



GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO ANÁLISIS TÉCNICO-ECONÓMICO DE LOS BIOCOMBUSTIBLES EN ESPAÑA

Autor: Jaime Gregorio Riber Sotoca

Director: Alberto Mascareñas Brito

Co-Directora: Helena Álvarez García

Madrid

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título

Análisis técnico-económico de los biocombustibles en España

en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el

curso académico 2023/2024 es de mi autoría, original e inédito y

no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos.

El Proyecto no es plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido

tomada de otros documentos está debidamente referenciada.

Fdo.: Jaime Gregorio Riber Sotoca

Fecha: 21/08/2024



Autorizada la entrega del proyecto

LOS DIRECTORES DEL PROYECTO

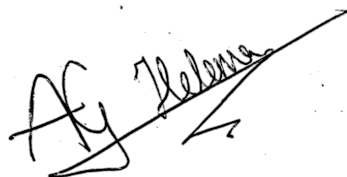
Fdo.: Alberto Mascareñas Brito

Fecha: ..22../ ..08../ 2024



Fdo.: Helena Álvarez García

Fecha:26/ ...08/ ...2024





GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO ANÁLISIS TÉCNICO-ECONÓMICO DE LOS BIOCOMBUSTIBLES EN ESPAÑA

Autor: Jaime Gregorio Riber Sotoca

Director: Alberto Mascareñas Brito

Co-Directora: Helena Álvarez García

Madrid

Agradecimientos

A mis directores, Alberto Mascareñas Brito y Helena Álvarez García, por ofrecerme la oportunidad de conocer un nuevo enfoque de los proyectos de ingeniería y por haber confiado en mi trabajo.

Gracias a María del Mar Cledera por habernos transmitido los conocimientos necesarios sobre la transición ecológica.

Gracias a mis profesores a lo largo del grado en ICAI por haberme transmitido todos los conocimientos que necesitaré, no sólo para mi desarrollo profesional, sino para mi desarrollo personal.

Gracias a mi familia y amigos por haberme apoyado durante esta etapa académica, que concluye con la realización de este proyecto.

ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO DE LOS BIOCOMBUSTIBLES EN ESPAÑA

Autor: Riber Sotoca, Jaime Gregorio.

Directores: Mascareñas Brito, Alberto y Álvarez García, Helena

Entidad Colaboradora: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

RESUMEN DEL PROYECTO

En este proyecto se ha analizado el mercado de los biocombustibles en España. Para ello, se ha hecho un estudio detallado de la historia y evolución de los biocombustibles, su desarrollo en España, materias primas, métodos productivos, infraestructura existentes y evoluciones de la demanda y producción de estos. A lo largo del proyecto, se ha centrado el análisis en un tipo de biocombustible determinado: el biodiésel. Además, se ha hecho una simulación técnica y económica bajo distintos escenarios, de la creación de una posible planta de producción de biodiésel.

Introducción

Reducir la huella de carbono es uno de los principales retos a enfrentar. Esta descarbonización depende en gran medida del desarrollo de alternativas sostenibles, que permitan reducir las emisiones en sectores difíciles de electrificar con las infraestructuras actuales. Es en este contexto, en el que los biocombustibles se convierten en actores principales, postulándose como la principal alternativa para disminuir drásticamente las emisiones de CO₂ en los procesos industriales o en el transporte terrestre, marítimo y aéreo.

Los biocombustibles son fuentes de energía renovable hechos a partir de materia orgánica o biomasa. Estos se clasifican en dos grandes grupos: biocombustibles de primera generación y biocombustibles de segunda generación. Los primeros provienen de cultivos agrícolas como el azúcar, el maíz o los aceites vegetales. Por su parte, los segundos se producen a partir de residuos orgánicos no alimenticios como desechos agrícolas, residuos orgánicos o aceites usados de cocina. Ambos constituyen una pieza fundamental para alcanzar los objetivos de descarbonización mencionados anteriormente.

Objetivos

El objetivo de este proyecto es el análisis técnico-económico de los biocombustibles en España. Para ello, se analizará la situación actual y se propondrán distintas medidas que ayuden a impulsar la transición energética, con la intención de contribuir al desarrollo sostenible en España. En este caso se implementarán las distintas medidas propuestas, simulando el impacto que estastendrán en el futuro próximo del país.

Resultados

En la simulación técnica y económica de la creación de la planta de producción se han obtenido diferentes resultados para cada uno de los escenarios propuestos. Atendiendo al caso principal en el que los niveles de producción y ventas son del 100%, y no existen ayudas o financiación externa, los resultados técnicos y económicos son los siguientes:

Litros	Anual
Biodiésel	258.152.174
Glicerina	27.173.913
Total	285.326.087

Producción anual de biodiésel

VAN =	59.888.054 €
TIR =	16,91%

Rentabilidad planta biodiésel

En el escenario principal de producción, en el que la planta se encuentra trabajando a su máxima capacidad y las ventas son del 100%, se obtiene un resultado muy favorable. Sin embargo, al establecer diferentes escenarios tanto en la producción, como en las ventas, los resultados no siempre han sido los mismos.

El escenario de producción más realista sería del 80% ya que permitiría tener un stock en caso de un aumento repentino de la demanda, y no habría un desaprovechamiento masivo de las instalaciones. Los otros dos escenarios de volumen de producción (100% y 50%), estarían incurriendo en los dos aspectos negativos mencionados.

En los resultados financieros se ha visto como el límite de producción con respecto a las ventas es demasiado elevado para que la planta sea rentable. Esto ha llevado a introducir nuevos supuestos en los que se han aplicado subvenciones o concedido préstamos. Todo ello ha reducido el límite productivo, mejorando las condiciones de inversión. Aún así la rentabilidad del proyecto ha quedado muy en entredicho al tener unos márgenes tan estrechos, siendo necesario analizar un posible reajuste de los gastos e ingresos de la planta.

TECNICAL-ECONOMIC ANALYSIS OF BIOFUELS IN SPAIN

Author: Riber Sotoca, Jaime Gregorio.

Supervisor: Mascareñas Brito, Alberto & Hernández García, Helena

Collaborating Entity: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

ABSTRACT

This project has analyzed the biofuel market in Spain. A detailed study was conducted on the history and evolution of biofuels, their development in Spain, raw materials, production methods, existing infrastructure, and the evolution of demand and production. Throughout the project, the analysis has focused on one specific type of biofuel: biodiesel. Additionally, a technical and economic simulation was carried out under different scenarios for the creation of a potential biodiesel production plant.

Introduction

Reducing the carbon footprint is one of the main challenges we face. This decarbonization largely depends on the development of sustainable alternatives that allow us to reduce emissions in sectors that are difficult to electrify with current infrastructures. In this context, biofuels become key players, positioning themselves as the main alternative to drastically reduce CO₂ emissions in industrial processes or in land, maritime, and air transport.

Biofuels are renewable energy sources made from organic matter or biomass. They are classified into two major groups: first-generation biofuels and second-generation biofuels. The first group comes from agricultural crops such as sugar, corn, or vegetable oils. The second group, on the other hand, is produced from non-food organic waste such as agricultural residues, organic waste, or used cooking oils. Both are fundamental to achieving the decarbonization goals.

Objectives

The objective of this project is to conduct a technical-economic analysis of biofuels in Spain. For this purpose, the current situation will be analyzed, and various measures will be proposed to help drive the energy transition, with the intention of contributing to sustainable development in Spain. The proposed measures will be implemented, simulating the impact they will have on the near future of the country.

Results

The technical and economic simulation of the creation of the production plant yielded different results for each of the proposed scenarios. Focusing on the main scenario, where production and sales levels are at 100% and there is no external aid or financing, the technical and economic results are as follows:

Litros	Anual
Biodiésel	258,152,174
Glicerina	27,173,913
Total	285,326,087

Producción anual de biodiésel

VAN =	59.888.054 €
TIR =	16,91%

Rentabilidad planta biodiésel

In the main production scenario, where the plant is operating at full capacity and sales are at 100%, the result is very favorable. However, when establishing different scenarios for both production and sales, the outcomes have not always been the same.

The most realistic production scenario would be at 80%, as it would allow for stock in case of a sudden increase in demand, and there would be no massive underutilization of the facilities. The other two production volume scenarios (100% and 50%) would incur the two aforementioned negative aspects.

The financial results have shown that the production limit relative to sales is too high for the plant to be profitable. This has led to the introduction of new assumptions, such as applying subsidies or granting loans. All of this has reduced the production limit, improving investment conditions. Even so, the profitability of the project remains highly questionable due to such narrow margins, making it necessary to analyze a possible adjustment of the plant's expenses and revenues.

Índice de la memoria

Capítulo 1. Introducción	6
1.1 Motivación del proyecto.....	6
1.2 Contexto y justificación del estudio	7
1.3 Objetivos	10
Capítulo 2. Marco teórico.....	12
2.1 Definición y tipos de biocombustibles	12
2.2 Historia y evolución de los biocombustibles.....	14
2.3 Normativas y políticas energéticas en España y Europa	16
2.4 Impacto ambiental de los biocombustibles.....	19
Capítulo 3. Situación actual de los biocombustibles en España.....	21
3.1 Producción y consumo de biocombustibles en España	21
Capítulo 4. Análisis técnico del biodiésel	27
4.1 Materias primas utilizadas.....	29
4.2 Transesterificación	31
Capítulo 5. Modelado de la planta	34
5.1 Procesos de producción	34
5.1.1 Descripción del proceso productivo.....	34
5.2 Proporciones de materias primas.....	42
5.3 Capacidad de la fábrica	46
5.3.1 Escenarios de producción	47
5.4 Escenarios.....	48
5.4.1 Producción al 100%	48
5.4.2 Producción al 80%	49
5.4.3 Producción al 50%	50
Capítulo 6. Análisis económico del biodiésel	53
6.1 Hipótesis.....	53
6.2 Inversión del proyecto	54
6.3 Pérdidas y ganancias del proyecto.....	56

6.4	Flujos de caja.....	64
6.5	Escenarios.....	65
6.5.1	Variación en las ventas	65
6.5.2	Subvenciones	68
6.5.3	Financiación.....	69
6.5.4	Otros escenarios.....	72
Capítulo 7. Conclusiones y recomendaciones		75
Capítulo 8. Bibliografía.....		78

Índice de figuras

Ilustración 1. Evolución del uso de energías renovables en la UE.....	7
Ilustración 2. Planta de biocombustibles "La rábida" en Palos de la Frontera (Huelva). Fuente: Expansión	8
Ilustración 3. Planta biocombustibles Repsol. Fuente: Repsol.....	9
Ilustración 4. ODS Agenda 2030. Fuente: un.org	10
Ilustración 5. Rudolf Diesel. Fuente: Wikipedia	15
Ilustración 6. Henry Ford. Fuente: Expansión.....	15
Ilustración 7. ASTM estándares biodiésel. Fuente: ASTM.....	28
Ilustración 8. Estructura triglicéridos. Fuente: 123RF	30
Ilustración 9. Estructura catalizador	31
Ilustración 10. Transesterificación. Fuente: LibreTexts	32
Ilustración 11. Planta de producción de biodiésel. Fuente: IDOM	34
Ilustración 12. Proceso de producción de biodiésel. Fuente: revistas.itm.edu.co	35
Ilustración 13. Proceso de transesterificación. Fuente: Research Gate	38
Ilustración 14. Reacción de transesterificación. Fuente: SciELO	38

