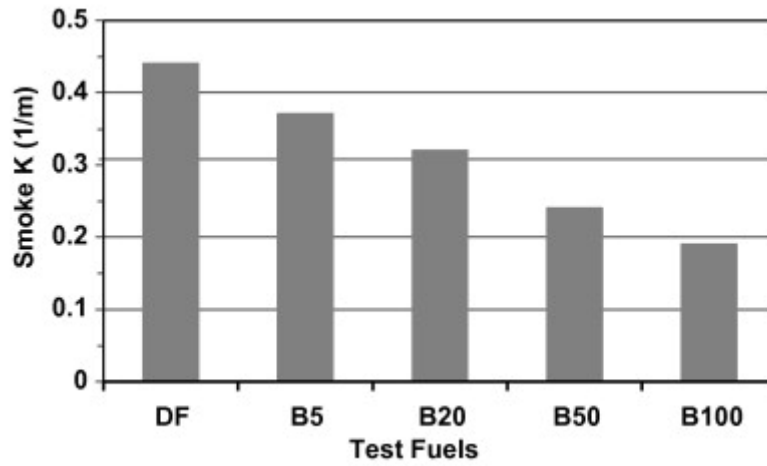


Figura 2.7.3.9: Variación de la opacidad del humo para diésel, biodiésel y sus mezclas.

3. ANÁLISIS ECONÓMICO

En el siguiente estudio vamos a buscar establecer una planta de biodiésel en España. Para ello tendremos que definir donde sería ideal posicionarla, así como la materia prima que emplearemos y la capacidad que debe ser nuestra planta para ser productiva.

En lo referente a la materia prima y a la capacidad de la planta buscaremos varias alternativas, variando entre los diferentes aceites vegetales convencionales y varios escalones de producción, abarcando desde 25 hasta 400 mil toneladas de biodiésel producido. Para la ubicación realizaremos un estudio detallado en el punto siguiente.

3.1 Ubicación

Como primer paso a contemplar del proyecto debemos establecer que ubicación es la más propicia para emplazar nuestra planta de biodiésel.

En primer lugar, debemos conocer a nuestros potenciales compradores, para ello buscamos las refinerías y la capacidad productiva que tienen, tanto de productos derivados del petróleo en general, como de demanda de biodiésel.

REFINERÍA	CAPACIDAD (MILES DE TONELADAS/AÑO)	DEMANDA BIODIÉSEL (MILES DE TONELADAS/AÑO)
<i>Repsol Bilbao</i>	12000	477
<i>Repsol Cartagena</i>	11000	438
<i>Repsol A Coruña</i>	6500	259
<i>Repsol Puertollano</i>	7500	298
<i>Repsol Tarragona</i>	9400	374
<i>Cepsa Cádiz</i>	13900	427
<i>BP Castellón</i>	6000	199

Tabla 3.1.1 Capacidad de producir productos derivados del petróleo y demanda de biodiésel.

Una vez determinadas las refinerías a quienes podríamos vender nuestro producto debemos analizar la competencia que podríamos tener y cuanto son capaces de producir como máximo. Detallamos por tanto las plantas de biodiésel, que se encuentran en activo en la actualidad, a continuación.

PLANTA DE BIODIÉSEL	PRODUCCIÓN (MILES DE TONELADAS/AÑO)
<i>Puerto Autónomo de Bilbao</i>	160
<i>Oleofat Caparroso</i>	28,8
<i>Solartia Los Arcos Navarra</i>	22,528
<i>Albabio Almería</i>	7,528
<i>Biodiésel Carboreras Almería</i>	173,6
<i>Repsol Valle de escombreras</i>	200
<i>Masol Iberia Biofuel Ferrol</i>	240
<i>Biocom Cuenca</i>	40
<i>Lunares Biodiésel Technology Jaén</i>	83
<i>Acesur Cuenca</i>	53
<i>Bioarg Huesca</i>	80
<i>Biooils Huelva</i>	376
<i>Biosur Huelva</i>	100
<i>Greenfuel Extremadura</i>	62
<i>Cepsa Cádiz</i>	167
<i>Biotradin Sevilla</i>	36
<i>Masol Iberia Biofuel Castellón</i>	480
<i>Biocom Valencia</i>	88
<i>Bioteruel Teruel</i>	4

Tabla 3.1.2 Capacidad de producción de biodiésel en cada planta.

Teniendo estos datos y mirando la proximidad entre las plantas de producción y las refinerías, podemos comprobar si las refinerías se encuentran actualmente con déficit de biodiésel o si por el contrario tienen un exceso de oferta en sus cercanías. Para la realización de la siguiente tabla hemos tomado el porcentaje de diésel que se produce en las plantas y lo hemos aplicado al total producido; a este dato le hemos aplicado el 7% mínimo de biodiésel que debe llevar todo diésel para poder usarse, obteniendo así la cantidad de biodiésel de la que precisan las refinerías.

<u>REFINERÍA</u>	<u>PODRÍA COMPRAR (MILES DE TONELADAS/AÑO)</u>
<i>Repsol Bilbao</i>	266
<i>Repsol Cartagena</i>	56
<i>Repsol A Coruña</i>	19
<i>Repsol Puertollano</i>	122
<i>Repsol Tarragona</i>	294
<i>Cepsa Huelva</i>	-168
<i>Cepsa Cádiz</i>	223
<i>BP Castellón</i>	-373
<i>Total global</i>	438

Tabla 3.1.3: Posible demanda de biodiésel por refinería.

Nos encontramos con que tanto la refinería de Cepsa de Huelva y la BP de tienen una oferta potencial mayor a su demanda de biodiésel. Por su parte las plantas de Repsol de Tarragona y Bilbao y la planta de Cepsa de Cádiz tienen un mercado donde sería posible introducir otra planta; mientras que las plantas de Repsol Puertollano y la de A Coruña, podrían ser abastecidas, pero no obtendríamos una cuota de mercado que nos diera grandes beneficios

Una vez llegado a este punto debemos tener en consideración ciertas suposiciones realizadas.

Por una parte, hay que remarcar el hecho de a la hora de analizar la oferta solo hemos contemplado la producción nacional, obviando las importaciones, las cuales tienen una gran magnitud, de países como Argentina, que consiguen producir biodiésel en grandes cantidades y a precios muy bajos, lo cual resulta en un producto muy competitivo, a pesar de los tratados entre Argentina y la Unión Europea estableciendo precios mínimos.

Además, se ha asumido que las fábricas españolas producen a altos niveles de su capacidad. Sin embargo, a día de hoy, el sector del biodiésel no puede llegar a sus máximos de producción con las grandes importaciones que se producen y con las pocas subvenciones proporcionadas por el gobierno.

Desde un punto de vista académico y si se quisiera aceptar el riesgo, la planta tendría más posibilidades de poder triunfar cerca de la refinería de Tarragona. Seleccionamos esta ya que , dentro de las tres refinerías que pueden absorber más biodiésel, cuenta con un sector industrial cercano muy desarrollado como es el de Tarragona. Además, para la venta de nuestro producto solo tendríamos que competir con otra planta de producción, mientras que en las refinerías de Cádiz y Bilbao trataríamos con dos y tres competidores respectivamente.

La ubicación próxima a la refinería de Tarragona podría ser la que se muestra a continuación, estando situada cerca del puerto y de la refinería a la vez, por lo que podríamos ahorrar en transporte.

En la primera imagen mostramos las posiciones relativas entre la refinería y nuestra parcela, estando arriba y abajo respectivamente. En la segunda imagen se presenta de forma mas clara la posición respecto del puerto.



Figura 3.1.1: Localización de la refinería y nuestra parcela.



Figura 3.1.2: Localización de nuestra parcela respecto al puerto.

3.2 Descripción del estudio económico

En el siguiente estudio buscaremos determinar la viabilidad económica de una planta de biodiésel emplazada cerca de la refinería de Tarragona y las inversiones que se deberían proporcionar para la puesta en marcha del proyecto. Para buscar el proyecto que mas rentabilidad nos proporcione, probaremos con diferentes aceites vegetales convencionales y con distintos volúmenes de producción.

Para definir la posible viabilidad hemos realizado estimaciones tanto en la inversión inicial en forma de terreno, instalaciones y equipo como en los gastos de producción, involucrando las materias primas, el gasto de personal y el coste de los distintos servicios, y en el precio de venta del producto final.

Una vez tenemos estos datos, se calcularán tanto el Valor Actual Neto (VAN) como la Tasa Interna de Retorno (TIR), siendo estos los principales parámetros de un análisis económico, de manera que quede claramente reflejado si el proyecto en alguna de sus distintas variables nos podría interesar.

3.2.1 Inversión inicial

El valor de la inversión inicial se corresponderá con el coste del terreno, los costes de ingeniería, los equipos, y en caso necesario su montaje, los materiales y la construcción de la planta.

Además, para poder solventar los diferentes problemas de las aproximaciones y los redondeos, como pueden ser las variaciones en la duración de la obra o un aumento en el precio de algún elemento, se ha añadido una contingencia en aquellos componentes que puedan ser susceptible de ellos.

No se han contemplado dentro del estudio el coste financiero proveniente de los créditos necesarios que podría llegar a tenerse por la ejecución de la planta.

A la hora de evaluar los costes de los diferentes apartados nos hemos guiado por estudios donde se apoyan en diversas ingenierías, en precios unitarios firmes y en la experiencia adquirida por la realización de plantas similares.

Los distintos equipos tendrán un coste diferente según la capacidad o el tamaño que tengan y que se necesiten en la planta. Para solucionar este problema se encuentran varias correlaciones que permiten la correspondencia entre dos equipos análogos con diferente capacidad. En nuestro estudio comenzaremos con los equipos necesarios para una planta con una producción de 100 000 toneladas/año.

Ingeniería

Para la determinación del coste de este apartado se emplearon precios que se han dado en plantas de una capacidad similar por ingenierías del sector. Este apartado se refiere a la ingeniería básica y de detalle, a la gestión de los permisos y a los estudios técnicos necesarios. Además de esto, repercutiremos aquí el coste de personal necesario para la construcción de la instalación.