Índice de tablas

Tabla 1. Metodología y tiempos del proyecto	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 2. Evolución de la producción de biocombustibles en España.....	22
Tabla 3. Producción, importaciones y exportaciones de biodiésel.....	22
Tabla 4. Producción, importaciones y exportaciones de bioetanol	23
Tabla 5. Producción, importaciones y exportaciones de bioetanol	25
Tabla 6. Producción, importaciones y exportaciones de biopropano	25
Tabla 7. Masas molares	42
Tabla 8. Características del aceite	42
Tabla 9. Características ácido oleico	43
Tabla 10. Características glicerol	43
Tabla 11. Características agua	43
Tabla 12. Moles de aceite en cada litro	43
Tabla 13. Características metanol.....	44
Tabla 14. Moles de metanol	44
Tabla 15. Características Metóxido de Sodio.....	45
Tabla 16. Características NaOH	45
Tabla 17. Proporciones materias primas.....	45
Tabla 18. Cantidad de aceite.....	46
Tabla 19. Capacidad de metanol.....	46
Tabla 20. Capacidad de NaOH	47
Tabla 21. Rendimientos biodiésel y glicerina	47
Tabla 22. Aceite usado al 100% de capacidad de la planta	48
Tabla 23. Volúmenes previos al 100% de capacidad	48
Tabla 24. Volúmenes finales al 100% de capacidad	49
Tabla 25. Aceite usado al 80% de capacidad de la planta.....	49
Tabla 26. Volúmenes previos al 80% de capacidad	50
Tabla 27. Volúmenes finales al 80% de capacidad	50
Tabla 28. Aceite usado al 50% de capacidad	51
Tabla 29. Volúmenes previos al 50% de capacidad	51

Tabla 30. Volúmenes finales al 50% de capacidad	51
Tabla 31. Inversión del proyecto	56
Tabla 32. Capacidad productiva de la planta.....	57
Tabla 33. Ventas anuales	57
Tabla 34. Coste MMPP por cada litro de aceite	58
Tabla 35. Coste del litro de biodiésel	58
Tabla 36. COGS anuales	59
Tabla 37. Número de empleados	59
Tabla 38. Coste de personal.....	59
Tabla 39. Coste seguridad social	60
Tabla 40. Gastos de suministro	60
Tabla 41. Aceite empleado	61
Tabla 42.Capacidad productiva de biodiésel	61
Tabla 43. Renting camiones	61
Tabla 44. Coste de transporte	61
Tabla 45. Amortización anual	62
Tabla 46. Resultado neto PyG	62
Tabla 47. Cuenta PyG principal	64
Tabla 48. Flujos de caja, VAN y TIR principales	65
Tabla 49. Flujos de caja, VAN y TIR escenario 1.1.....	66
Tabla 50. Flujos de caja, VAN y TIR escenario 1.2.....	67
Tabla 51. Flujos de caja, VAN y TIR escenario 2.....	68
Tabla 52. Cuadro de amortizaciones	69
Tabla 53. Flujos de caja, VAN y TIR escenario 3.1.....	71
Tabla 54. Flujos de caja, VAN y TIR escenario 3.2.....	72
Tabla 55. Desinversiones de inmovilizado material.....	72
Tabla 56. Flujos de caja, VAN y TIR escenario 4.....	73

Capítulo 1. INTRODUCCIÓN

1.1 MOTIVACIÓN DEL PROYECTO

Como miembros de la UE, España está fuertemente comprometida con la descarbonización y la transición hacia energías menos contaminantes. Es ahí donde entran en juego los biocombustibles, representando una gran alternativa sobre los combustibles fósiles. Estos últimos son uno de los principales responsables del cambio climático.

Centrando las miradas en un punto de vista ambiental, los biocombustibles supondrán el relevo de los combustibles fósiles, acabando con la tan ansiada huella de carbono. Esto tendrá además una serie de consecuencias muy positiva para el medioambiente, grandes consecuencias para la salud de la población, reduciendo la contaminación del aire respirado y así, mejorando la calidad de vida de las personas.

Por otro lado, ser un país puntero en el desarrollo de una nueva tecnología supone un crecimiento a nivel económico y de prestigio sin igual, situando al país como uno de los más desarrollados en cuanto a tecnologías energéticas se refiere.

Este interés por el desarrollo de los biocombustibles en España surge de la necesidad de encaminarnos hacia un futuro mucho más sostenible y limpio, además de alinearnos con las políticas establecidas en la UE. Todo ello supondrá un enorme crecimiento económico, social y medioambiental para España.

1.2 CONTEXTO Y JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO

El objetivo de la Unión Europea para el año 2020 fue elevar el consumo de las energías renovables hasta alcanzar una cuota de uso del 20%. Esto se alcanzó con creces, llegando hasta un 23% de consumo en el año 2022. En el año 2018, la UE planteó como objetivo llegar a unas cifras de 32% para el año 2030. Sin embargo, el crecimiento ha sido tan grande, que en el año 2023 se han tenido que replantear esos objetivos, estableciendo un 42,5% como el mínimo porcentaje que deberán suponer las energías renovables para el año 2030. (Europea)

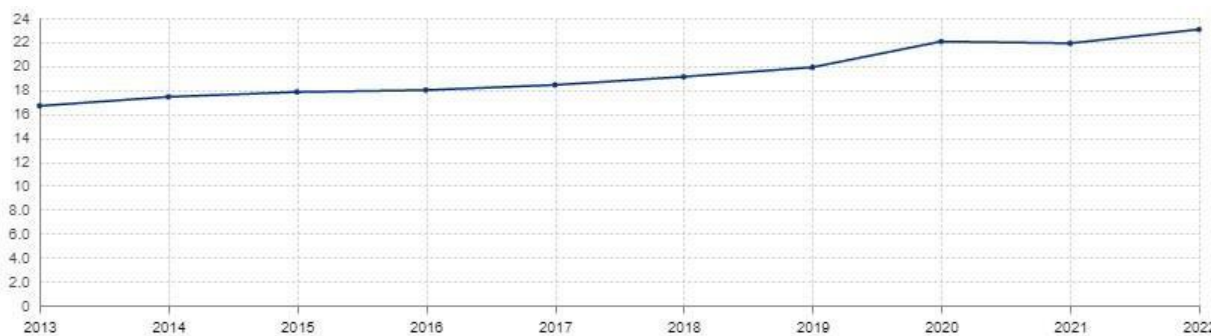


Ilustración 1. Evolución del uso de energías renovables en la UE

Dentro de las principales energías renovables empleadas por los países miembros de la UE, se encuentran los biocombustibles. Como consecuencia, se está fomentando la introducción de biocombustibles 2G, en detrimento de los 1G. Según la UE, estos deberán suponer un 3,5% del mercado para el año 2030, siendo alrededor de un 30% del consumo total de biocombustibles. Estas medidas son esenciales para alcanzar los objetivos establecidos en el paquete Fit-for-55 (55% de reducción de emisiones de CO₂ en 2030 respecto a 1990).

El impulso de los biocombustibles en España se está produciendo en gran medida gracias a distintos inversores privados. La compañía española Cepsa ha anunciado su objetivo de producir 2,5 millones de toneladas de biocombustible en el año 2030. En el año 2022, comenzó la producción de biocombustibles 2G en el parque energético “La Rábida” que tiene la compañía en Palos de la Frontera (Huelva). A comienzos del 2023, se anunció el acuerdo al que había llegado Cepsa con la compañía *Bio-Oils* para la construcción de uno de los mayores parques de producción de biocombustibles 2G del sur de Europa, en el parque energético “La Rábida”. A comienzos de 2024 se inició su construcción, con el objetivo de poder empezar a funcionar en el año 2026, permitiendo a ambas compañías duplicar su producción de biocombustibles.

Por otro lado, Cepsa ha comenzado a buscar y desarrollar posibles soluciones que permitan la producción de biometano en sus fábricas, procedentes de residuos agrícolas y ganaderos. Con todo ello se pretende llegar a una producción para el año 2030 que sea capaz de suministrar energía suficiente para más de 600.000 hogares en España, siendo la producción anual aproximadamente 2,5 millones de toneladas. (Cepsa)



Ilustración 2. Planta de biocombustibles "La rábida" en Palos de la Frontera (Huelva). Fuente: Expansión

Por su parte, la compañía energética española Repsol, ha decidido apostar de manera contundente por el mercado de los biocombustibles. Repsol ha recibido un préstamo de 120 millones de euros por parte del Banco Europeo de Inversiones, para la construcción de la primera planta de producción y explotación de biocombustibles avanzados en Cartagena (Región de Murcia). La planta, tendrá un coste de 200 millones de euros, y producirá biocombustible 2G a partir de diferentes residuos, como aceites usados de cocina y demás residuos de la industria agroalimentaria. (EIB)

El objetivo de Repsol es la producción de más de 250.000 toneladas anuales de biocombustibles avanzados, principalmente destinados al sector transporte. Con ello se pretende reducir la emisión de más de 900.000 toneladas de CO₂ al año. Los pilares principales de este proyecto son la economía circular y la transición energética, planteando como objetivo final una descarbonización total para el año 2050.

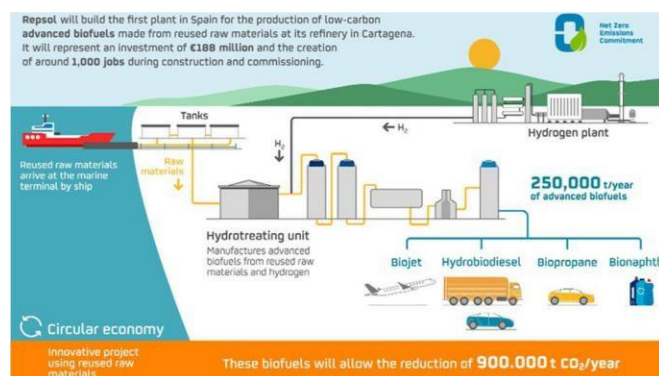


Ilustración 3. Planta biocombustibles Repsol. Fuente: Repsol

Tanto Cepsa como Repsol, son una significativa muestra de la importancia que tiene el desarrollo de los biocombustibles en nuestro país. Ambos gigantes del mercado energético se encargarán de crear el camino para que el resto de las empresas del sector vean con buenos ojos los biocombustibles, como una de las principales vías hacia la transición energética.

1.3 OBJETIVOS

Los Objetivos de desarrollo sostenible residen en conseguir un mejor futuro para todo el planeta. Para ello, centran sus esfuerzos en aspectos tan relevantes como la pobreza, la desigualdad, el clima, la degradación ambiental, la prosperidad, la paz y la justicia.



Ilustración 4. ODS Agenda 2030. Fuente: un.org

Los principales ODS a los que se alinea el proyecto son:

- Objetivo 7. Energía asequible y no contaminante: la transición energética, y más concretamente la descarbonización, son los objetivos principales del proyecto.
- Objetivo 9. Industria, innovación e infraestructura: será necesaria la inversión pública y privada en nuevas tecnologías que permitan desarrollar la producción e implementación de los biocombustibles.
- Objetivo 11. Ciudades y comunidades sostenibles: el uso de los biocombustibles permitirá reducir las emisiones de CO₂ y como consecuencia tener unas ciudades mucho más sostenibles.
- Objetivo 12. Producción y consumo responsables: las nuevas normativas acerca del uso y producción de biocombustibles no solo supondrán un consumo más responsable de combustibles fósiles, sino que también concienciará a la población en temas de contaminación.

- Objetivo 13. Acción por el clima: la implementación y el desarrollo de los biocombustibles tendrán un impacto directo en el medioambiente gracias a la reducción de la huella de carbono. Todo esto ayudara a frenar el cambio climático.

Capítulo 2. MARCO TEÓRICO

2.1 DEFINICIÓN Y TIPOS DE BIOCOMBUSTIBLES

Biocombustible es todo aquel combustible producido, tanto de forma directa como indirecta, a partir de fuentes orgánicas como la biomasa y demás recursos naturales.

La biomasa, por su parte, es material orgánico que proviene de plantas y animales. Se trata de una fuente de energía renovable que puede ser empleada para producir biocombustible y/o actuar como fuente de energía alternativa capaz de producir electricidad. Entre los principales tipos de biomasa encontramos la biomasa natural, la biomasa residual o la biomasa producida por cultivos energéticos.

Para poder transformar esta materia en biocombustibles, son necesarios una serie de procesos termoquímicos y bioquímicos. En primer lugar, se produce una fermentación que produce el bioetanol. Posteriormente, es sometido a un proceso de digestión anaerobia que permite la obtención de biogás. Esta energía producida mediante el uso de biocombustibles recibe el nombre de bioenergía.

A diferencia de los combustibles fósiles, los biocombustibles son considerados una fuente de energía renovable. Los biocombustibles son considerados como fuente de energía renovable porque se producen a partir de residuos orgánicos derivados de plantas y animales. Este material puede regenerarse de forma continuada e ininterrumpida a través de los distintos procesos naturales de nuestro ecosistema.

Los biocombustibles por su parte pueden clasificarse según su forma de producción o según el tipo de biocombustible que sea.

En función de la procedencia de la materia prima y de los procesos empleados para la obtención del biocombustible, se clasifican en:

- Biocombustibles de primera generación: son biocombustibles cuya procedencia son los cultivos agrícolas. Son generalmente conocidos como biocombustibles de transición, ya que suelen ser el medio para llegar a los biocombustibles. Su baja eficiencia o la emisión indirecta de gases de efecto invernadero son dos de las principales razones por las que se irá limitando su uso de manera progresiva. Ejemplos de estos biocombustibles son aquellos creados a partir de aceites vegetales, como el bioetanol y el biodiesel.
- Biocombustibles de segunda generación: son aquellos que se producen a partir de materias primas no alimentarias, como residuos agrícolas, residuos forestales, cultivos no alimentarios, aceites de cocina usados y demás residuos orgánicos urbanos. Este hecho favorece a la reutilización de residuos, reduciendo la cantidad de estos que llega a los vertederos. Entre los principales tipos de biocombustibles de segunda generación se encuentra el biogás, el biometano, el diésel renovable o los combustibles sintéticos.
- Biocombustibles de tercera generación: se desarrollan a partir de algas marinas, plantas acuáticas y otros microorganismos. A pesar de que la producción de este tipo de biocombustibles no se ha llevado a cabo a escala comercial, tiene el potencial de superar muchas barreras de los biocombustibles de generaciones anteriores. Entre sus principales ventajas están: la alta productividad de las algas por unidad de área, la no competencia con la producción de alimentos, la utilización de CO₂ por parte de las algas, mitigando estas emisiones, o su flexibilidad de producción al poder cultivar las algas en muy diversas condiciones.
- Biocombustibles de cuarta generación: este tipo de biocombustibles son aún más sofisticados, ya que pretenden modificar la estructura genética de los microorganismos. De esta forma, se pretende mejorar la eficiencia en la captación y alimentación del CO₂. Aunque todavía no se comercializa este tipo de biocombustibles, existen distintas plantas piloto a lo largo del continente americano.

Además, podemos encontrar los biocombustibles en distintos estados: líquidos o gaseosos. Entre los biocombustibles más utilizados en la actualidad se encuentran:

- Bioetanol: se trata de un biocombustible producido a partir de alimentos como el maíz, la caña de azúcar o el trigo, a través de un proceso de fermentación de azúcares, y una posterior destilación. Se mezcla con gasolina para producir combustibles como el E10 o el E85. Entre los principales productores de bioetanol se encuentran Estados Unidos, Brasil, China o la Unión Europea.
- Biodiésel: se produce a partir de aceites vegetales, grasa animales o aceites de cocina usados, mediante un proceso de *transesterificación* de aceites y grasas. Este proceso químico es el encargado de convertir estos aceites y grasas en biodiésel. Se mezcla con diésel para dar lugar a combustibles como el B5, B20 o B100.
- Biogás: se produce a partir de la descomposición anaeróbica de materia orgánica, como residuos agrícolas, estiércol y demás residuos orgánicos. Al ser un proceso anaeróbico, ocurre en ausencia de oxígeno, generando una mezcla de gases. Principalmente se produce la mezcla de metano y dióxido de carbono, cuyo resultado es capaz de generar electricidad, calor o combustibles para vehículos.

2.2 ***HISTORIA Y EVOLUCIÓN DE LOS BIOCOMBUSTIBLES***

Los primeros motores de combustión interna funcionaban mediante la mezcla de aire con el gas del carbón tras la combustión. La invención del motor diésel corresponde al ingeniero alemán Rudolf Diésel (1858-1913) en el año 1893.

El origen de los biocombustibles se remonta a finales del siglo XIX y principios del siglo XX. Rudolf Diésel, el famoso ingeniero alemán, fue el primero en experimentar con el uso de aceites vegetales como combustible para sus motores diésel. Estos visionarios experimentos, allanaron el camino para el desarrollo posterior del biodiésel como alternativa viable. (Dispetrocom, 2023)



Ilustración 5. Rudolf Diesel. Fuente: Wikipedia

Rudolf declaró en alguna ocasión: “El uso de los aceites vegetales como combustible y fuente energética podrá ser insignificante hoy, pero con el curso del tiempo será tan importante como el petróleo y el carbón”. (ontheroadtrends, s.f.)

A comienzos del siglo XX, el estadounidense Henry Ford diseñó el mítico Ford T, que se convertiría en el primer coche de producción en serie. Para ello Henry Ford inventó un modelo de producción llamado “taylorismo”, un sistema que consistía en dividir las tareas con los diferentes operarios, cronometrándolos para racionalizar mejor el trabajo de cada uno de ellos. (National Geographic, s.f.)

Inicialmente, el motor del Ford T funcionaba con combustibles vegetales derivados del cañadío, sin embargo, a lo largo de los años se fue reduciendo el precio de la gasolina y acabó sustituyendo al carburante de origen vegetal. Esto hizo que el desarrollo de los combustibles de origen vegetal se pospusiera durante las siguientes décadas.



Ilustración 6. Henry Ford. Fuente: Expansión

Aun siendo cierto que el inicio de los biocombustibles se remonta a finales del siglo XIX, no fue hasta la década de 1970 cuando empezaron a tomar fuerza. Las nuevas preocupaciones por el medioambiente y la búsqueda de nuevas fuentes de energía sostenibles dieron lugar a lo que se conoce como “Revolución Verde”. El biodiésel se postuló como una de las principales opciones sostenibles y respetuosas con el medioambiente.

A partir de la década de los 90 se intensificaron los estudios y experimentos alrededor de estos combustibles renovables. Los gobiernos comenzaron a apoyar las distintas iniciativas privadas a través de subvenciones y ayudas a la investigación y desarrollo.

2.3 NORMATIVAS Y POLÍTICAS ENERGÉTICAS EN ESPAÑA Y EUROPA

El importantísimo papel que juegan los biocombustibles en la transición hacia fuentes de energía más sostenibles ha obligado a los diferentes gobiernos de la Unión Europea a establecer una serie de medidas y normativas que legislen este sector y ayuden a impulsarlo. España, como miembro de la Unión Europea, no solo ha adoptado estas medidas, sino que también se ha visto obligada a aplicar las suyas propias.

A continuación, se muestra el marco normativo europeo y español del sector de los biocarburantes, extraído del IDEA (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía) junto con el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.

2.3.1.1 Ámbito Europeo

Fomento de uso y sostenibilidad:

- **Directiva (UE) 2015/1513** del Parlamento Europeo y del Consejo de 9 de septiembre de 2015, modifica la Directiva 98/70/CE y la Directiva 2009/28/CE, para mejorar la calidad de la gasolina y el gasóleo, y fomentar el uso de energía procedente de fuentes renovables.

- **Directiva 2009/28/CE** del Parlamento Europeo y del Consejo de 23 de abril de 2009, fomenta el uso de energía procedente de fuentes renovables, y modifica y deroga las Directivas 2001/77/CE y 2003/30/CE.

Especificaciones técnicas:

- **Directiva (UE) 2015/1513** modifica la Directiva 98/70/CE y la Directiva 2009/28/CE, abordando las especificaciones de calidad de combustibles.
- **Directiva (UE) 2015/652** del Consejo de 20 de abril de 2015, establece métodos de cálculo y requisitos de notificación relacionados con la calidad de la gasolina y el gasóleo.
- **Directiva 2009/30/CE** del Parlamento Europeo y del Consejo de 23 de abril de 2009, modifica la Directiva 98/70/CE, introduciendo mecanismos para controlar y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero.

Fiscalidad:

- **Directiva 2003/96/CE** de 27 de octubre de 2003, reestructura el régimen comunitario de imposición de productos energéticos y electricidad.

Aspectos comerciales:

- **Reglamento de Ejecución (UE) 2019/2092** de la Comisión de 28 de noviembre de 2019, impone un derecho compensatorio definitivo a las importaciones de biodiésel originario de Indonesia.
- **Reglamento de Ejecución (UE) 2019/244** de la Comisión de 11 de febrero de 2019, impone un derecho compensatorio definitivo a las importaciones de biodiésel originario de Argentina.
- **Decisión de Ejecución (UE) 2019/245** de la Comisión de 11 de febrero de 2019, acepta ofertas de compromiso sobre las importaciones de biodiésel originario de Argentina.

- **Reglamento de Ejecución (UE) 2015/1518** de la Comisión de 14 de septiembre de 2015, establece un derecho antidumping definitivo sobre las importaciones de biodiésel originario de los Estados Unidos de América.
- **Reglamento de Ejecución (UE) 2015/1519** de la Comisión de 14 de septiembre de 2015, establece un derecho compensatorio definitivo sobre las importaciones de biodiésel originario de los Estados Unidos de América.

2.3.1.2 *Ámbito Español*

Desarrollo del sector:

- **Ley 34/1998**, de 7 de octubre, del Sector de Hidrocarburos, modificada por la Ley 12/2007, establece el marco legal para el desarrollo y uso de biocarburantes en España.

Especificaciones técnicas:

- **Real Decreto 61/2006**, de 31 de enero, establece especificaciones para gasolinas, gasóleos, fuelóleos y gases licuados del petróleo, y regula el uso de biocarburantes. Modificado por el Real Decreto 1088/2010.

Fiscalidad:

- **Ley 38/1992**, de 28 de diciembre, de Impuestos Especiales, y sus modificaciones posteriores, regula la fiscalidad de los productos energéticos, incluyendo los biocarburantes.
- **Real Decreto 1165/1995**, de 7 de julio, aprueba el Reglamento de los Impuestos Especiales, modificado en varias ocasiones para incluir disposiciones sobre biocarburantes.

Obligación de uso:

- **Resolución de 11 de marzo de 2019**, de la Secretaría de Estado de Energía, incluye el biopropano en la normativa para fomentar el uso de biocarburantes.
- **Real Decreto 235/2018**, de 27 de abril, establece métodos de cálculo y requisitos de información sobre las emisiones de gases de efecto invernadero de los combustibles y la energía en el transporte.
- **Circular 1/2019**, de 13 de marzo, regula la gestión del mecanismo de fomento del uso de biocarburantes.
- **Real Decreto 1085/2015**, de 4 de diciembre, de fomento de los biocarburantes, y la **Orden IET/2786/2015**, modifican mecanismos de fomento del uso de biocarburantes.