Equipos y suministros

Dentro de esta sección, tienen cabida todos aquellos elementos necesarios para la producción, estando incluido en los precios los montajes y la puesta a punto de aquellos equipos que lo precisen. En una planta de biodiésel se precisará de:

- Factores de producción de los procesos de transesterificación y purificación de la glicerina.
- Tanques y torres de refrigeración
- Estación depuradora de aguas residuales
- Sistemas hidráulicos
- Sistema de control de la planta e integración de los diversos equipos o sistemas.
- Sistema contra incendios

Obra civil

Incluimos en este apartado tanto el terreno que deberemos adquirir, como los servicios de edificación y de montaje de sistemas auxiliares. Los costes aquí previstos se corresponden con:

- Obra civil, donde encontraremos la cimentación, los edificios y las infraestructuras como el vallado.
- Montaje de aquellos elementos que no estuvieran incluidos en la maquinaria como podrían ser tuberías o estructuras auxiliares.
- Montaje de los sistemas eléctricos.
- Aislamientos térmicos y pintura.
- Supervisión de construcción y puesta en marcha.

A la hora de adquirir el terreno para la instalación de la planta, hemos buscado un solar industrial cercano a la refinería, para poder ahorrar en costes de transporte, y cercano al puerto para que en el caso en el que necesitemos traer la materia prima, ésta venga en barco y reducir considerablemente los costes.

Como vamos a plantearnos diversas plantas, hemos investigado para obtener una de un tamaño adecuado para una producción media de 100.000 toneladas/año, lo que significa un solar de cerca de 25.000 metros cuadrados. Para el resto de los volúmenes de producción aplicaremos coeficientes para establecer unas aproximaciones de los precios en función de las capacidades.

En esta partida incluiremos una contingencia pero solamente para la construcción que realicemos, tomará un valor de un 10%. En la tabla que se presenta a continuación pondremos una contingencia para representar este hecho de un 5.5% para representar que solo una parte está sujeta a ésta.

VOLUMEN DE PRODUCCIÓN EN MILES DE TONELADAS	COSTE DEL TERRENO (€)
25	3.532.509
50	5.354.282
100	8.115.575
200	12.300.911
400	18.644.695

Tabla 3.2.1.1: Coste del terreno dependiendo de su tamaño.

Instalaciones exteriores

Además de las infraestructuras señaladas anteriormente, deberemos contar con instalaciones que nos permitan tener acceso a la materia prima desde la planta, ya que nuestra instalación no se encuentra en el puerto, sino en sus proximidades. Para ello contaremos con un conducto que conecte el puerto y nuestra planta.

Coste de la inversión según el volumen de producción.

A continuación, se detallan los costes fijos que encontraremos en cada una de las plantas planteadas según su producción.

DESCRIPCIÓN	COSTE (€)	CONTINGENCIAS (%)	COSTE FINAL (€)
Obra Civil	7.885.262	5.5	8.320.537
Instalaciones auxiliares	1.000.000	-	1.000.000
Equipos y Suministros	6.093.853	10	6.180.908
Ingeniería	750.000	-	750.000
Total Instalación	15.729.115		16.251.445

Tabla 3.2.1.2: Costes fijos para una producción de 25.000 toneladas de biodiésel anuales.

<u>DESCRIPCIÓN</u>	<u>COSTE (€)</u>	<u>CONTINGENCIAS (%)</u>	<u>COSTE FINAL (€)</u>
Obra Civil	11.951.812	-	12.611.565
Instalaciones auxiliares	1.000.000	-	1.000.000
Equipos y Suministros	9.236.544	10	9.368.494
Ingeniería	750.000	-	750.000
Total instalación	22.938.356		23.730.059

Tabla 3.2.1.3: Costes fijos para una producción de 50.000 toneladas de biodiésel anuales.

<u>DESCRIPCIÓN</u>	<u>COSTE (€)</u>	<u>CONTINGENCIAS (%)</u>	<u>COSTE FINAL (€)</u>
Obra Civil	18.115.575	-	19.115.575
Instalaciones auxiliares	1.000.000	-	1.000.000
Equipos y Suministros	14.000.000	10	14.200.000
Ingeniería	750.000	-	750.000
Total instalación	33.865.575		35.065.575

Tabla 3.2.1.4: Costes fijos para una producción de 100.000 toneladas de biodiésel anuales.

<u>DESCRIPCIÓN</u>	<u>COSTE (€)</u>	<u>CONTINGENCIAS (%)</u>	<u>COSTE FINAL (€)</u>
Obra Civil	27.458.077	-	28.973.793
Instalaciones auxiliares	1.000.000	-	1.000.000
Equipos y Suministros	21.220.032	10	21.523.175
Ingeniería	750.000	-	750.000
Total instalación	50.428.109		52.246.968

Tabla 3.2.1.5: Costes fijos para una producción de 200.000 toneladas de biodiésel anuales.

<u>DESCRIPCIÓN</u>	<u>COSTE (€)</u>	<u>CONTINGENCIAS (%)</u>	<u>COSTE FINAL (€)</u>
Obra Civil	41.618.662	-	43.916.059
Instalaciones auxiliares	1.000.000	-	1.000.000
Equipos y Suministros	32.163.554	10	32.623.033
Ingeniería	750.000	-	750.000
Total instalación	75.532.216		78.289.092

Tabla 3.2.1.6: Costes fijos para una producción de 400.000 toneladas de biodiésel anuales.

3.2.2 Gastos de operación e ingresos

Entendemos por gastos de operación todos aquellos que se dan desde el momento de comenzar el proceso productivo del producto hasta que el producto sale de nuestra planta. Detallaremos por tanto en este punto los gastos de personal, la materia prima y los reactivos, los servicios auxiliares y los gastos de las revisiones anuales y los posibles repuestos.

Gastos de personal

Para poder mantener la planta a pleno rendimiento precisaremos de una mano de obra y una supervisión de los procesos, a fin de mantenernos dentro de los estándares de calidad y que no

ocurran imprevistos que retrasen la producción. Detallamos a continuación los activos con los que deberíamos contar para una planta con una producción de 100.000 toneladas anuales:

- ✓ 1 Director general de planta, encargado de las operaciones financieras y administrativas.
- ✓ 2 Administrativos para complementar al director general.
- ✓ 5 Operarios.
- ✓ 1 Operario de mantenimiento mecánico y encargado de almacén.
- ✓ 1 Operario de mantenimiento eléctrico.
- ✓ 1 Operario de mantenimiento de instrumentación y control.
- ✓ 1 Jefe de seguridad y un ayudante para gestionar la carga y descarga de los camiones y los servicios de vigilancia y limpieza.

Además de éstos se deberá contratar un servicio de seguridad para los días en los que la planta produzca, así como un servicio de limpieza. Ambos servicios se subcontratarán a empresas especializadas.

SERVICIO PRESTADO	COSTE ANUAL (€)
Director de planta	197.600
Operarios	113.172
Operadores de mantenimiento	54.322
Jefe de seguridad y ayudante	62.400
Administrativos	52.000
Vigilancia	156.000
Limpieza	46.944
Total	682.438

Tabla 3.2.2.1: Coste personal para una producción de 25.000 toneladas de biodiésel anuales.

SERVICIO PRESTADO	COSTE ANUAL (€)
Director de planta	197.600
Operarios	171.536
Operadores de mantenimiento	82.337
Jefe de seguridad y ayudante	62.400
Administrativos	52.000
Vigilancia	156.000
Limpieza	56.333
Total	778.207

Tabla 3.2.2.2: Coste personal para una producción de 50.000 toneladas de biodiésel anuales.

SERVICIO PRESTADO	COSTE ANUAL (€)
Director de planta	197.600
Operarios	260.000
Operadores de mantenimiento	124.800
Jefe de seguridad y ayudante	62.400
Administrativos	52.000
Vigilancia	156.000
Limpieza	67.600
Total	920.400

Tabla 3.2.2.3: Coste personal para una producción de 100.000 toneladas de biodiésel anuales.

SERVICIO PRESTADO	COSTE ANUAL (€)
Director de planta	197.600
Operarios	394.086
Operadores de mantenimiento	189.161
Jefe de seguridad y ayudante	62.400
Administrativos	52.000
Vigilancia	156.000
Limpieza	81.120
Total	1.132.368

Tabla 3.2.2.4: Coste personal para una producción de 200.000 toneladas de biodiésel anuales.

SERVICIO PRESTADO	COSTE ANUAL (€)
Director de planta	197.600
Operarios	597.323
Operadores de mantenimiento	286.715
Jefe de seguridad y ayudante	62.400
Administrativos	52.000
Vigilancia	156.000
Limpieza	97.344
Total	1.449.382

Tabla 3.2.2.5: Coste personal para una producción de 400.000 toneladas de biodiésel anuales.

Gastos de materia prima y reactivos

En este apartado nos centraremos en el material necesario para la producción de nuestro biodiésel, para ello, como indicamos anteriormente buscaremos las distintas alternativas entre los aceites vegetales convencionales. Nos centraremos por tanto en los siguientes aceites:

TIPO DE ACEITE	PRECIO POR TONELADA (€/TONELADA)
Aceite de colza	753,65
Aceite de girasol	672,17
Aceite de palma	651,63
Aceite de soja	667,12
Aceite de maní	1.281,97

Tabla 3.2.2.6: Precio por tonelada .de los aceites convencionales.

Siendo el coste de las materias primas fijo en las diferentes escalas, siempre y cuando el proveedor nos mantenga los precios constantes, podemos analizar los distintos casos variando la materia prima del metiléster y el volumen de producción. Se muestra a continuación cada materia prima con las diferentes producciones:

Aceite de colza

COMPUESTO	CONSUMO TONELADAS/AÑO	PRECIO POR TONELADA (€/TONELADA)	COSTE ANUAL (€)
Aceites vegetales	25.000	753,65	18.841.250
Metanol	2.500	315	787500
Reactivos y aditivos	1.250	31,3	39125
Total			19.667.875

Tabla 3.2.2.7: Costes variables para una producción de 25.000 toneladas de biodiésel anual empleando aceite de colza.

COMPUESTO	CONSUMO TONELADAS/AÑO	PRECIO POR TONELADA (€/TONELADA)	COSTE ANUAL (€)
Aceites vegetales	50.000	753,65	37.682.500
Metanol	5.000	315	1.575.000
Reactivos y aditivos	2.500	31,3	782.500
Total			40.040.000

Tabla 3.2.2.8: Costes variables para una producción de 50.000 toneladas de biodiésel anual empleando aceite de colza.

COMPUESTO	CONSUMO TONELADAS/AÑO	PRECIO POR TONELADA (€/TONELADA)	COSTE ANUAL (€)
Aceites vegetales	100.000	753,65	75.365.000
Metanol	10.000	315	3.150.000
Reactivos y aditivos	5.000	31,3	156.500
Total			78.671.500

Tabla 3.2.2.9: Costes variables para una producción de 100.000 toneladas de biodiésel anual empleando aceite de colza.