Sostenibilidad:

- **Orden TEC/1420/2018**, de 27 de diciembre, desarrolla el Sistema Nacional de Verificación de la Sostenibilidad de los biocarburantes.
- **Real Decreto 1597/2011**, de 4 de noviembre, regula los criterios de sostenibilidad de los biocarburantes y biolíquidos en España.

(IDAE, s.f.)

2.4 *IMPACTO AMBIENTAL DE LOS BIOCOMBUSTIBLES*

Los biocombustibles son la principal alternativa hacia una transición energética que permita tener una economía mucho más sostenible. La principal misión y efecto de estos carburantes es su capacidad para la reducción de los gases de efecto invernadero. Aún así, como se comentará más adelante, el efecto de estos biocombustibles en el ambiente depende de multitud de factores, como el tipo de biocombustible, las materias primas utilizadas, los procesos de producción o como se reciclan estos combustibles.

El efecto invernadero es un fenómeno mediante el cual ciertos gases liberados a la atmósfera de forma artificial atrapan el calor, impidiendo que sea liberado al espacio, y aumentando la temperatura terrestre. Entre los principales gases de efecto invernadero se encuentran el dióxido de carbono (CO_2), el metano (CH_4) o el óxido nitroso (N_2O).

Los biocombustibles son carburantes procedentes de materia orgánica. Una de las principales funciones de este tipo de combustibles es la reducción de los gases de efecto invernadero. Los biocombustibles pueden ayudar a reducir las emisiones de CO_2 porque las ya que las plantas utilizadas para su producción absorben CO_2 . Este proceso es capaz de compensar las emisiones de CO_2 producidas cuando se queman estos combustibles, obteniendo un ciclo que equilibrado entre el CO_2 absorbido y liberado. Además, el CO_2 procedente de los combustibles fósiles acumulado en la atmósfera será absorbido por las plantas utilizadas para los biocombustibles en el momento que se produzca la transición. (National Geographic, s.f.)

Todas estas características hacen que los biocombustibles tengan un impacto sobre el medioambiente mucho más positivo que las alternativas fósiles. Además, los beneficios económicos y legales que ofrecen estos combustibles hacen de ellos la alternativa ideal.

Capítulo 3. SITUACIÓN ACTUAL DE LOS BIOCOMBUSTIBLES EN ESPAÑA

3.1 PRODUCCIÓN Y CONSUMO DE BIOCOMBUSTIBLES EN ESPAÑA

Durante las últimas décadas se ha producido en España un crecimiento sostenido en la producción de biocombustibles. Tanto las políticas gubernamentales españolas, como las directrices de la Unión Europea, han sido los principales impulsores de este crecimiento al fomentar el uso de energías renovables. Principalmente, el sector de los biocarburantes ha recibido un gran impulso con la entrada en vigor de la Directiva (UE) 2018/2001, que establece objetivos claros para la incorporación de biocarburantes en el *mix* energético de los Estados miembros.

Según los datos presentados por el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, la producción y el balance exterior de los principales tipos de biocombustibles en España es el que aparece en las siguientes tablas. En ellas se muestra la producción, importaciones y exportaciones de algunos de los biocarburantes más importantes, entre el año 2009 y el 2022. (Transición Ecológica y el Reto Demográfico)

A partir de los datos de las tablas que se mostrarán más adelante, puede visualizarse en la siguiente gráfica, la evolución en la producción de los diferentes biocombustibles en España desde 2009.

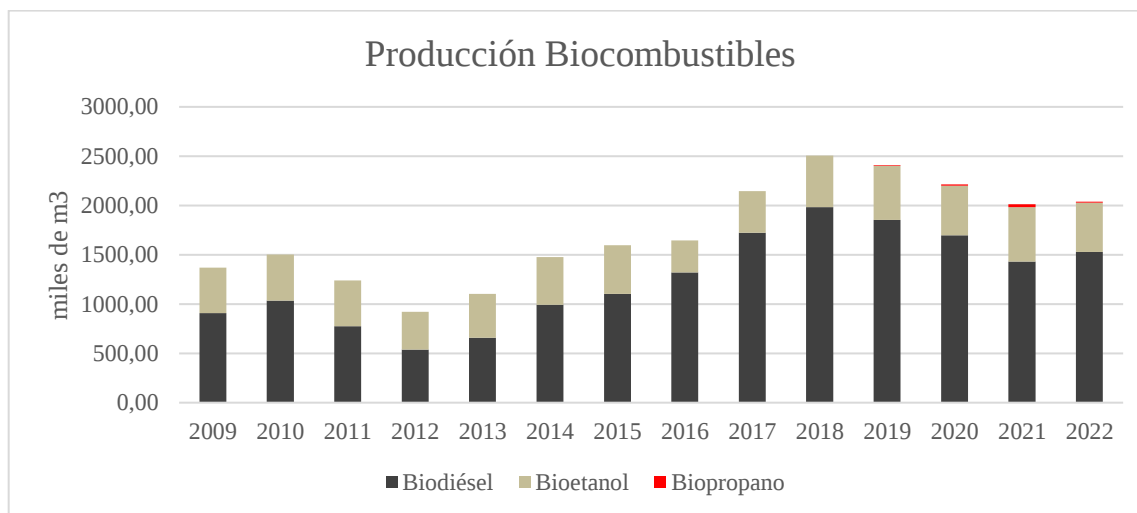


Tabla 1. Evolución de la producción de biocombustibles en España

- Biodiésel:

Año	Producción		Importaciones		Exportaciones	
	m³	% variación año anterior	m³	% variación año anterior	m³	% variación año anterior
2009	907,222	-	357,772	-	117,317	-
2010	1,033,674	13.94%	774,879	116.58%	219,741	87.31%
2011	775,823	-24.95%	1,354,694	74.83%	344,436	56.75%
2012	539,346	-30.48%	1,284,251	-5.20%	263,163	-23.60%
2013	659,284	22.24%	521,829	-59.37%	507,933	93.01%
2014	992,440	50.53%	197,381	-62.18%	413,939	-18.51%
2015	1,102,948	11.13%	72,749	-63.14%	360,364	-12.94%
2016	1,319,356	19.62%	392,674	439.77%	683,454	89.66%
2017	1,724,804	30.73%	537,388	36.85%	1,069,635	56.50%
2018	1,984,320	15.05%	1,030,648	91.79%	1,275,263	19.22%
2019	1,852,937	-6.62%	939,648	-8.83%	1,122,072	-12.01%
2020	1,698,197	-8.35%	777,815	-17.22%	1,296,759	15.57%
2021	1,429,866	-15.80%	802,842	3.22%	808,514	-37.65%
2022	1,529,410	6.96%	1,004,426	25.11%	1,081,977	33.82%

Tabla 2. Producción, importaciones y exportaciones de biodiésel.

La producción de biodiésel pasó de 907,222 m³ en el año 2009, a 1,529,410 m³ en 2018. Este crecimiento se vio acentuado en los años 2014 con un aumento de más de un 50%, y en el año 2017 con más de un 30%. Sin embargo, entre 2019 y 2022 se ralentizó la producción debido a la pandemia del COVID 19 y distintos conflictos a nivel mundial que acentuaron la crisis económica.

Las importaciones aumentaron un 116,58% en el año 2010 y disminuyeron un 62,18% 2014. Éstas pasaron de 357,772 m³ en 2009 a 1,004,426m³ en 2022.

Las exportaciones fluctuaron durante este período, aumentando un 19,22% en el 2018 hasta alcanzar un máximo de 1,275,263 m³. Sin embargo, estas cayeron los tres siguientes años hasta situarse en 1,529,410 m³ en el año 2022

- Bioetanol:

Año	Producción		Importaciones		Exportaciones	
	m ³	% variación año anterior	m ³	% variación año anterior	m ³	% variación año anterior
2009	462,924	-	106,632	-	248,013	-
2010	469,810	1.49%	261,662	145.39%	227,457	-8.29%
2011	464,043	-1.23%	200,186	-23.49%	200,930	-11.66%
2012	381,484	-17.79%	165,438	-17.36%	151,981	-24.36%
2013	442,458	15.98%	108,714	-34.29%	198,675	30.72%
2014	483,696	9.32%	100,265	-7.77%	199,695	0.51%
2015	493,808	2.09%	96,748	-3.51%	213,325	6.83%
2016	327,825	-33.61%	21,913	-77.35%	99,635	-53.29%
2017	421,002	28.42%	48,099	119.50%	160,782	61.37%
2018	522,091	24.01%	42,566	-11.50%	239,154	48.74%
2019	548,273	5.01%	6,494	-84.74%	289,251	20.95%
2020	501,951	-8.45%	0	-100.00%	285,512	-1.29%
2021	554,524	10.47%	3,748	100.00%	293,522	2.81%
2022	498,035	-10.19%	6,363	69.78%	276,903	-5.66%

Tabla 3. Producción, importaciones y exportaciones de bioetanol

La producción de bioetanol en España entre los años 2009 y 2022 experimentó importantes fluctuaciones. Durante los primeros años se mantuvieron bastante estables, hasta sufrir una caída del 17,79% durante el 2012. A partir de 2013, comenzaron a crecer los niveles de producción, hasta alcanzar los 493,808 m³ anuales en 2015. Sin embargo, durante el siguiente año se volvió a producir una caída en la producción de bioetanol, del 33,61%. A partir del año 2018 la producción alcanzó los 522,091 m³ anuales, estabilizándose durante los siguientes años, en los que las variaciones fueron mucho menores.

Las importaciones de bioetanol mostraron variaciones drásticas durante el mismo período. En 2010, hubo un notable incremento del 145.39%, seguido de fluctuaciones significativas. Un descenso marcado del 77.35% en 2017 indica una reducción en la dependencia de las importaciones. Para 2022, las importaciones se redujeron a 6,363 m³, una disminución del -69.78%, sugiriendo una posible mejora en la autosuficiencia de producción o una menor demanda interna.

Las exportaciones de bioetanol también variaron considerablemente. En 2009, las exportaciones alcanzaron 248,013 m³, pero disminuyeron en general en los años siguientes, con una caída notable del 53.39% en 2016. A partir de 2018, las exportaciones comenzaron a recuperarse, alcanzando 239,154 m³, un aumento del 83.75%. En 2022, las exportaciones fueron de 276,903 m³, con una ligera disminución del 5.66% respecto al año anterior, reflejando fluctuaciones en la demanda internacional y la competitividad del bioetanol español.

- Biometanol:

Año	Producción		Importaciones		Exportaciones	
	m ³	% variación año anterior	m ³	% variación año anterior	m ³	% variación año anterior
2018	-	-	-	-	-	-
2019	0	-	2,367	100.00%	0	-
2020	0	-	0	-100.00%	0	-
2021	0	-	0	-	0	-
2022	0	-	0	-	0	-

Tabla 4. Producción, importaciones y exportaciones de bioetanol

La presencia del biometanol en el mercado español ha sido prácticamente nula. La producción, y por consiguiente las exportaciones, han sido inexistentes. Por su parte, solo se produjo una pequeña importación de biometanol en España en el año 2019 de 2,367 m³.

- Biopropano:

Año	Producción		Importaciones		Exportaciones	
	m ³	% variación año anterior	m ³	% variación año anterior	m ³	% variación año anterior
2018	-	-	-	-	-	-
2019	8,023	100.00%	0	-	0	-
2020	14,962	86.48%	0	-	0	-
2021	26,944	80.08%	0	-	0	-
2022	11,352	-57.87%	0	-	0	-

Tabla 5. Producción, importaciones y exportaciones de biopropano

La producción de biopropano en España comenzó a registrarse en 2019 con una producción inicial de 8,023 m³. En 2020, la producción aumentó significativamente a 14,962 m³, lo que representa un incremento del 86.48%. En 2021, la producción continuó aumentando, alcanzando los 26,944 m³, con un crecimiento del 80.08%. Sin embargo, en 2022, la producción disminuyó notablemente a 11,352 m³, una caída del 57.87%.