COMPUESTO	CONSUMO TONELADAS/AÑO	PRECIO POR TONELADA (€/TONELADA)	COSTE ANUAL (€)
Aceites vegetales	200.000	753,65	150.730.000
Metanol	20.000	315	6.300.000
Reactivos y aditivos	10.000	31,3	313.000
Total			157.343.000

Tabla 3.2.2.10: Costes variables para una producción de 200.000 toneladas de biodiésel anual empleando aceite de colza.

COMPUESTO	CONSUMO TONELADAS/AÑO	PRECIO POR TONELADA (€/TONELADA)	COSTE ANUAL (€)
Aceites vegetales	400.000	753,65	301.460.000
Metanol	40.000	315	12.600.000
Reactivos y aditivos	20.000	31,3	626.000
Total			314.686.000

Tabla 3.2.2.11: Costes variables para una producción de 400.000 toneladas de biodiésel anual empleando aceite de colza.

Aceite de girasol

COMPUESTO	CONSUMO TONELADAS/AÑO	PRECIO POR TONELADA (€/TONELADA)	COSTE ANUAL (€)
Aceites vegetales	25.000	672,17	16.804.250
Metanol	2.500	315	787.500
Reactivos y aditivos	1.250	31,3	3.9125
Total			17.630.875

Tabla 3.2.2.12: Costes variables para una producción de 25.000 toneladas de biodiésel anual empleando aceite de girasol.

COMPUESTO	CONSUMO TONELADAS/AÑO	PRECIO POR TONELADA (€/TONELADA)	COSTE ANUAL (€)
Aceites vegetales	50.000	672,17	33.608.500
Metanol	5.000	315	1.575.000
Reactivos y aditivos	2.500	31,3	782.500
Total			35.966.000

Tabla 3.2.2.13: Costes variables para una producción de 50.000 toneladas de biodiésel anual empleando aceite de girasol.

COMPUESTO	CONSUMO TONELADAS/AÑO	PRECIO POR TONELADA (€/TONELADA)	COSTE ANUAL (€)
Aceites vegetales	100.000	672,17	67.217.000
Metanol	10.000	315	3.150.000
Reactivos y aditivos	5.000	31,3	156.500
Total			70.523.500

Tabla 3.2.2.14: Costes variables para una producción de 100.000 toneladas de biodiésel anual empleando aceite de girasol.

COMPUESTO	CONSUMO TONELADAS/AÑO	PRECIO POR TONELADA (€/TONELADA)	COSTE ANUAL (€)
Aceites vegetales	200.000	672,17	134.434.000
Metanol	20.000	315	6.300.000
Reactivos y aditivos	10.000	31,3	313.000
Total			141.047.000

Tabla 3.2.2.15: Costes variables para una producción de 200.000 toneladas de biodiésel anual empleando aceite de girasol.

COMPUESTO	CONSUMO TONELADAS/AÑO	PRECIO POR TONELADA (€/TONELADA)	COSTE ANUAL (€)
Aceites vegetales	400.000	672,17	268.868.000
Metanol	40.000	315	12.600.000
Reactivos y aditivos	20.000	31,3	626.000
Total			282.094.000

Tabla 3.2.2.16: Costes variables para una producción de 400.000 toneladas de biodiésel anual empleando aceite de girasol.

Aceite de palma

COMPUESTO	CONSUMO TONELADAS/AÑO	PRECIO POR TONELADA (€/TONELADA)	COSTE ANUAL (€)
Aceites vegetales	25.000	484,96	12.124.000
Metanol	2.500	315	787.500
Reactivos y aditivos	1250	31,3	39.125
Total			12.950.625

Tabla 3.2.2.17: Costes variables para una producción de 25.000 toneladas de biodiésel anual empleando aceite de palma.

COMPUESTO	CONSUMO TONELADAS/AÑO	PRECIO POR TONELADA (€/TONELADA)	COSTE ANUAL (€)
Aceites vegetales	50.000	484,96	24.248.000
Metanol	5000	315	1.575.000
Reactivos y aditivos	2.500	31,3	782.500
Total			26.605.500

Tabla 3.2.2.18: Costes variables para una producción de 50.000 toneladas de biodiésel anual empleando aceite de palma.

COMPUESTO	CONSUMO TONELADAS/AÑO	PRECIO POR TONELADA (€/TONELADA)	COSTE ANUAL (€)
Aceites vegetales	100.000	484,96	48.496.000
Metanol	10.000	315	3.150.000
Reactivos y aditivos	5.000	31,3	156.500
Total			51.802.500

Tabla 3.2.2.19: Costes variables para una producción de 100.000 toneladas de biodiésel anual empleando aceite de palma.

COMPUESTO	CONSUMO TONELADAS/AÑO	PRECIO POR TONELADA (€/TONELADA)	COSTE ANUAL (€)
Aceites vegetales	200.000	484,96	96.992.000
Metanol	20.000	315	6.300.000
Reactivos y aditivos	10.000	31,3	313.000
Total			103.605.000

Tabla 3.2.2.20: Costes variables para una producción de 200.000 toneladas de biodiésel anual empleando aceite de palma.

COMPUESTO	CONSUMO TONELADAS/AÑO	PRECIO POR TONELADA (€/TONELADA)	COSTE ANUAL (€)
Aceites vegetales	400.000	484,96	193.984.000
Metanol	40.000	315	12.600.000
Reactivos y aditivos	20.000	31,3	626.000
Total			207.210.000

Tabla 3.2.2.21: Costes variables para una producción de 400.000 toneladas de biodiésel anual empleando aceite de palma.

Aceite de soja

COMPUESTO	CONSUMO TONELADAS/AÑO	PRECIO POR TONELADA (€/TONELADA)	COSTE ANUAL (€)
Aceites vegetales	25.000	667,12	16.678.000
Metanol	2.500	315	787.500
Reactivos y aditivos	1250	31,3	39.125
Total			17.504.625

Tabla 3.2.2.22: Costes variables para una producción de 25.000 toneladas de biodiésel anual empleando aceite de soja.

COMPUESTO	CONSUMO TONELADAS/AÑO	PRECIO POR TONELADA (€/TONELADA)	COSTE ANUAL (€)
Aceites vegetales	50.000	667,12	33.356.000
Metanol	5.000	315	1.575.000
Reactivos y aditivos	2.500	31,3	782.500
Total			35.713.500

Tabla 3.2.2.23: Costes variables para una producción de 50.000 toneladas de biodiésel anual empleando aceite de soja.

COMPUESTO	CONSUMO TONELADAS/AÑO	PRECIO POR TONELADA (€/TONELADA)	COSTE ANUAL (€)
Aceites vegetales	100.000	667,12	66.712.000
Metanol	10.000	315	3.150.000
Reactivos y aditivos	5.000	31,3	156.500
Total			70.018.500

Tabla 3.2.2.24: Costes variables para una producción de 100.000 toneladas de biodiésel anual empleando aceite de soja.

COMPUESTO	CONSUMO TONELADAS/AÑO	PRECIO POR TONELADA (€/TONELADA)	COSTE ANUAL (€)
Aceites vegetales	200.000	667,12	133.424.000
Metanol	20.000	315	6.300.000
Reactivos y aditivos	10.000	31,3	313.000
Total			140.037.000

Tabla 3.2.2.25: Costes variables para una producción de 200.000 toneladas de biodiésel anual empleando aceite de soja.

COMPUESTO	CONSUMO TONELADAS/AÑO	PRECIO POR TONELADA (€/TONELADA)	COSTE ANUAL (€)
Aceites vegetales	400.000	667,12	266.848.000
Metanol	40.000	315	12.600.000
Reactivos y aditivos	20.000	31,3	626.000
Total			280.074.000

Tabla 3.2.2.26: Costes variables para una producción de 400.000 toneladas de biodiésel anual empleando aceite de soja.

Aceite de maní

COMPUESTO	CONSUMO TONELADAS/AÑO	PRECIO POR TONELADA (€/TONELADA)	COSTE ANUAL (€)
Aceites vegetales	25.000	1281,97	32.049.250
Metanol	2.500	315	787.500
Reactivos y aditivos	1250	31,3	39.125
Total			32.875.875

Tabla 3.2.2.27: Costes variables para una producción de 25.000 toneladas de biodiésel anual empleando aceite de maní.

COMPUESTO	CONSUMO TONELADAS/AÑO	PRECIO POR TONELADA (€/TONELADA)	COSTE ANUAL (€)
Aceites vegetales	50.000	1281,97	64.098.500
Metanol	5000	315	1.575.000
Reactivos y aditivos	2.500	31,3	782.500
Total			66.456.000

Tabla 3.2.2.28: Costes variables para una producción de 50.000 toneladas de biodiésel anual empleando aceite de maní.

COMPUESTO	CONSUMO TONELADAS/AÑO	PRECIO POR TONELADA (€/TONELADA)	COSTE ANUAL (€)
Aceites vegetales	100.000	1281,97	128.197.000
Metanol	10.000	315	3.150.000
Reactivos y aditivos	5.000	31,3	156.500
Total			131.503.500

Tabla 3.2.2.29: Costes variables para una producción de 100.000 toneladas de biodiésel anual empleando aceite de maní.

COMPUESTO	CONSUMO TONELADAS/AÑO	PRECIO POR TONELADA (€/TONELADA)	COSTE ANUAL (€)
Aceites vegetales	200.000	1281,97	256.394.000
Metanol	20.000	315	6.300.000
Reactivos y aditivos	10.000	31,3	313.000
Total			263.007.000

Tabla 3.2.2.30: Costes variables para una producción de 200.000 toneladas de biodiésel anual empleando aceite de maní.

COMPUESTO	CONSUMO TONELADAS/AÑO	PRECIO POR TONELADA (€/TONELADA)	COSTE ANUAL (€)
Aceites vegetales	400.000	1281,97	512.788.000
Metanol	40.000	315	12.600.000
Reactivos y aditivos	20.000	31,3	626.000
Total			526.014.000

Tabla 3.2.2.31: Costes variables para una producción de 400.000 toneladas de biodiésel anual empleando aceite de maní.

Servicios auxiliares

Consideramos en este apartado los servicios necesarios para la producción de nuestro producto. Incluimos así, los gastos de suministro de vapor y agua bruta requeridos, así como la energía eléctrica y el nitrógeno. Podemos considerar un coste de 22,88 euros por cada tonelada de metiléster producido.

CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN	COSTE ANUAL (€)
25.000 toneladas	572.000
50.000 toneladas	1.144.000
100.000 toneladas	2.288.000
200.000 toneladas	4.567.000
400.000 toneladas	9.152.000

Tabla 3.2.2.32: Coste de los servicios auxiliares para las distintas producciones anuales

Revisión anual y repuestos

El concepto de la seguridad y el mantenimiento de la instalación lo repercutiremos como hemos visto en el coste de personal, sin embargo, cada año es aconsejable realizar una inspección para garantizar el correcto funcionamiento de todos los procesos. Además del coste de esta inspección, podemos encontrar ciertos desperfectos o fallos en los sistemas, por lo que cabe incluir los repuestos y reparaciones que se encuentren necesarios.

CONCEPTO	COSTE ANUAL (€)
Revisión anual	135.806
Repuestos	120.867
Total	256.673

Tabla 3.2.2.33: Coste de revisión anual y repuestos para una producción de 25.000 toneladas de biodiésel anuales

CONCEPTO	COSTE ANUAL (€)
Revisión anual	205.843
Repuestos	183.200
Total	389.044

Tabla 3.2.2.34: Coste de revisión anual y repuestos para una producción de 50.000 toneladas de biodiésel anuales

CONCEPTO	COSTE ANUAL (€)
Revisión anual	312.000
Repuestos	277.680
Total	589.680

Tabla 3.2.2.35: Coste de revisión anual y repuestos para una producción de 100.000 toneladas de biodiésel anuales

<u>CONCEPTO</u>	<u>COSTE ANUAL (€)</u>
Revisión anual	472.904
Repuestos	420.884
Total	893.788

Tabla 3.2.2.36: Coste de revisión anual y repuestos para una producción de 200.000 toneladas de biodiésel anuales

<u>CONCEPTO</u>	<u>COSTE ANUAL (€)</u>
Revisión anual	716.788
Repuestos	637.941
Total	1.354.729

Tabla 3.2.2.37: Coste de revisión anual y repuestos para una producción de 400.000 toneladas de biodiésel anuales

Transporte

Antes hemos tratado el coste de la obtención de las materias primas, para lo que empleamos un conducto gracias a la cercanía con el puerto y con la refinería de Tarragona. Nos planteamos ahora el caso en el que tenemos un excedente de producción en relación con la demanda de la citada refinería; para solventar este problema se enviará a otra refinería. Tendríamos como candidatas, por su proximidad, a la refinería de Castellón y de Bilbao, sin embargo, como la refinería de Castellón tiene su demanda casi satisfecha, nos quedaremos con la de Bilbao, capaz de absorber todo nuestro excedente.

Para el cálculo del transporte desde nuestra refinería hemos empleado un programa proporcionado por el Gobierno de España, ACOTRAM, en el cual introducimos la distancia entre refinerías y obtenemos el precio estimado para cada viaje, suponiendo que empleamos un camión cisterna de 13.000 litros.

Costes de un servicio concreto (Cisterna articulada (mercancías peligrosas: químicos))

Cálculo Personalizado (30/04/2019)

COSTE DEL SERVICIO (toneladas-kilómetro)

Coste unitario por tonelada-kilómetro **0,05334** €/tonelada-km

COSTE DEL SERVICIO (kilómetros y horas)

	Servicio 1	Servicio 2	Servicio 3	Servicio 4	Servicio 5
- Costes repercutidos únicamente a este servicio (Euros)					
- Kilómetros en carga en este servicio	536,8	1,0			
- Horas en carga en este servicio					
	Euros (€)	Euros (€)	Euros (€)	Euros (€)	Euros (€)
COSTE DEL SERVICIO según el tipo de costes unitarios (Euros)					
Kilómetros	1.002,15	1,87			
Horas					
Kilómetros y horas					

Figura : Coste unitario del servicio de transporte entre las refinerías de Tarragona y Bilbao.

Por tanto, teniendo en cuenta nuestro excedente y la distancia entre las refinerías tendremos:

CONCEPTO	COSTE ANUAL (€)
Transporte entre refinerías	9.019.808,961

Tabla 3.2.2.38: Coste de transporte entre refinerías para una producción de 400.000 toneladas de biodiésel anuales y un transporte de 106.000 toneladas.

Seguros

Debemos además de la seguridad contratar un servicio de seguro en caso de ocurrir alguna eventualidad ya sea debido al diseño, a la maquinaria o al factor humano.

CAPACIDAD DE LA PLANTA (TONELADAS/AÑO)	COSTE ANUAL (€)
25.000	5.000
50.000	10.000
100.000	20.000
200.000	20.000
400.000	40.000

Tabla 3.2.2.39: Coste de los seguros para las distintas producciones anuales.

Ingresos

Como hemos mencionado, vamos a realizar el diseño de diversas plantas con distintos volúmenes de producción y distinta materia prima. La instalación además del metiléster proporcionará una glicerina que podrá ser vendida con diversos propósitos como se menciona en el apartado técnico.

El precio de venta del biodiésel no es constante, dependiendo del precio del diésel producido en la refinería. Para tener un precio actualizado hemos recurrido a precios anteriores y tendencias, el cual estaba influido por las importaciones argentinas.

Sin embargo, el precio actual podría variar debido al acuerdo alcanzado entre la Unión Europea y Argentina en el que se permite a ocho empresas argentinas a importar productos, hasta una cuantía de 1,2 millones de toneladas anuales, exentos de aranceles, garantizándose un precio mínimo que irá variando cada trimestre. Los precios son todavía confidenciales, por lo que no podemos contar con ello, sin embargo, no sabemos cómo afectará a los mercados nacionales.

. Para el cálculo de los ingresos generados en la venta del biodiésel hemos supuesto que conseguimos vender toda la producción a la refinería de Tarragona. Para el caso de una producción de 400.000 toneladas tendremos un excedente de 106.000 toneladas, estas deberíamos venderlas a la refinería más cercana, repercutiendo esto un coste en transporte.

Para la venta de la glicerina dependeremos también de los precios de mercado, por lo que lo venderemos como glicerina bruta o refinada dependiendo de los beneficios que podamos obtener. Consideraremos un precio general de 15€/tonelada.

PRODUCTO	CANTIDAD ANUAL EN TONELADAS	PRECIO POR TONELADA (€/TONELADA)	INGRESOS (€)
Metiléster	25.000	800	20.000.000
Glicerina	2.500	15	37.500
Total			20.037.500

Tabla 3.2.2.40: Ingresos para una producción de 25.000 toneladas de biocombustible anuales

PRODUCTO	CANTIDAD ANUAL EN TONELADAS	PRECIO POR TONELADA (€/TONELADA)	INGRESOS (€)
Metiléster	50.000	800	40.000.000
Glicerina	5.000	15	75.000
Total			40.075.000

Tabla 3.2.2.41: Ingresos para una producción de 50.000 toneladas de biocombustible anuales

PRODUCTO	CANTIDAD ANUAL EN TONELADAS	PRECIO POR TONELADA (€/TONELADA)	INGRESOS (€)
Metiléster	100.000	800	80.000.000
Glicerina	10.000	15	150.000
Total			80.150.000

Tabla 3.2.2.42: Ingresos para una producción de 100.000 toneladas de biocombustible anuales

PRODUCTO	CANTIDAD ANUAL EN TONELADAS	PRECIO POR TONELADA (€/TONELADA)	INGRESOS (€)
Metiléster	200.000	800	160.000.000
Glicerina	20.000	15	300.000
Total			160.300.000

Tabla 3.2.2.43: Ingresos para una producción de 200.000 toneladas de biocombustible anuales

PRODUCTO	CANTIDAD ANUAL EN TONELADAS	PRECIO POR TONELADA (€/TONELADA)	INGRESOS (€)
Metiléster	400.000	800	320.000.000
Glicerina	40.000	15	600.000
Total			320.600.000

Tabla 3.2.2.44: Ingresos para una producción de 400.000 toneladas de biocombustible anuales

3.2.3 Análisis de rentabilidad

Para analizar la rentabilidad de cada caso emplearemos el Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR) como indicadores. Para ello comenzaremos calculando el flujo de caja que habría en un año para cada tipo de materia prima y cada volumen de producción.

Para tener una mayor sensibilidad a la hora de tomar decisiones podremos marcar varios escenarios.

Escenario 1

En este escenario tendremos en cuenta los datos con los que hemos estado tratando anteriormente en cuanto a producción y demanda de biodiésel española. Se impone un mínimo del 7% de biodiésel para poder comercializar el diésel proveniente de las refinerías.

Los costes de operación será la suma de todos los gastos anteriormente mencionados en los que incurrimos al producir nuestro biodiésel

Comenzamos con los balances anuales de todos los casos posibles.

Aceite de colza

VOLUMEN DE PRODUCCIÓN EN TONELADAS	INGRESOS (€)	COSTES DE OPERACIÓN (€)	BALANCE (€)
25.000	20.037.500	21.178.487	-1.140.987
50.000	40.075.000	41.646.000	-1.571.000
100.000	80.150.000	82.467.580	-2.317.580
200.000	160.300.000	163.941.155	-3.641.155
400.000	320.600.000	335.653.920	-15.053.920

Tabla 3.2.3.1: Balance anual de la producción de biodiésel con aceite de colza

Aceite de girasol

VOLUMEN DE PRODUCCIÓN EN TONELADAS	INGRESOS (€)	COSTES DE OPERACIÓN (€)	BALANCE (€)
25.000	20.037.500	19.141.987	895.513
50.000	40.075.000	37.573.000	2.502.000
100.000	80.150.000	74.321.580	5.828.420
200.000	160.300.000	147.649.155	12.650.845
400.000	320.600.000	303.069.920	17.530.080

Tabla 3.2.3.2: Balance anual de la producción de biodiésel con aceite de girasol

Aceite de palma

VOLUMEN DE PRODUCCIÓN EN TONELADAS	INGRESOS (€)	COSTES DE OPERACIÓN (€)	BALANCE (€)
25.000	20.037.500	18.628.487	1.409.013
50.000	40.075.000	36.546.000	3.529.000
100.000	80.150.000	72.267.280	7.882.420
200.000	160.300.000	143.541.155	16.758.845
400.000	320.600.000	294.853.920	25.746.080

Tabla 3.2.3.3: Balance anual de la producción de biodiésel con aceite de palma

Aceite de soja

VOLUMEN DE PRODUCCIÓN EN TONELADAS	INGRESOS (€)	COSTES DE OPERACIÓN (€)	BALANCE (€)
25.000	20.037.500	19.015.737	1.021.763
50.000	40.075.000	37.320.500	2.754.500
100.000	80.150.000	73.816.580	6.333.420
200.000	160.300.000	146.639.155	13.660.845
400.000	320.600.000	301.049.920	19.550.080

Tabla 3.2.3.4: Balance anual de la producción de biodiésel con aceite de soja

Aceite de maní

VOLUMEN DE PRODUCCIÓN EN TONELADAS	INGRESOS (€)	COSTES DE OPERACIÓN (€)	BALANCE (€)
25.000	20.037.500	34.386.987	-14.349.487
50.000	40.075.000	68.063.000	-27.988.000
100.000	80.150.000	135.301.580	-55.151.580
200.000	160.300.000	269.609.155	-109.309.155
400.000	320.600.000	546.989.920	-226.389.920

Tabla 3.2.3.5: Balance anual de la producción de biodiésel con aceite de maní

Observamos que tanto los balances de colza como de girasol son de partida negativas debido a su alto precio, lo que supone una gran diferencia respecto a los demás aceites, provocando que estos no sean competitivos actualmente.