Durante este período no se registraron exportaciones e importaciones de biopropano en el mercado español. Esto sugiere que se pudo hacer frente a la demanda interna de biopropano, y que todo el producido se utilizó para consumo interno.

Capítulo 4. ANÁLISIS TÉCNICO DEL BIODIÉSEL

Como se ha comentado anteriormente, el biodiésel es un combustible renovable que se produce a partir de aceites vegetales, grasas de animales u otros aceites usados mediante el proceso químico de la transesterificación.

El biodiésel tiene la gran ventaja de poder utilizarse en motores convencionales sin la necesidad de ser modificados de manera importante. Además, supone un gran avance para el medioambiente, al reducir la emisión de gases de efecto invernadero con respecto a otro tipo de combustibles. Sin embargo, el biodiésel debe cumplir una serie de especificaciones para poder ser considerado como tal.

ASTM (Sociedad Americana para Pruebas y Materiales) ha establecido una serie de pruebas y estándares que permite definir de manera legal el biodiésel, junto a su método de ensayo correspondiente.

Propiedad	Unidad	Límites		Método de Ensayo
		Mínimo	Máximo	
Contenido en éster	% (m/m)	96,5	-	EN 14103
Densidad a 15°C	kg/m ³	860	900	EN ISO 3675 EN ISO 12185
Viscosidad a 40°C	mm ² /g	3,5	5	EN ISO 3104
Punto de inflamación	°C	120	-	prEN ISO 3679
Contenido de azufre	mg/kg	-	10	prEN ISO 20846 prEN ISO 20884
Residuo de carbón (en 10% de residuo destilado)	% (m/m)	-	0,3	EN ISO 10370
Índice de cetano		51		EN ISO 5165
Contenido de cenizas sulfatadas	% (m/m)	-	0,02	ISO 3987
Contenido en agua	mg/kg	-	500	EN ISO 12937
Contaminación total	mg/kg	-	24	EN 12662
Corrosión de la tira de cobre (3h a 50°C)	Clasificación	Clase 1		EN ISO 2160
Estabilidad a la oxidación 110°C	Horas	6	-	EN 14112

Índice de ácido	mg KOH/g	0,5	EN 14104
Índice de yodo	g de yodo/100g	120	EN 14111
Éster de metilo de ácido linoléico	% (m/m)	12	EN 14103
Ésteres de metilo poli-insaturados (> = a 4 dobles enlaces)	% (m/m)	1	
Contenido de metanol	% (m/m)	0,2	EN 14110
Contenido en monoglicéridos	% (m/m)	0,8	EN 14105
Contenido en diglicéridos	% (m/m)	0,2	EN 14105
Contenido en triglicéridos	% (m/m)	0,2	EN 14105
Glicerol libre	% (m/m)	0,02	EN 14105 EN 14106
Glicerol total	% (m/m)	0,25	EN 14105
Metales del grupo I (Na+K)	mg/kg	5	EN 14108 EN 14109
Metales del grupo II (Ca+Mg)	mg/kg	5	prEN 14538
Contenido de fósforo	mg/kg	10	EN 14107

Ilustración 7. ASTM estándares biodiésel. Fuente: ASTM

Además de estas especificaciones, el biodiésel de cumplir la normativa europea EN 590. Se trata de un estándar que establece las especificaciones para los combustibles diésel. El estándar desarrollado por la Unión Europea se encarga de regular determinados aspectos como la composición química del carburante, el contenido en azúcar, la viscosidad y otras propiedades que afectan de manera sustancial al funcionamiento del motor, como el número de centeno (CN). (recagri, s.f.)

El número o índice de centeno es una medida que indica la inflamabilidad del combustible diésel. Conocido el índice de centeno del combustible, es posible saber la eficiencia de la reacción de combustión que sucederá en el interior del motor. Para conocer el número de centeno, es necesario tener en cuenta tanto la densidad del combustible, como su punto de ebullición. Un mayor índice de centeno indica que la rapidez a la que puede producirse la ignición es mayor, por lo que aumentaría su capacidad de arranque en frío y su eficiencia, reduciendo el consumo de carburante.

En el día a día podemos analizar las diferencias en el número de centeno en las estaciones de servicio. En ellas solemos encontrar dos tipos de gasóleo: gasóleo normal y gasóleo premium. La diferencia de precio entre ambos combustibles reside en el índice de centeno con el que cuentan ambos. Mientras que el gasóleo normal suele tener un índice de centeno de 51, el gasóleo premium tiene un índice de 55. Esta es una característica común en todos los tipos de combustibles diésel, ya sean fósiles o biocarburantes.

4.1 MATERIAS PRIMAS UTILIZADAS

A la hora de producir biodiésel resulta muy importante la elección de las materias primas, ya que juegan un papel crucial en la viabilidad económica, técnica y sostenible de los combustibles. Entender las características técnicas de las materias primas es esencial para poder mejorar la calidad del producto, optimizando el proceso de producción.

En el mercado de producción del biodiésel podemos encontrar una gran variedad de materias primas. Éste está producido mayoritariamente a partir de los aceites extraídos de plantas oleaginosas, especialmente girasol, soja y colza. Sin embargo, cualquier materia que contenga triglicéridos puede utilizarse para la producción de biodiésel. La presencia de triglicéridos es el principal requisito que debe cumplir cualquier materia para la producción de biodiésel.

Los triglicéridos son moléculas biológicas capaces de almacenar energía e insolubles en el agua. Este tipo de lípido se encuentra de manera abundante en las materias primas utilizadas para la producción de biocombustibles. Estos compuestos están formados por una molécula de glicerol que se une a tres ácidos grasos. Son una de las principales formas de almacenamiento de energía para muchas plantas y animales, incluidos los humanos, convirtiéndolos en una fuente rica de ácidos grasos necesarios para producir biodiésel.

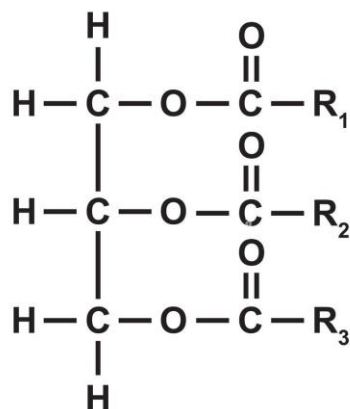


Ilustración 8. Estructura triglicéridos. Fuente: 123RF

En cuanto a las principales familias de materias primas empleadas para la producción de biodiésel, podemos encontrar aceites vegetales, grasas animales, aceites reciclados y aceites de otras fuentes.

Para la producción de la planta va a utilizarse aceite usado de cocina. Dentro de este grupo habrá aceites procedentes de diferentes plantas y frutas, como son el aceite de oliva o de girasol. Además, todos ellos tendrán impurezas y residuos sólidos de las frituras que cambiarán ligeramente las condiciones del aceite puro, aumentando o reduciendo su PH.

Por otro lado, se utilizará el metanol como alcohol necesario para la producción de biodiésel. El metanol, es un compuesto químico líquido que juega un papel vital en muchas industrias y aplicaciones. Su fórmula química es CH_3OH , y es el alcohol más sencillo en términos de estructura molecular. Todas estas características hacen del metanol, el alcohol ideal para la producción de biodiésel. (Material Properties, s.f.)

En cuanto al catalizador, se utilizará la sosa cáustica o hidróxido de sodio (NaOH). El hidróxido de sodio es un compuesto inorgánico cuya fórmula química es NaOH y consiste en una base o álcali metálica muy fuerte. Una solución al 5 % de la misma en agua tiene un pH cercano a 14. (Lifeder, s.f.)

4.2 *TRANSESTERIFICACIÓN*

Cuando hablamos de la producción de biodiésel, es obligatorio centrar las miradas en una de las fases de su proceso productivo: la transesterificación.

La transesterificación, también conocida como alcoholísis, es la reacción de un aceite o grasa con un alcohol en presencia de un catalizador, generando ésteres y glicerina. En multitud de ocasiones, el alcohol utilizado es metanol y la sosa cáustica actúa como catalizador.

Antes de entrar en detalle en el proceso de transesterificación, es necesario conocer los principales actores del proceso y cuáles son sus características:

- **Ácidos grasos:** son cadenas que contienen un número par de átomos de carbono. A ellas se encuentra unido un grupo carboxilo, que tras el proceso de transesterificación quedará unido al glicerol.
- **Triglicéridos:** son triésteres formados por una molécula de glicerol y tres ácidos grasos. El proceso de transesterificación será el encargado de romper la unión entre las moléculas de ácidos grasos y el glicerol, gracias al alcohol y catalizador empleado.
- **Alcoholes:** es el encargado de romper los enlaces que forman los triglicéridos, dando lugar a la molécula de ácidos grasos por un lado y glicerina por el otro.
- **Catalizador:** son sustancias que permiten aumentar la velocidad del proceso, haciendo que este se produzca de manera segura y eficiente. La sosa cáustica es uno de los catalizadores más utilizados, que, mezclado con metanol, da lugar al metóxido sódico. En la mezcla de etanol y sodio se liberará hidrógeno en forma de gas.

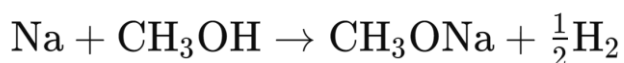


Ilustración 9. Estructura catalizador

El proceso de transesterificación transforma los triglicéridos, que son los componentes principales de estos aceites y grasas, en ésteres metílicos (biodiésel) mediante la reacción con un alcohol (usualmente metanol).

En primer lugar, los reactivos se preparan y se mezclan. El aceite o grasa se coloca en un reactor, y se le añade el alcohol metanol. Para acelerar y facilitar la reacción, se incorpora un catalizador, que puede ser metóxido sódico (CH_3ONa) o hidróxido de sodio (NaOH). El metóxido sódico se prepara previamente mediante la reacción de sodio metálico con metanol, generando así un potente catalizador para la transesterificación. Esta mezcla de reactivos se calienta y se agita para asegurar una adecuada interacción entre los triglicéridos del aceite y el metanol.

La reacción de transesterificación propiamente dicha se produce bajo condiciones controladas de temperatura y presión. Durante esta reacción, los triglicéridos reaccionan con el metanol en presencia del catalizador para formar ésteres metílicos y glicerina. Los triglicéridos, que están compuestos por una molécula de glicerol unida a tres cadenas de ácidos grasos, se descomponen en glicerina y tres moléculas de éster metílico. Esta reacción puede ser representada por la imagen que se muestra a continuación. (Ingeniería Química, s.f.)

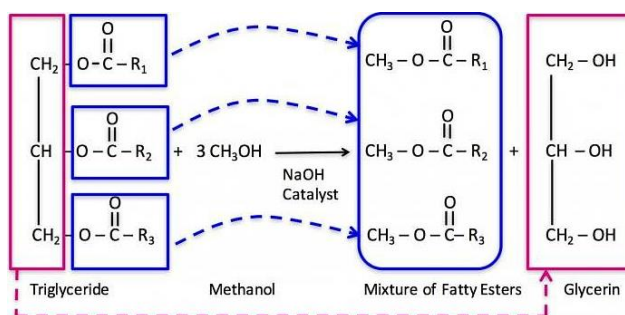


Ilustración 10. Transesterificación. Fuente: LibreTexts

Durante el proceso de transesterificación es necesario controlar ciertas variables:

- Humedad: durante el proceso de transesterificación es necesario reducir la humedad al máximo posible, por lo que se tratará de deshidratar la mezcla.

- Temperatura: la temperatura ideal para el proceso de transesterificación se encuentra alrededor de los 60°C, permitiendo que se produzca la reacción a una velocidad adecuada sin causar degradación a los productos por exceso de temperatura.
- Tiempo: suele oscilar entre 1 y 2 horas, permitiendo que se produzca una conversión suficiente de los triglicéridos en ésteres metílicos y glicerina.
- Catalizador: la cantidad de catalizador hará que aumente la velocidad del proceso, sin embargo, un exceso de catalizador puede dar lugar a jabones o emulsificaciones que dificulten la separación de glicerina y biodiesel.
- Proporción alcohol/aceite: para poder propiciar la reacción, es recomendable añadir un exceso de alcohol a la reacción. Por ello se suele utilizar una proporción de 1 mol de alcohol por cada 6 moles de aceite.

Capítulo 5. MODELADO DE LA PLANTA

5.1 PROCESOS DE PRODUCCIÓN

Durante este capítulo del trabajo se realizará de forma simulada la creación de una planta de producción de biodiésel a partir de aceites usados de cocina. Para ello se realizarán diferentes situaciones que permitan situarnos en varios escenarios.

La planta en cuestión tendrá una capacidad máxima de 250.000 toneladas de aceite anuales, que, debido al rendimiento del proceso, supondrá una menor cantidad final de biocombustible.



Ilustración 11. Planta de producción de biodiésel. Fuente: IDOM

5.1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO PRODUCTIVO

En este apartado se centrará en describir un proceso productivo para un volumen genérico de biodiésel en una planta de producción. En él, se describirán las etapas de producción, el tiempo, la temperatura y los rendimientos estándares que tienen este tipo de plantas. De esta manera se conocerá el proceso general, a partir del cual se hará una simulación más adelante de la planta creada en el proyecto.

El proceso productivo del biodiésel tiene una serie de etapas que se muestran de manera esquematizada en la siguiente imagen:

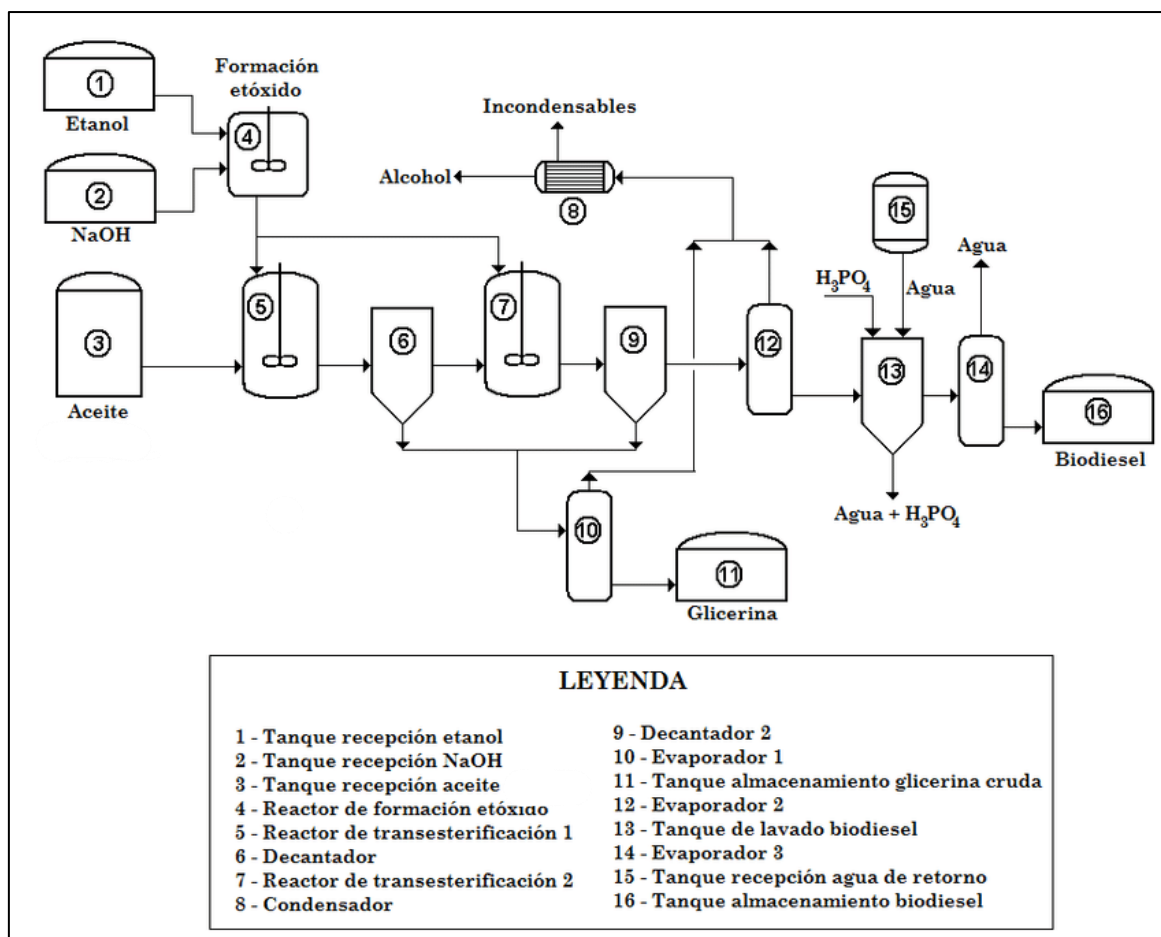


Ilustración 12. Proceso de producción de biodiésel. Fuente: revistas.itm.edu.co

En la imagen superior, se muestra el esquema del proceso de producción del biodiésel. En la parte inferior de la misma, se muestra una leyenda que enumera de forma ordenada las etapas que se llevan a cabo en el proceso productivo. Existen determinadas etapas como la transesterificación o la evaporación, que tienen lugar varias veces durante el proceso. Sin embargo, a la hora de describir el proceso productivo, se explicará una vez cada una de las diferentes etapas.

TANQUES:

Los tanques o depósitos de almacenaje se encuentran al inicio de la cadena de producción. Estos almacenan las materias primas que se utilizarán para producir el biodiésel: Aceite, metanol y NaOH.

El depósito de mayor tamaño es el encargado de almacenar el aceite al encontrarse en mayores cantidades que los otros dos. El aceite introducido en el depósito ha sido filtrado previamente, ya que en nuestro caso utilizaremos aceites usados de cocina con diferentes restos de las frituras.

Una vez se ha filtrado e introducido el aceite en su depósito, es sometido a un pretratamiento en el que se calienta a una temperatura de entre 60°C-80°C. Esto no solo mejora sus propiedades de solubilidad y viscosidad, sino que lo deshidrata, eliminando trazas de agua que pueden dar lugar a la formación de jabones durante el proceso de transesterificación.

Por su parte, el metanol y NaOH se almacenan en tanques separados para posteriormente ser mezclados. Los tanques de almacenamiento de estas materias primas son de menor tamaño, y no precisan de ningún tratamiento previo a su mezcla.

REACTOR DE FORMACIÓN DE METÓXIDO:

Una vez han sido almacenados el metanol y el NaOH en sus respectivos tanques, son transportados a través de conductos a un reactor en el que se producirá la mezcla y reacción de ambos. Es importante conocer los tiempos y condiciones del proceso de formación de la solución. Además, el reactor no debe contener suciedad que pueda afectar al proceso.

En primer lugar, se descarga el metanol procedente del depósito, en el reactor. Debemos tener en cuenta la cantidad de metanol descargada, ya que a continuación añadiremos el NaOH. Las proporciones de ambos, aunque no son estrictamente fijas, deben tenerse en cuenta tanto por la eficiencia de la mezcla, como por el desembolso económico.

Una vez se han añadido ambos compuestos en su totalidad, comenzará la reacción con la ayuda de las palas mezcladoras del reactor. Estas deben mezclar de forma continuada y a velocidad moderada ambos compuestos. Aunque el proceso de mezclado tiene unos tiempos de entre 1 y 3 horas, es preferible mantener el proceso el mayor tiempo posible, asegurándose la formación completa de la solución. A pesar de que durante este proceso no es necesario controlar la temperatura, en caso de querer optimizarlo, esta deberá ser cercana a los 60 °C.

Una vez se ha producido la reacción completa, obtendremos el metóxido de sodio que se añadirá al aceite.

TRANESTERIFICACIÓN 1:

Antes de comenzar el proceso de transesterificación, se debe añadir ambos líquidos al reactor en el que se va a producir.

En primer lugar, se descarga el aceite procedente del tanque de mayor tamaño, abriendo las válvulas de los conductos que conectan ambos depósitos. En caso de encontrarse a mayor altura que el depósito de aceite, será conveniente colocar una bomba capaz de elevar el fluido hasta el reactor.

Una vez se ha descargado todo el aceite en el reactor, comienza la descarga de la solución de metóxido de sodio. Esta descarga se hará en condiciones de vacío, eliminando cualquier tipo de problema con la formación de burbujas. Durante esta primera transesterificación, se añadirá una parte de la solución de metóxido (alrededor de $\frac{3}{4}$ partes), dejando el sobrante para la segunda transesterificación más adelante.

Tras la descarga de ambos productos, comienza la transesterificación. Este es el proceso más importante en la formación del biodiésel.

Como se ha comentado anteriormente, el proceso de transesterificación es un proceso químico en el que un alcohol, en presencia de un catalizador, reacciona con aceite (triglicéridos) dando lugar a glicerol y ácido.

En este proceso, el reactor tendrá un conducto con entrada y salida al depósito que permite recircular ambos fluidos, de forma que acaban reaccionando. Durante esta reacción, se rompen distintos enlaces de las moléculas que forman el aceite. El catalizador (NaOH), facilita esta reacción, disminuyendo los tiempos en el reactor.

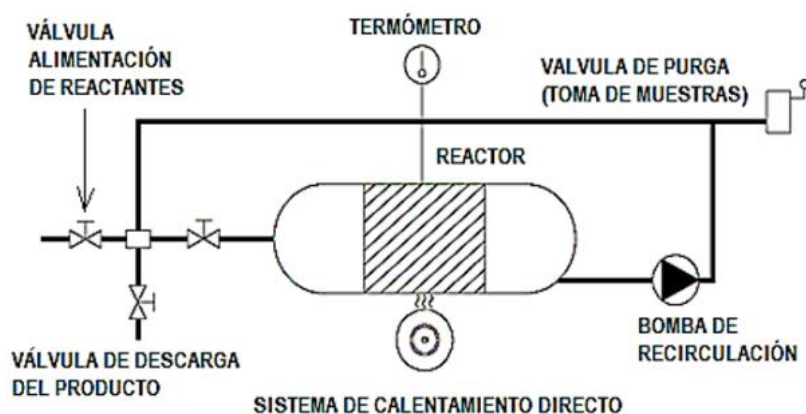


Ilustración 13. Proceso de transesterificación. Fuente: Research Gate

El proceso de transesterificación tendrá una duración aproximada de entre 1-1,30 horas, a una temperatura de unos 60°C. Una vez se ha producido la transesterificación completa, la mayor parte del alcohol habrá reaccionado con los triglicéridos dando lugar a los ésteres de ácidos grasos que dan lugar al biodiésel. El glicerol resultante se encontrará mezclado con el ácido, además del alcohol sobrante que no ha sido capaz de reaccionar por completo.