Una vez tenemos esto podremos adentrarnos en el cálculo del VAN y del TIR y observar la rentabilidad de los distintos casos al introducir los costes fijos.

El VAN se define como un criterio de inversión que consiste en actualizar los cobros y pagos de un proyecto para conocer cuánto se ganaría con esa inversión. Para ello, traeremos los flujos de caja futuros al momento presente descontándolos a un tipo de interés. El tipo de interés vendrá dado por aquel que nos daría una operación más segura, como podría ser un depósito bancario, o bonos del estado; es decir, nos indica cuánto vale ahora el dinero de una fecha futura.

Comenzamos entonces a plantear los casos del VAN. Intentaremos que nuestra planta quede pagada en 10 años. En la actualidad nos encontramos con tipos de interés muy bajos, por lo que aumentaremos la casuística usando 1%, 2% y 3% como tasas de descuento.

Para calcular el VAN emplearemos la fórmula que se describe a continuación:

$$VAN = \sum_{t=1}^{10} \frac{V_t}{(1+k)^t} - I_0$$

Donde:

- * V_t = Flujo de caja del periodo t
- * k = Tasa de descuento
- * I_0 = Inversión inicial

Pasamos a los casos, para ello iremos indicando el VAN para cada tipo de aceite con sus correspondientes volúmenes de producción y los diferentes tipos de interés.

Aceite de colza

TASA DE DESCUENTO	VAN PARA 25.000 TONELADAS (€)	VAN PARA 50.000 TONELADAS (€)	VAN PARA 100.000 TONELADAS (€)	VAN PARA 200.000 TONELADAS (€)	VAN PARA 400.000 TONELADAS (€)
1%	-27.058.076	-38.609.482	-57.016.081	-86.733.460	-220.869.354
2%	-26.500.453	-37.841.703	-55.883.434	-84.953.954	-213.512.209
3%	-23.580.386	-37.131.011	-54.835.002	-83.306.763	-212.375.877,43

Tabla 3.2.3.6: VAN para los distintos volúmenes de producción y tasas de descuento empleando aceite de colza

Aceite de girasol

TASA DE DESCUENTO	VAN PARA 25.000 TONELADAS (€)	VAN PARA 50.000 TONELADAS (€)	VAN PARA 100.000 TONELADAS (€)	VAN PARA 200.000 TONELADAS (€)	VAN PARA 400.000 TONELADAS (€)
1%	-7.769.764	-32.829	20.137.166	67.573.033	87.743.633
2%	-8.207.419	-1.255.635	17.288.703	61.390.318	79.173.340
3%	-8.612.533	-2387.495	14.652.030	55.667.302	71.246.045

Tabla 3.2.3.7: VAN para los distintos volúmenes de producción y tasas de descuento empleando aceite de colza

Aceite de palma

TASA DE DESCUENTO	VAN PARA 25.000 TONELADAS (€)	VAN PARA 50.000 TONELADAS (€)	VAN PARA 100.000 TONELADAS (€)	VAN PARA 200.000 TONELADAS (€)	VAN PARA 400.000 TONELADAS (€)
1%	-2.906.249	9.694.171	39.591.225,26	106.481.152	165.559.871
2%	-3.594.861	7.969.480	35.738.932,70	98.290.778	152.977.259
3%	-4.232.274	6.373.023	32.173.066,44	90.709.375	141.330.192

Tabla 3.2.3.8: VAN para los distintos volúmenes de producción y tasas de descuento empleando aceite de colza

Aceite de soja

TASA DE DESCUENTO	VAN PARA 25.000 TONELADAS (€)	VAN PARA 50.000 TONELADAS (€)	VAN PARA 100.000 TONELADAS (€)	VAN PARA 200.000 TONELADAS (€)	VAN PARA 400.000 TONELADAS (€)
1%	-36.574.012	2.358.655	24.920.175	77.139.051	106.875.668
2%	-70073.368	1.012.468	21.824.909	70.462.729	97.321.162
3%	-7.535.595	-233.618	18.959.782	64.282.806	88.477.054

Tabla 3.2.3.9: VAN para los distintos volúmenes de producción y tasas de descuento empleando aceite de colza

Aceite de maní

TASA DE DESCUENTO	VAN PARA 25.000 TONELADAS (€)	VAN PARA 50.000 TONELADAS (€)	VAN PARA 100.000 TONELADAS (€)	VAN PARA 200.000 TONELADAS (€)	VAN PARA 400.000 TONELADAS (€)
1%	-152.159.801	-288.812.934	-557.422.985	-1.087.547.268	-2.222.496.968
2%	-145.146.927	-275.134.651	-530.469.331	-1.034.125.749	-2.111.855.794
3%	-138.655.475	-262.473.379	-505.519.739	-984.676.236	-2.009.441.030

Tabla 3.2.3.10 : VAN para los distintos volúmenes de producción y tasas de descuento empleando aceite de colza

Analizando los resultados observamos que tanto aquellas producciones empleando la colza y el maní como materia prima, obtenemos resultados negativos. Esto era esperado ya que los balances anuales nos salen negativos, por lo que nunca serán rentables.

Podemos ver como dentro de los resultados negativos hay casos en los que a medida que aumenta la tasa de descuento los valores aumentan y otros en los que disminuyen. Esto puede ser explicado, pues en los casos en que los balances anuales desde un primer momento son negativos, cuanto mayor sea la cantidad que descontamos menor será el VAN que obtendremos, mientras que en el caso en el que el balance sea positivo, pero no se llegue a recuperar la inversión, cuanto mayor sea la tasa más nos alejamos de poder recuperarla.

Destacamos también que todos los casos en los que la producción se limita a 25.000 toneladas anuales obtenemos resultados negativos. Esto es debido a que con una producción limitada de esta manera no seremos capaces de recuperar siquiera la inversión inicial realizada. Ocurre de manera análoga con la producción de 50.000 toneladas anuales con girasol como materia prima, pero en este caso dependiendo del tipo de interés.

Con el cálculo del VAN somos capaces de saber si el proyecto nos reportará beneficios suponiendo un tipo de interés fijado por nosotros. Sin embargo, nos puede interesar conocer si nuestro negocio es viable considerando otras opciones de inversión de menor riesgo.

Para ello calculamos la TIR; ésta transforma la rentabilidad de la empresa en un porcentaje o tasa de rentabilidad a fin de poder comparar con otras alternativas.

Para calcular el TIR emplearemos la fórmula que se muestra a continuación:

$$VAN = \sum_{t=0}^{10} \frac{V_t}{(1 + TIR)^t} = 0$$

Al igual que antes, tendremos que:

- * V_t = Flujo de caja del periodo t
- * I_0 = Inversión inicial
- * A continuación, se muestran los resultados.

Aceite de colza

PRODUCCIÓN ANUAL	25.000 TONELADAS	50.000 TONELADAS	100.000 TONELADAS	200.000 TONELADAS	400.000 TONELADAS
TIR	-	-	-	-	-

Tabla 3.2.3.11: TIR para los distintos volúmenes de producción empleando aceite de colza

Aceite de girasol

PRODUCCIÓN ANUAL	25.000 TONELADAS	50.000 TONELADAS	100.000 TONELADAS	200.000 TONELADAS	400.000 TONELADAS
TIR	-10%	1%	10%	20%	18%

Tabla 3.2.3.12: TIR para los distintos volúmenes de producción empleando aceite de girasol

Aceite de palma

PRODUCCIÓN ANUAL	25.000 TONELADAS	50.000 TONELADAS	100.000 TONELADAS	200.000 TONELADAS	400.000 TONELADAS
TIR	-3%	8%	18%	30%	31%

Tabla 3.2.3.13: TIR para los distintos volúmenes de producción empleando aceite de palma

Aceite de soja

PRODUCCIÓN ANUAL	25.000 TONELADAS	50.000 TONELADAS	100.000 TONELADAS	200.000 TONELADAS	400.000 TONELADAS
TIR	-8%	3%	12%	23%	21%

Tabla 3.2.3.14: TIR para los distintos volúmenes de producción empleando aceite de soja

Aceite de maní

PRODUCCIÓN ANUAL	25.000 TONELADAS	50.000 TONELADAS	100.000 TONELADAS	200.000 TONELADAS	400.000 TONELADAS
TIR	-	-	-	-	-

Tabla 3.2.3.15: TIR para los distintos volúmenes de producción empleando aceite de maní

De nuevo repasamos los resultados. Al igual que antes, no tiene sentido plantear el TIR de las producciones con colza y maní por ser negativo el balance, y por tanto no ser posible obtener una tasa de rentabilidad que consiga un VAN igual a cero. Observamos que la rentabilidad aumenta a medida que aumenta la capacidad de la planta, esto es debido en parte a que los equipos, la obra y el personal cuestan menos en relación al aumento de capacidad productiva y en parte a que el margen entre el coste de la materia prima y los ingresos obtenidos por la producción se hacen cada vez mayores.

Además de esto, podemos observar que el aumento de la rentabilidad se ve reducido en la producción con palma e incluso disminuye en la soja y el girasol al pasar de producir 200.000 a 400.000 toneladas. Esta deceleración o recesión se debe a que una vez pasamos las 300.000 la refinería de Tarragona no es capaz de absorber toda nuestra producción por lo que deberemos mandar nuestro biodiésel a la refinería de Bilbao como se explicó anteriormente, incurriendo en un nuevo gasto que solo se aplica en este caso.

Obtenemos unos valores muy elevados para las producciones a altos volúmenes de producción, esto puede chocar en un primer momento con los datos del sector del biodiésel en España que solamente se recuperaron un poco cuando Argentina e Indonesia dejaron de importar biodiésel.