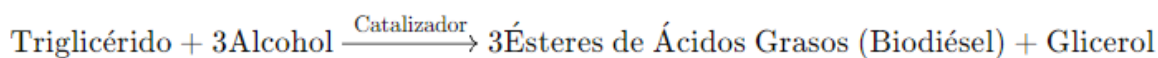


Ilustración 14. Reacción de transesterificación. Fuente: SciELO

DECANTACIÓN 1:

Tras la primera transesterificación, en la que se ha conseguido separar químicamente las moléculas de glicerol, de los ésteres de ácidos grasos, tendrá lugar la etapa de decantación.

La mezcla que se ha producido durante la transesterificación será transportada a través de conductos a un tanque de decantación. Una vez se ha introducido la mezcla por completo, comenzará un proceso químico por gravedad. El glicerol, un líquido más viscoso y de mayor densidad, caerá al fondo del tanque por su propio peso, permitiendo que el ácido quede en la parte superior del depósito. El alcohol sobrante quedará de igual manera por debajo del ácido. Este proceso requerirá de un tiempo aproximado de una hora.

Una vez ha pasado el tiempo suficiente, se abrirá la válvula del embudo inferior, que permite vaciar el glicerol y el alcohol sobrante del decantador, permitiendo quedarnos sólo con el ácido.

Mientras que el alcohol sobrante y el glicerol son transportados a un depósito de evaporación, el ácido es transportado a un nuevo reactor en el que se producirá una segunda transesterificación.

TRANSESTERIFICACIÓN 2:

Este proceso de transesterificación tendrá lugar tras la primera decantación. Para ello, se añade el metóxido del tanque que no se utilizó (alrededor de $\frac{1}{4}$ parte), mejorando las condiciones del ácido. De esta forma se consigue romper aquellos enlaces que en primera instancia no se hubieran roto, liberando el glicerol restante.

Tras este proceso se vuelve a realizar una decantación que permita separar los ácidos del glicerol.

DECANTACIÓN 2:

Ésta será la segunda y última decantación del proceso, en la que se realizará el mismo procedimiento que la primera decantación.

La glicerina, junto con el resto del alcohol que ha quedado sin reaccionar, se eliminarán a través de un embudo. Este sobrante, irá a parar a un evaporador, junto con el sobrante de la primera decantación.

El ácido, mucho más puro que tras la primera transesterificación, irá a parar a otro evaporador distinto previo al lavado.

EVAPORADORES:

Se encuentran evaporadores a la salida de ambos decantadores. Estos tienen como principal objetivo, evaporar los grupos libres de alcohol presentes tanto en la glicerina como en el ácido. Este proceso permite recuperar el alcohol libre y poder ser reutilizado. Sin embargo, para ser reutilizado, es necesario un proceso posterior de condensación, que permita al alcohol volver a su estado líquido.

Para poder evaporar el alcohol, es necesario elevar la temperatura del fluido por encima de los 65°C. El alcohol evaporado permite finalmente dejar completamente limpios tanto la glicerina como el ácido que forma el biodiésel.

LAVADO 1:

Una vez separado el biodiésel crudo de la glicerina, comienza la primera etapa de lavado. Este biodiésel sigue conteniendo impurezas que deben ser eliminadas antes de poder ser utilizado.

El proceso comienza con el transporte del biodiesel que ha quedado en el segundo decantador, hasta el primer depósito de lavado. A continuación, comienza a pulverizarse agua desde la zona superior de forma continuada. Un valor razonable de agua añadida es un 20% del volumen de biodiésel.

Para evitar la formación de emulsiones entre el agua y el biodiésel, se remueve la mezcla lentamente. En nuestro caso se situará una piedra plana en el fondo del depósito que expulsa

aire en forma de burbujas, permitiendo el mezclado. Este agitador permitirá que el agua se mezcle con los sólidos.

A continuación, se deja reposar la mezcla. Al tener mayor densidad, el agua se sitúa en el fondo del depósito y los sólidos comienzan a precipitar lentamente, permitiendo que el biodiésel limpio quede en la capa superior.

El agua con impurezas se elimina a través de una válvula en el fondo del depósito. De esta manera obtenemos un biodiésel resultante mucho más limpio.

LAVADO 2:

El biodiésel limpio procedente del primer lavado es transportado a un segundo tanque. Este proceso requiere de una menor cantidad de agua (10% del volumen de biodiesel), realizándose un lavado más fino de las impurezas de menor tamaño.

El procedimiento es el mismo que en el primero, cambiando únicamente el volumen de agua.

BIODIÉSEL:

Una vez ha concluido el lavado del biodiésel, habiéndose retirado el agua y las impurezas, es transportado a un depósito final donde se almacena. El producto final almacenado está ya listo para su uso. Deberá ser almacenado para su posterior venta y distribución. Sin embargo, es necesario tener en cuenta la demanda de biodiésel, ya que una producción continua con una baja demanda podría suponer falta de espacio de almacenaje al final de la cadena de producción.

5.2 PROPORCIONES DE MATERIAS PRIMAS

En este apartado, se van a detallar las cantidades de materia prima utilizada, calculando las proporciones y molaridades adecuadas, ajustándonos a unos estándares de calidad normal. En un escenario razonable, encontrando un término medio entre eficiencia técnica y económica, la proporción molar de metanol-aceite debería ser 6:1. Aunque teóricamente se necesitarían solo 3 moles de metanol por cada mol de triglicérido, el uso de un exceso de metanol (6 moles de metanol por mol de triglicérido) asegura una mayor conversión y facilita el proceso de producción. Además, se establecerá una cantidad óptima de catalizador a emplear. Con ello se calculará la proporción en masa y en volumen. En este caso haremos los cálculos por cada litro de aceite.

Antes de ello es necesario conocer las masas molares de todos los átomos que van a estar presentes en las distintas moléculas que componen nuestras materias primas.

Masas molares		
Na	23	g/mol
O	16	g/mol
C	12	g/mol
H	1	g/mol

Tabla 6. Masas molares

ACEITE:

La densidad del aceite usado de cocina suele variar entre los 700 Kg/m³ y los 950 Kg/m³. Los aceites más utilizados en España son el de girasol y el de oliva, cuyos valores de densidad son cercanos a los 910 Kg/m³, por lo que utilizaremos ese valor para calcular el volumen semanal de aceite utilizado.

Aceite		
ρ	920.00	Kg/m ³
V	0.00	m ³
$m = V * \rho$	0.92	Kg

Tabla 7. Características del aceite

Sabiendo que el aceite está formado por moléculas de triglicéridos, se debe obtener su masa molar. Los triglicéridos del aceite empleados para la producción de biodiésel estarán formados por 3 moléculas de ácido oleico y 1 molécula de glicerol.

Ácido oleico		
Estructura	$C_{18}H_{34}O_2$	
M	282.00	g/mol

Tabla 8. Características ácido oleico

Glicerol		
Estructura	$C_3H_8O_3$	
M	92.00	g/mol

Tabla 9. Características glicerol

Durante la reacción entre una molécula de triglicérido y de metóxido sódico, se liberarán tres moléculas de agua.

Agua		
Estructura	H_2O	
M	18.00	g/mol

Tabla 10. Características agua

El aceite está formado por moléculas de triglicéridos, por lo que se puede considerar que su masa molar molecular es la misma. Para poder calcularla, han de sumarse las masas molares de las moléculas de ácido y la de glicerol, eliminando el agua liberada durante la reacción. De esta manera queda la siguiente fórmula:

$$M_{\text{glicerol}} + 3 M_{\text{ácido oleico}} - 3 M_{\text{agua}}$$

Sabiendo que la masa de aceite por cada litro es de 910 g, podrá calcularse el número de moles de aceite por cada litro de este.

$m = V * \rho$	0.92	Kg
M	884.00	g/mol

Tabla 11. Moles de aceite en cada litro

METANOL:

Se calcula el volumen de metanol necesario por cada litro de aceite consumido. Para ello ha de conocerse su densidad y masa molar. Se tomará un valor de densidad de 791,8 Kg/m³.

Metanol		
Estructura	CH ₃ OH	
M	32.00	g/mol

Tabla 12. Características metanol

Teniendo en cuenta que la proporción molar de aceite-metanol es 6:1, el número de moles de metanol por cada litro de aceite será:

ρ	791.80	kg/m ³
n	6.24	mol
m=M*n	0.20	kg
V=m/ρ	0.00	m ³

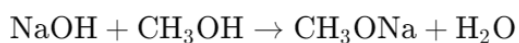
Tabla 13. Moles de metanol

Para que la reacción se produzca de forma más rápida, se suele utilizar una disolución de metóxido de sodio. Esta disolución está formada por metanol y sosa cáustica (NaOH). La solución suele ser de 0,5% - 1% de peso de metóxido sódico en metanol. Para que la reacción sea más eficiente, se escogerá en el escenario del 1%.

METÓXIDO SÓDICO / NaOH:

Teniendo en cuenta que buscamos una disolución del 1% de peso de metóxido sódico en metanol, se calcularán los moles de CH₃ONa necesarios para cada litro de aceite.

Es importante conocer la reacción que se produce durante la formación del metóxido sódico, para poder conocer la relación molar con el hidróxido de sodio.



Con esto sabemos que la relación molar entre CH_3ONa y NaOH es 1:1, es decir, se consumen los mismos moles de ambos.

Metóxido de sodio		
Estructura	CH_3ONa	
M	54.00	g/mol
% en masa de metanol	0.01	
m	0.00	Kg
$n=m/M$	0.04	mol

Tabla 14. Características Metóxido de Sodio

Atendiendo a los resultados y sabiendo que la densidad del NaOH es de 2100 Kg/m^3 , podemos obtener los valores de masa y volumen necesarios de NaOH por cada litro de aceite.

Hidróxido de sodio		
Estructura	NaOH	
M	40.00	g/mol
ρ	2,100.00	Kg/m^3
n	0.04	mol
$m=n*M$	0.00	Kg
$V=m/\rho$	0.00	m^3

Tabla 15. Características NaOH

Una vez hechos los cálculos, las proporciones de cada una de las materias primas utilizadas por cada litro de aceite aparecen resumidas en la tabla que se muestra a continuación:

	V (L)	m (Kg)	n (mol)
Aceite	1	0.92	1.0407
Metanol	0.7807	0.6182	6.2443
NaOH	1.02E-03	0.0021	0.0736
Total	1.7818	1.5403	7.3587

Tabla 16. Proporciones materias primas

5.3 CAPACIDAD DE LA FÁBRICA

Para el proceso de producción de 250.000 toneladas de aceites usados anualmente, haremos una simulación de la producción diaria. Para ello se dividirá el uso de aceite de cocina total en 360 días, suponiendo que la fábrica se encuentre parada 5 días al año. Esto hará que el uso de aceite diario sea de 694,444 toneladas de aceite.