Estos datos los podemos explicar con las grandes importaciones que tiene España de un biodiésel mucho más barato como el proveniente de los países anteriormente citados. El mercado español se ve inundado de estos productos contra los cuales el biodiésel no puede competir fácilmente, por ello las grandes plantas no pueden vender toda su producción a las plantas, lo que les provoca que lleven su producción a niveles inferior a los de su capacidad. Así podemos ver como los precios se ajustan para que a niveles inferiores de producción el biodiésel sea lo más competitivo posible y aun así se obtengan beneficios, podemos comprobar como las plantas de entre 50.000 y 100.000 toneladas pueden producir y tener beneficios, con precios superiores a los del biodiésel importado, una vez este último ha ocupado su cuota de mercado.

Escenario 2

En este escenario nos centraremos en el caso en el que la Unión Europea imponga como se marcó como objetivo un 8,5% de biodiésel mínimo para el diésel comercial. Este caso supone que siendo la producción de biodiésel española la misma, las refinerías deberán adquirir mayor cantidad de biodiésel.

Pasamos a mostrar las distintas demandas que tendrían las refinerías en dicho caso.

REFINERÍA	PODRÍA COMPRAR (MILES DE TONELADAS/AÑO)
<i>Repsol Bilbao</i>	368
<i>Repsol Cartagena</i>	150
<i>Repsol A Coruña</i>	74
<i>Repsol Puertollano</i>	186
<i>Repsol Tarragona</i>	374
<i>Cepsa Huelva</i>	-94
<i>Cepsa Cádiz</i>	315
<i>BP Castellón</i>	-331
<i>Total global</i>	438

Tabla 3.1.3: Posible demanda de biodiésel por refinería.

Para nuestra planta esto significa que la refinería de Tarragona puede absorber una mayor parte de nuestra producción. Para los primeros casos en los que la producción es inferior a 373.000 toneladas no nos afectará, sin embargo, en el caso de la producción de 400.000 toneladas tendremos que transportar un menor excedente, lo que implica un coste inferior y por tanto un aumento en la rentabilidad.

Los gastos de transporte, tomando los valores de coste de cada viaje y la capacidad de nuestro camión cisterna, en este caso serán los siguientes.

<u>CONCEPTO</u>	<u>COSTE ANUAL (€)</u>
Transporte entre refinerías	2.209.912,57

Tabla 3.2.3.16: Coste de transporte entre refinerías para una producción de 400.000 toneladas de biodiésel anuales.

De esta manera, cambian los gastos variables totales para cada una de las materias primas cuando buscamos la máxima capacidad. Debido a que los resultados de los demás no variaran, mostramos a continuación solamente el caso en el que se producen 400.000 toneladas.

TIPO DE ACEITE	INGRESO (€)	COSTES DE OPERACIÓN (€)	BALANCE (€)
Aceite de colza	320.600.000	328.843.924	-8.243.9.24
Aceite de girasol	320.600.000	296.259.924	24.340.076
Aceite de palma	320.600.000	288.043.924	32.556.076
Aceite de soja	320.600.000	294.239.924	26.360.076
Aceite de maní	320.600.000	540.179.924	-219.579.924

Tabla 3.2.3.17: Balance de operación para una producción de 400.000 toneladas en el escenario 2.

Seguimos manteniendo las pérdidas si empleamos los aceites de colza y de maní, ya que la rebaja en el transporte no es tan sustancial como para compensar el alto precio de ambas materias primas.

Comprobamos ahora la rentabilidad que tendrá nuestro proyecto con los indicadores empleados anteriormente.

TASA DE DESCUENTO	VAN PARA EL ACEITE DE COLZA (€)
1%	-156.369.804
2%	-152.340.838
3%	-148.611.433

Tabla 3.2.3.18: VAN para el aceite de colza en el escenario 2

TASA DE DESCUENTO	VAN PARA EL ACEITE DE GIRASOL (€)
1%	152.243.183
2%	140.347.712
3%	129.336.695

Tabla 3.2.3.19: VAN para el aceite de girasol en el escenario 2

TASA DE DESCUENTO	VAN PARA EL ACEITE DE PALMA (€)
1%	230.059.421
2%	214.148.631
3%	199.420.842

Tabla 3.2.3.20: VAN para el aceite de palma en el escenario 2

TASA DE DESCUENTO	VAN PARA EL ACEITE DE SOJA (€)
1%	171.375.218
2%	158.492.534
3%	146.567.706

Tabla 3.2.3.21: VAN para el aceite de soja en el escenario 2

TASA DE DESCUENTO	VAN PARA EL ACEITE DE MANÍ (€)
1%	-2.157.997.418
2%	-2.050.684
3%	-1.951.350.380

Tabla 3.2.3.22: VAN para el aceite de maní en el escenario 2

Podemos observar que en este caso los valores son mucho mayores, el primero y el último caso como era de esperar salen negativos indicando que no son rentables como ya conocíamos, sin embargo, en los otros casos se observa que la rentabilidad ha aumentado considerablemente, casi llegando a doblarse en el caso del aceite de girasol.

Pasamos a mirar la tasa de rentabilidad que nos ofrecen los proyectos.

	ACEITE DE COLZA	ACEITE DE GIRASOL	ACEITE DE PALMA	ACEITE DE SOJA	ACEITE DE MANÍ
TIR	-	29%	40%	31%	-

Tabla 3.2.3.23: TIR para los distintos tipos de aceites para el escenario 2

Observamos como la deceleración que encontrábamos anteriormente se ha arreglado en gran medida, llegando a alcanzar unas tasas altísimas. Como comentamos antes, este caso solo se daría si vendiésemos toda nuestra producción a estos precios. Debemos recordar eso sí, que estos precios son los que nos aseguran una rentabilidad a bajos niveles de producción, que será donde podamos manejarnos en un mercado donde nuestros competidores pueden ofrecer unos precios muy inferiores a los nuestros pero que, no completan el mercado al completo.

Comparamos los resultados obtenidos del VAN y del TIR en los casos que cambian.

Escenario 3

En este escenario nos centraremos en el supuesto en el que los acuerdos entre la Unión Europea y las empresas argentinas provoquen un acuerdo de precios mínimos que sea realmente efectivo. Es decir, supondremos en este caso que los precios de las importaciones argentinas asciendan hasta los niveles que tienen a día de hoy las plantas de producción españolas.

En este caso, las plantas españolas podrían mantener los precios y ser competitivas produciendo una mayor cantidad de toneladas anuales. Es decir, tendríamos los datos del escenario 1 o del escenario 2, dependiendo de si se produce el aumento del mínimo exigido o no, pero teniendo en cuenta que no nos moveríamos en cuotas de mercado bajas como antes entre 50.000 y 100.000 toneladas anuales, sino que podríamos aumentar la producción hasta 200.000 o 400.000 y seguir teniendo una cuota de mercado que ocupar.

Escenario 4

Tratamos en este caso una situación parecida a la del caso anterior, debido a la incógnita que genera el no conocer los precios con los que tratan las negociaciones. Suponemos aquí que en los acuerdos no se alcanzan los precios actuales para las plantas españolas, sino que se llega a un precio medio entre los que tuvieron anteriormente y los precios de las plantas nacionales.

Si se llegara a un acuerdo así, las plantas españolas podrían bajar los precios y cubrir una cuota de mercado superior a la que ostentan actualmente, lo que podría producir más beneficios para las empresas, es decir, tendríamos que bajar los precios de los productos, pero cubrir una demanda mayor.

Pasamos a analizar los balances de caja y la rentabilidad que tendríamos en el caso en el que el precio por tonelada de metiléster se fijase a 775 €/tonelada, encontrándose cercano al precio anterior de 800 €/tonelada. Analizamos cada materia prima.

Aceite de colza

VOLUMEN DE PRODUCCIÓN EN TONELADAS	INGRESOS (€)	COSTES DE OPERACIÓN (€)	BALANCE (€)
25.000	19.412.500	21.178.487	-1.765.987
50.000	38.825.000	41.646.000	-2.821.000
100.000	77.650.000	82.467.580	-4.817.580
200.000	155.300.000	163.941.155	-8.641.155
400.000	310.600.000	335.653.920	-25.053.920

Tabla 3.2.3.24: Balance anual de la producción de biodiésel con aceite de colza para el escenario

Aceite de girasol

VOLUMEN DE PRODUCCIÓN EN TONELADAS	INGRESOS (€)	COSTES DE OPERACIÓN (€)	BALANCE (€)
25.000	19.412.500	19.141.987	270.513
50.000	38.825.000	37.573.000	1.252.000
100.000	77.650.000	74.321.580	3.328.420
200.000	155.300.000	147.649.155	7.650.845
400.000	310.600.000	303.069.920	7.530.080

Tabla 3.2.3.25: Balance anual de la producción de biodiésel con aceite de girasol para el escenario 4

Aceite de palma

VOLUMEN DE PRODUCCIÓN EN TONELADAS	INGRESOS (€)	COSTES DE OPERACIÓN (€)	BALANCE (€)
25.000	19.412.500	18.628.487	784.013
50.000	38.825.000	36.546.000	2.279.000
100.000	77.650.000	72.267.580	5.382.420
200.000	155.300.000	143.541.155	11.758.845
400.000	310.600.000	294.853.920	15.746.080

Tabla 3.2.3.26: Balance anual de la producción de biodiésel con aceite de palma para el escenario 4

Aceite de soja

VOLUMEN DE PRODUCCIÓN EN TONELADAS	INGRESOS (€)	COSTES DE OPERACIÓN (€)	BALANCE (€)
25.000	19.412.500	19.015.737	396.763
50.000	38.825.000	37.320.500	1.504.500
100.000	77.650.000	73.816.580	3.833.420
200.000	155.300.000	146.639.155	8.660.845
400.000	310.600.000	301.049.920	9.550.080

Tabla 3.2.3.27: Balance anual de la producción de biodiésel con aceite de soja para el escenario 4

Aceite de maní

VOLUMEN DE PRODUCCIÓN EN TONELADAS	INGRESOS (€)	COSTES DE OPERACIÓN (€)	BALANCE (€)
25.000	19.412.500	34.386.987	-14.974.487
50.000	38.825.000	68.063.000	-29.238.000
100.000	77.650.000	135.301.580	-57.651.580
200.000	155.300.000	269.609.155	-114.309.155
400.000	310.600.000	546.989.920	-236.389.920

Tabla 3.2.3.28: Balance anual de la producción de biodiésel con aceite de maní para el escenario

4

Evidentemente vemos que nuestro balance se ha disminuido considerablemente. Continuamos con el análisis del VAN y del TIR.

Aceite de colza

TASA DE DESCUENTO	VAN PARA 25.000 TONELADAS (€)	VAN PARA 50.000 TONELADAS (€)	VAN PARA 100.000 TONELADAS (€)	VAN PARA 200.000 TONELADAS (€)	VAN PARA 400.000 TONELADAS (€)
1%	-32.977.641	-50.448.613	-80.694.342	-134.089.983	-315.582.399
2%	-32.114.569	-49.069.935	-78.339.897	-129.866.882	-303.338.059
3%	-31.315.668	-47.793.764	-76.160.510	-125.957.777	-292.004.112

Tabla 3.2.3.29: VAN para los distintos volúmenes de producción y tasas de descuento empleando aceite de colza para el escenario 4

Aceite de girasol

TASA DE DESCUENTO	VAN PARA 25.000 TONELADAS (€)	VAN PARA 50.000 TONELADAS (€)	VAN PARA 100.000 TONELADAS (€)	VAN PARA 200.000 TONELADAS (€)	VAN PARA 400.000 TONELADAS (€)
1%	-13.689.329	-11.871.989	-3.541.096	20.216.510	-6.969.412
2%	-13.821.535	-12.483.866	-5.167.759	16.477.393	-10.649.509
3%	-13.943.910	-13.050.248	-6.673.477	13.016.288	-14.055.983

Tabla 3.2.3.30: VAN para los distintos volúmenes de producción y tasas de descuento empleando aceite de girasol para el escenario 4

Aceite de palma

TASA DE DESCUENTO	VAN PARA 25.000 TONELADAS (€)	VAN PARA 50.000 TONELADAS (€)	VAN PARA 100.000 TONELADAS (€)	VAN PARA 200.000 TONELADAS (€)	VAN PARA 400.000 TONELADAS (€)
1%	-8.825.814	-2.144.959	15.912.964	59.124.629	70.846.826
2%	-9.208.977	-3.258.751	13.282.470	53.377.852	63.151.409
3%	-9.563.651	-4.289.730	10.847.559	48.058.361	56.028.163

Tabla 3.2.3.31: VAN para los distintos volúmenes de producción y tasas de descuento empleando aceite de palma para el escenario 4

Aceite de soja

TASA DE DESCUENTO	VAN PARA 25.000 TONELADAS (€)	VAN PARA 50.000 TONELADAS (€)	VAN PARA 100.000 TONELADAS (€)	VAN PARA 200.000 TONELADAS (€)	VAN PARA 400.000 TONELADAS (€)
1%	-12.493.577	-9.480.485	1.142.913,21	29.782.528	12.162.623
2%	-12.687.483	-10.215.763	-631.553,99	25.549.804	7.495.312
3%	-12.866.872	-10.896.372	-2.365.724,84	21.631.723	3.175.026

Tabla 3.2.3.32: VAN para los distintos volúmenes de producción y tasas de descuento empleando aceite de soja para el escenario 4

Aceite de maní

TASA DE DESCUENTO	VAN PARA 25.000 TONELADAS (€)	VAN PARA 50.000 TONELADAS (€)	VAN PARA 100.000 TONELADAS (€)	VAN PARA 200.000 TONELADAS (€)	VAN PARA 400.000 TONELADAS (€)
1%	-158.079.367	-300.652.064	-581.101.245,86	-1.134.903.790	-2.317.210.013
2%	-150.761.043	-286.362.883	-552.925.793,09	-1.079.038.674	-2.201.681.644
3%	-143.986.852	-273.136.133	-526.845.246,36	-1.027.327.250	-2.094.743.059

Tabla 3.2.3.33: VAN para los distintos volúmenes de producción y tasas de descuento empleando aceite de maní para el escenario 4

Aceite de colza

PRODUCCIÓN ANUAL	25.000 TONELADAS	50.000 TONELADAS	100.000 TONELADAS	200.000 TONELADAS	400.000 TONELADAS
TIR	-	-	-	-	-

Tabla 3.2.3.34: TIR para los distintos volúmenes de producción empleando aceite de colza en el escenario 4

Aceite de girasol

PRODUCCIÓN ANUAL	25.000 TONELADAS	50.000 TONELADAS	100.000 TONELADAS	200.000 TONELADAS	400.000 TONELADAS
TIR	-24%	-10%	-1%	8%	-1%

Tabla 3.2.3.35: TIR para los distintos volúmenes de producción empleando aceite de girasol en el escenario 4

Aceite de palma

PRODUCCIÓN ANUAL	25.000 TONELADAS	50.000 TONELADAS	100.000 TONELADAS	200.000 TONELADAS	400.000 TONELADAS
TIR	-11%	-1%	9%	18%	15%

Tabla 3.2.3.36: TIR para los distintos volúmenes de producción empleando aceite de palma en el escenario 4

Aceite de soja

PRODUCCIÓN ANUAL	25.000 TONELADAS	50.000 TONELADAS	100.000 TONELADAS	200.000 TONELADAS	400.000 TONELADAS
TIR	-20%	-8%	2%	10%	4%

Tabla 3.2.3.37: TIR para los distintos volúmenes de producción empleando aceite de soja en el escenario 4

Aceite de maní

PRODUCCIÓN ANUAL	25.000 TONELADAS	50.000 TONELADAS	100.000 TONELADAS	200.000 TONELADAS	400.000 TONELADAS
TIR	-	-	-	-	-

Tabla 3.2.3.38: TIR para los distintos volúmenes de producción empleando aceite de maní en el escenario 4

Analizando los resultados vemos lo esperado, una disminución de las rentabilidades, y unos valores de VAN inferiores para cada caso. Sin embargo, debemos tener presente que en este caso no nos moveremos en los mismos rangos de producción que en el escenario 1; deberíamos comparar los beneficios obtenidos entre los rangos de 50.000 y 100.000 toneladas anuales del primer caso con los de 200.000 toneladas anuales de este caso.

Cuando hacemos esto es evidente que los beneficios obtenidos para este escenario son mayores, pues compensa bajar el precio si se llega a un mercado mayor.

Mostramos entonces la diferencia de VAN entre los escenarios 1 y 4 con sus posibles producciones respectivamente, evidenciando la gran diferencia de rentabilidad de los proyectos.

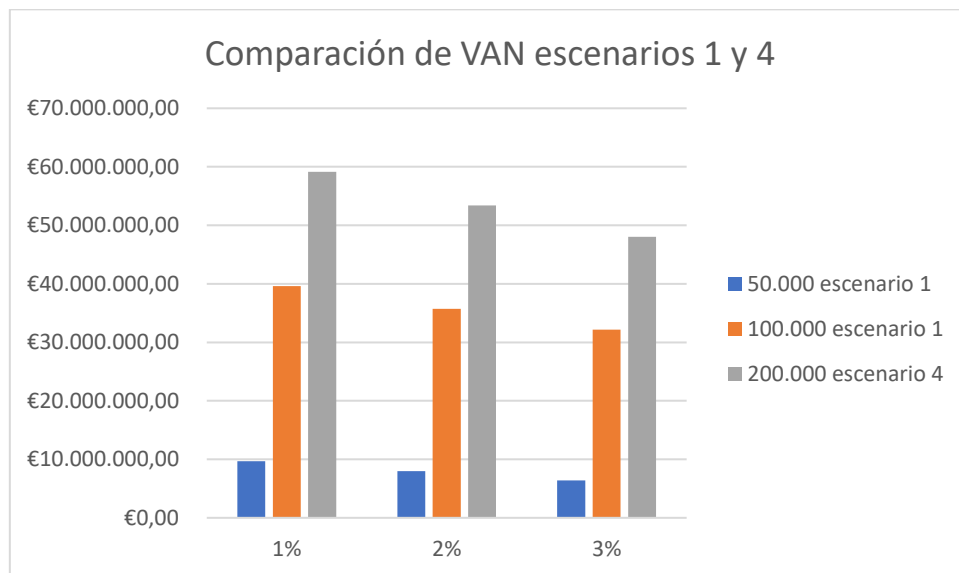


Figura 3.2.3.1: Comparación valores del VAN para las distintas cuotas de mercado que alcanzaremos en los escenarios 1 y 4

Escenario 5

En este último caso trataremos una combinación, de los supuestos 2 y 4, nos encontraremos por tanto ante un aumento del mínimo de biodiésel indispensable para la comercialización del diésel y con que podremos bajar los precios y ser competitivos a altos rangos de producción, compitiendo con el argentino.

Para todos los valores excepto para aquellos de una producción de 400.000 toneladas anuales los valores serán iguales, por lo que de nuevo volvemos a plasmar solo aquellos que varíen. De igual manera, la demanda posible por parte de las refinerías y el coste del transporte serán igual, por lo que no se mostrarán.

Pasamos a los balances, y los indicadores VAN y TIR.

Comenzamos con los balances.

TIPO DE ACEITE	INGRESO (€)	COSTES DE OPERACIÓN (€)	BALANCE (€)
Aceite de colza	310.600.000	328.843.924	-18.243.924
Aceite de girasol	310.600.000	296.259.924	14.340.076
Aceite de palma	310.600.000	288.043.924	22.556.076
Aceite de soja	310.600.000	294.239.924	16.360.076
Aceite de maní	310.600.000	540.179.924	-229.579.924

Tabla 3.2.3.39: Balance de operación para una producción de 400.000 toneladas en el escenario 5

Pasamos al cálculo del VAN.

TASA DE DESCUENTO	VAN PARA EL ACEITE DE COLZA (€)
1%	-251.082.849.351
2%	-242.166.688
3%	-233.913.462

Tabla 3.2.3.40: VAN para el aceite de colza en el escenario 5

TASA DE DESCUENTO	VAN PARA EL ACEITE DE GIRASOL (€)
1%	57.530.137.48
2%	50.521.862
3%	44.034.667

Tabla 3.2.3.41: VAN para el aceite de girasol en el escenario 5

TASA DE DESCUENTO	VAN PARA EL ACEITE DE PALMA (€)
1%	135.346.376
2%	124.322.781
3%	114.118.814

Tabla 3.2.3.42: VAN para el aceite de palma en el escenario 5

TASA DE DESCUENTO	VAN PARA EL ACEITE DE SOJA (€)
1%	76.662.172
2%	68.666.684
3%	61.265.677

Tabla 3.2.3.43: VAN para el aceite de soja en el escenario 5

TASA DE DESCUENTO	VAN PARA EL ACEITE DE MANÍ (€)
1%	-2.252.710.464
2%	-2.140.510.273
3%	-2.036.652.409

Tabla 3.2.3.44: VAN para el aceite de maní en el escenario 5

Terminamos con el cálculo de las distintas TIR

	ACEITE DE COLZA	ACEITE DE GIRASOL	ACEITE DE PALMA	ACEITE DE SOJA	ACEITE DE MANÍ
TIR	-	13%	26%	16%	-

Tabla 3.2.3.45: TIR para los distintos tipos de aceites para el escenario 5

Vemos que tenemos altos rendimientos, siendo en este caso aceptable tomarlos como ciertos, por lo que un proyecto en estas condiciones sería totalmente aconsejable emprenderlo.

Pasamos a hacer una comparación entre los escenarios 4 y 5 donde los precios de venta son iguales. Debido a esto y siendo la únicamente diferente en las producciones de 400.000 toneladas, nos centramos en estos volúmenes.

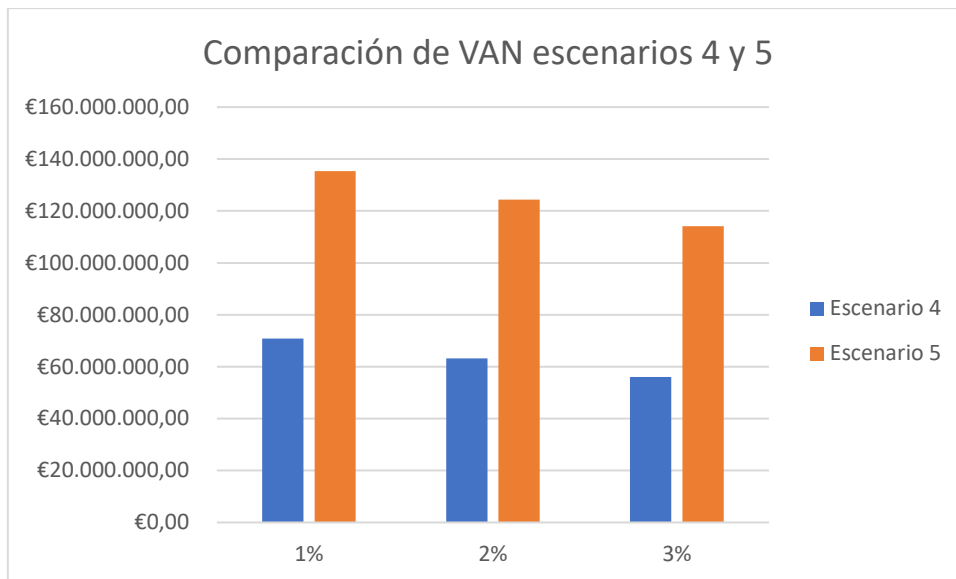


Figura 3.2.3.2: Comparación valores del VAN para 400.000 toneladas anuales en escenarios 4 y 5

Comprobando así que se aumentase el mínimo para la comercialización, una planta de tamaño tan grande sería rentable.

3.3 Conclusiones

Ante los datos presentados de los diversos escenarios podemos obtener ciertas conclusiones. Como se observa en todos los casos posibles, la materia prima con la que podremos obtener los mayores beneficios será con el aceite de palma crudo, seguido del aceite de soja y de girasol.

Asimismo, es evidente que en la actualidad la capacidad productiva de las plantas españolas se ve muy limitada por las grandes importaciones provenientes de fuera de la Unión Europea, como podría ser Argentina, con precios muy inferiores.

Como hemos visto en los escenarios 3, 4 y 5, esto puede resolverse si la Unión Europea obliga a las importaciones cumplan unos precios mínimos. Diferenciando entre si los precios impuestos por la Unión Europea fueran los de producción de la plantas españolas o si fueran inferiores a éstos, pero aun así se pudiera seguir compitiendo con ellos, se llega a la conclusión de que de los dos casos probables es evidente que el escenario 3, donde se igualan los precios, proporcionaría una mejor perspectiva de negocio, pues se entraría en el mercado como un competidor igual, con lo que nos olvidaríamos del problema que supone el biodiésel extranjero en la actualidad.

Para la segunda alternativa en la que el precio se acerque al actual español, pero sea inferior nos seguiría compensando, pues obtendríamos mayores cuotas de mercado que las que tenemos en la actualidad; en especial nos compensaría el escenario 5, donde se subiera el nivel mínimo de biodiésel para poder comercializar, en el que sería altamente aconsejable acometer la inversión en el proyecto teniendo unas tasas de retorno muy altas.

BIBLIOGRAFÍA

ARTÍCULOS

BP Energy Outlook: 2019 edition

Bruselas, 9.4.2019 COM(2019) 224 final INFORME DE LA COMISIÓN AL PARLAMENTO EUROPEO Y AL CONSEJO (Bruselas, 9.4.2019 COM(2019) 224 final INFORME DE LA COMISIÓN AL PARLAMENTO EUROPEO Y AL CONSEJO)

Informe Especial: El sistema de la UE para la certificación de los biocarburantes sostenibles (2016)

EU Biodiésel Market Outlook 2019 Greenea

Propiedades de flujo a baja temperatura del biodiésel de aceite de palma Cold flow properties of palm oil biodiésel Pedro Nel Benjumea*, John Ramiro Agudelo, John Ramiro Agudelo, Luis Alberto Ríos

A. Demirbaş (2008) Biodegradability of Biodiésel and Petrodiesel Fuels, Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects, 31:2, 169-174, DOI: 10.1080/15567030701521809

Barón, M., Huertas, I., Orjuela J.A., (2013). Gestión de la cadena productiva del biodiésel: una revisión de la literatura. En: Ingeniería, Vol. 18, Num. 1, págs. 84-117.

Eleonice Moreira Santos. Principales características de las materias primas utilizadas en la producción de biodiésel: la influencia del contenido y la concentración de los ácidos grasos

Arias Peñaranda, Martha Trinidad; Cañizares Villanueva, Rosa Olivia; Martínez Roldán, Alfredo de Jesús. Producción de biodiésel a partir de microalgas: Parámetros del cultivo que afectan la producción de lípidos

J:M. Encinar, N. Sánchez, G. Martínez, L. García Study of biodiésel production from animal fats with high free fatty acid content

Pedro Nel Benjumea Hernández, John Ramiro Agudelo Santamaría, Luis Alberto Ríos. Biodiésel: Producción, calidad y caracterización

Jose Ignacio Aguiler Peña. Sostenibilidad de los biocombustibles para autoconsumo en un entorno rural

Gerhard Knothe Biodiésel, biodiésel quality, astm standars

Ming Zheng, Mwila C. Mulenga, Graham T. Reader, Meiping Wang, David S-K. Ting, Jimi Tjong, Biodiésel engine performance and emisión in low temperatura combustión

RamónPiloto-Rodríguez, YiselSánchez-Borroto, Eliezer AhmedMelo-Espinosa, SebastianVerhelst. Assessment of diesel engine performance when fueled with biodiésel from algae and microalgae: An overview

Cengiz Öner y Şehmus Altun. Biodiésel production from inedible animal tallow and an experimental investigation of its use as alternative fuel in a direct injection diesel engine.

A.A.Apostolakou, I.K.Kookos, C.Marazioti, K.C.Angelopoulos

Techno-economic analysis of a biodiésel production process from vegetable oils

PÁGINAS WEB

<https://es.weforum.org/agenda/2019/05/la-energia-de-combustibles-fosiles-sigue-incrementandose/>

https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2030_es

<https://www.consilium.europa.eu/es/press/press-releases/2019/01/30/eu-energy-efficiency-rules-adapted-in-view-of-brexit/>

[https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Energy_production_and_imports/es#Tanto la UE como sus Estados miembros son importadores netos de energ.C3.ADa](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Energy_production_and_imports/es#Tanto_la_UE_como_sus_Estados_miembros_son_importadores_netos_de_energ.C3.ADa)

https://ec.europa.eu/clima/policies/international/negotiations/paris_es

<https://www.idae.es/tecnologias/energias-renovables/uso-termico/biocarburantes>

<https://www.idae.es/tecnologias/energias-renovables/uso-termico/biomasa>

[http://quiorgiti.pbworks.com/w/page/14949462/Intro Biodiésel C07](http://quiorgiti.pbworks.com/w/page/14949462/Intro_Biodiésel_C07)

http://ec.europa.eu/competition/state_aid/cases/172365/172365_583304_39_2.pdf

http://www.europarl.europa.eu/ftu/pdf/es/FTU_2.4.9.pdf

<http://www.greenea.com/wp-content/uploads/2019/01/Greenea-market-outlook-2019-V2.pdf>

<http://quimorg2.blogspot.com/2008/12/biodegradabilidad-del-biodiésel.html>

<https://www.clickgasoil.com/c/evolucion-del-precio-biodiésel>

<https://energia.gob.es/petroleo/Informes/InformesMensuales/DatosBibliotecaConsumer/2019/Enero-2019.pdf>

http://ec.europa.eu/environment/integration/research/newsalert/pdf/1si_en.pdf

<https://www.monografias.com/trabajos85/mecanismo-catalisis-acida-basica/mecanismo-catalisis-acida-basica.shtml>

https://www.construmatica.com/construpedia/La_Glicerina_en_el_Proceso_de_Transesterificaci%C3%B3n

<http://biodiéselq2.blogspot.com/2012/07/subproductos.html>

http://oa.upm.es/32796/1/PFC_Ignacio_Aguilera_Pena.pdf

<http://www.refinaciondeaceites.com/neutralizacion-del-aceite.html>

<http://www.refinaciondeaceites.com/proceso-de-blanqueo-de-aceite.html>

<http://www.refinaciondeaceites.com/desodorizacion-del-aceite.html>

https://issuu.com/terera/docs/informe_investigaci_n_11

<http://archive.commercialmotor.com/article/20th-september-1968/259/q-what-is-the-difference-between-bmep-and-imep-and>

<https://www.autonocion.com/inyeccion-diesel-motor/>

<http://archive.commercialmotor.com/article/20th-september-1968/259/q-what-is-the-difference-between-bmep-and-imep-and>

https://www.habitaclia.com/comprar-industrial-muy_bien_situado_calle_riu_llobregat_6_campclar-tarragona-i4670002251177.htm?m2=3000&st=3&f=&geo=p&lo=55

<https://www.methanex.com/our-business/pricing>

<https://www.ine.es/calcula/index.do?L=0>

<https://www.methanex.com/our-business/pricing>

<https://www.neste.com/corporate-info/investors/market-data/biodiésel-prices-sme-fame>

https://www.fomento.gob.es/recursos_mfom/observatoriocostes_enero2018.pdf

<https://www.fomento.gob.es/transporte-terrestre/servicios-al-transportista/descarga-de-programas/acotram-300>

<https://s3-eu-west-1.amazonaws.com/cjp-rbi-icis-globalassets/energy-biodiésel.pdf>