Aceite		
Capacidad anual de la planta	250,000,000	Kg
Número de días	360.00	días
Capacidad diaria de la planta	694,444	Kg

Tabla 17. Cantidad de aceite

Con los valores que se muestran en la tabla y conociendo la densidad del aceite, podemos obtener la capacidad en litros de aceite diarios de la planta:

Densidad del aceite	920.00	Kg/m ³
Capacidad diaria en litros de aceite	754,830.92	L
Capacidad anual en litros de aceite	271,739,130.43	L

Conociendo la capacidad máxima de aceite de la planta y las proporciones de materias primas calculadas en el punto anterior, podemos obtener los volúmenes diarios de alcohol y catalizador necesarios para los niveles de aceite propuestos:

METANOL		
Capacidad diaria en litro de aceite	754,831	L
Volumen de metanol por L de aceite	0.22	L
Capacidad diaria en litro de metanol	166,678	L
Capacidad diaria en litro de metanol	60,004,183.15	L

Tabla 18. Capacidad de metanol

NaOH		
Capacidad diaria en litro de aceite	754,831	L
Volumen de metanol por L de aceite	0.0006	L
Capacidad diaria en litro de NaOH	466	L
Capacidad anual en litro de NaOH	167,588.4029	L

Tabla 19. Capacidad de NaOH

5.3.1 ESCENARIOS DE PRODUCCIÓN

En este capítulo se van a establecer diferentes escenarios, en los que irá variando el porcentaje de producción de biodiésel con respecto a la capacidad máxima. Para ello, vamos a analizar distintos escenarios en función del posible crecimiento de la demanda de biodiésel en España. Nuestra planta debe tener capacidad suficiente para poder hacer frente a las necesidades del mercado para un período de 10 años. En función del volumen de producción inicial, se estimará el crecimiento anual de la demanda para que sea viable la producción durante este período.

Para estos procesos, es realmente importante tener en cuenta los rendimientos. En ocasiones, existen determinados tipos de aceites que ofrecen unos rendimientos cercanos al 100%, sin embargo, en nuestro caso el rendimiento será algo menor.

Vamos a situarnos en un escenario intermedio, en el que el rendimiento del proceso sea del 95%. Esto implica que seremos capaces de obtener 0,95 L de biodiésel por cada litro de aceite utilizado. El volumen de glicerina obtenido tras el proceso, situándonos de nuevo en un caso intermedio, debe ser del 10% en volumen de la cantidad inicial de aceite. El resto del volumen sobrante de las materias primas será el alcohol que no haya sido capaz de reaccionar. En estos rendimientos, hay que tener en cuenta las posibles pérdidas o escapes del fluido. El manejo y el lavado de estos también influye a los rendimientos.

Condiciones		
Rendimiento Biodiésel	95%	del volumen de aceite
Rendimiento Glicerina	10%	del volumen de aceite

Tabla 20. Rendimientos biodiésel y glicerina

5.4 ESCENARIOS

5.4.1 PRODUCCIÓN AL 100%

En el primer escenario, la planta estará trabajando al 100% de su capacidad. Esta situación es irreal. Generalmente las plantas de producción no trabajan al límite de su capacidad, ya que no habría stock ante un aumento de la demanda. Aún así, este escenario debe ser contemplado ante la posibilidad de que la demanda cayera.

Los resultados obtenidos en la simulación del primer escenario son los siguientes:

Planta		
Capacidad anual (L) de aceite	271,739,130	L
Capacidad inicial (%) utilizada	100	%
Capacidad inicial (L) utilizada	271,739,130	L
Variación anual (%) de la demanda	0	%

Tabla 21. Aceite usado al 100% de capacidad de la planta

Litros	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5
Aceite	271,739,130	271,739,130	271,739,130	271,739,130	271,739,130
Metanol	60,004,183	60,004,183	60,004,183	60,004,183	60,004,183
NaOH	167,588	167,588	167,588	167,588	167,588
Total	331,910,902	331,910,902	331,910,902	331,910,902	331,910,902

Y6	Y7	Y8	Y9	Y10
271,739,130	271,739,130	271,739,130	271,739,130	271,739,130
60,004,183	60,004,183	60,004,183	60,004,183	60,004,183
167,588	167,588	167,588	167,588	167,588
331,910,902	331,910,902	331,910,902	331,910,902	331,910,902

Tabla 22. Volúmenes previos al 100% de capacidad

Litros	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5
Biodiésel	258,152,174	258,152,174	258,152,174	258,152,174	258,152,174
Glicerina	27,173,913	27,173,913	27,173,913	27,173,913	27,173,913
Total	285,326,087	285,326,087	285,326,087	285,326,087	285,326,087

Y6	Y7	Y8	Y9	Y10
258,152,174	258,152,174	258,152,174	258,152,174	258,152,174
27,173,913	27,173,913	27,173,913	27,173,913	27,173,913
285,326,087	285,326,087	285,326,087	285,326,087	285,326,087

Tabla 23. Volúmenes finales al 100% de capacidad

Como se ha comentado anteriormente, no existe posibilidad de un crecimiento anual de la demanda, siendo los niveles de producción constantes durante los 10 años de funcionamiento de la planta.

5.4.2 PRODUCCIÓN AL 80%

En el primer escenario, la planta comenzará a producir el primer año al 80% de su capacidad. Esta situación es mucho más factible, ya que habrá margen para ir aumentando la producción según lo haga la demanda.

La simulación ha consistido en analizar cuál podría ser el crecimiento de la demanda para alcanzar el límite de producción en el año 10. Para ello se ha hecho una interpolación que ha permitido establecer el crecimiento porcentual lineal entre cada período.

Los resultados obtenidos en la simulación del segundo escenario son los siguientes:

Planta		
Capacidad anual (L) de aceite	271,739,130	L
Capacidad inicial (%) utilizada	80	%
Capacidad inicial (L) utilizada	217,391,304	L

Tabla 24. Aceite usado al 80% de capacidad de la planta

Litros	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5
Aceite	217,391,304	222,826,087	228,396,739	234,106,658	239,959,324
Metanol	48,003,347	49,203,430	50,433,516	51,694,354	52,986,713
NaOH	134,071	137,422	140,858	144,380	147,989
Total	265,528,722	272,166,940	278,971,113	285,945,391	293,094,026

Y6	Y7	Y8	Y9	Y10
245,958,307	252,107,265	258,409,946	264,870,195	271,491,950
54,311,380	55,669,165	57,060,894	58,487,416	59,949,602
151,689	155,481	159,368	163,352	167,436
300,421,376	307,931,911	315,630,209	323,520,964	331,608,988

Tabla 25. Volúmenes previos al 80% de capacidad

Litros	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5
Biodiésel	206,521,739	211,684,783	216,976,902	222,401,325	227,961,358
Glicerina	21,739,130	22,282,609	22,839,674	23,410,666	23,995,932
Total	228,260,870	233,967,391	239,816,576	245,811,990	251,957,290

Y6	Y7	Y8	Y9	Y10
233,660,392	239,501,902	245,489,449	251,626,685	257,917,352
24,595,831	25,210,726	25,840,995	26,487,020	27,149,195
258,256,223	264,712,628	271,330,444	278,113,705	285,066,547

Tabla 26. Volúmenes finales al 80% de capacidad

Esta simulación permite un crecimiento anual en la producción del 2,5% para llegar al límite en el año 10. En este escenario, el crecimiento de la demanda podría ser de un 2,5 % anual, un crecimiento bastante factible. Todo ello podría hacer de este escenario el más favorable.

5.4.3 PRODUCCIÓN AL 50%

En el tercer escenario, la planta comenzará a producir el primer año al 50% de su capacidad. Esta situación es muy desfavorable, puesto que se estará desaprovechando gran parte de la capacidad productiva.

La simulación ha consistido en analizar cuál podría ser el crecimiento de la demanda para alcanzar el límite de producción en el año 10. Para ello se ha hecho una interpolación que ha permitido establecer el crecimiento porcentual lineal entre cada período.

Los resultados obtenidos en la simulación del tercer escenario son los siguientes:

Planta		
Capacidad anual (L) de aceite	271,739,130	L
Capacidad inicial (%) utilizada	50	%
Capacidad inicial (L) utilizada	135,869,565	L

Tabla 27. Aceite usado al 50% de capacidad

Litros	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5
Aceite	135,869,565	146,739,130	158,478,261	171,156,522	184,849,043
Metanol	30,002,092	32,402,259	34,994,440	37,793,995	40,817,514
NaOH	167,588	180,995	195,475	211,113	228,002
Total	166,039,245	179,322,385	193,668,176	209,161,630	225,894,560

Y6	Y7	Y8	Y9	Y10
199,636,967	215,607,924	232,856,558	251,485,083	271,603,890
44,082,916	47,609,549	51,418,313	55,531,778	59,974,320
246,242	265,942	287,217	310,194	335,010
243,966,125	263,483,415	284,562,088	307,327,055	331,913,219

Tabla 28. Volúmenes previos al 50% de capacidad

Litros	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5
Aceite	135,869,565	146,739,130	158,478,261	171,156,522	184,849,043
Metanol	30,002,092	32,402,259	34,994,440	37,793,995	40,817,514
NaOH	167,588	180,995	195,475	211,113	228,002
Total	166,039,245	179,322,385	193,668,176	209,161,630	225,894,560

Y6	Y7	Y8	Y9	Y10
189,655,119	204,827,528	221,213,730.3	238,910,829	258,023,695
19,963,697	21,560,792	23,285,655.83	25,148,508	27,160,389
209,618,815	226,388,321	244,499,386.2	264,059,337	285,184,084

Tabla 29. Volúmenes finales al 50% de capacidad

Esta simulación permite un crecimiento anual máximo del 8% durante el período de 10 años para no superar los límites productivos. Se trata de un valor excesivamente elevado con respecto al crecimiento de la demanda, lo que indicaría un desaprovechamiento de las instalaciones durante los primeros años del proyecto.

Capítulo 6. ANÁLISIS ECONÓMICO DEL BIODIÉSEL

El coste de producción del biodiésel es uno de los desafíos principales a los que enfrentarse se habla de la viabilidad económica de estos carburantes. Este coste varía ampliamente dependiendo de una serie de factores como el volumen de producción, las materias primas, la tecnología empleada, la región en la que se produce, las políticas o las ayudas gubernamentales vigentes.

A lo largo de esta sección, se hará un análisis simulando los posibles gastos e ingresos en los que podría incurrir la planta de producción. Para ello se realizará tanto una cuenta de pérdidas y ganancias, como la proyección de los posibles flujos de caja que tendría la planta de producción durante un período de 10 años.

Para poder analizar la viabilidad del proyecto será necesario calcular tanto el VAN como la TIR. Será interesante analizar la sensibilidad que tiene la TIR del proyecto según vayan variando los escenarios.

6.1 HIPÓTESIS

Para poder analizar la viabilidad económica de la planta de producción, es necesario aplicar una serie de hipótesis que permitan analizar los diferentes escenarios que se proponen. Durante este apartado se analizará la planta de producción con distintos porcentajes de ventas, sin embargo, las hipótesis financieras serán comunes a todos ellos.

Para el valor de inversión de la planta se establecerá uno similar al de otros proyectos. Para este proyecto se ha realizado una inversión inicial de 200 millones de euros, la misma cantidad que invirtió Repsol para crear una planta de biocombustibles con unos niveles de producción muy similares a estos. (Repsol, s.f.)

Para poder analizar la viabilidad financiera de la planta ha sido necesario realizar una cuenta de pérdidas y ganancias, en la que se desglosan los ingresos y gastos en que se incurre. Ésta sigue una estructura general de una PyG, en la que los gastos e ingreso de las ventas han ido en función de la producción y costes unitarios. Cada una de las líneas de la PyG tiene su correspondiente explicación.

Además, se han asumido una serie de valores importantes que permiten analizar la rentabilidad del proyecto en el tiempo. Estos han sido la tasa de descuento y la subida del IPC. Atendiendo a los valores típicos del mercado se ha empleado una tasa de descuento para el proyecto del 10% y una subida media anual del IPC del 3%. Estos serán comunes a todos los escenarios analizados. (Economipedia, s.f.) (Epdata, s.f.)

Se han planteado diferentes escenarios en los que se ha variado el porcentaje de ventas con respecto a la producción, una posible financiación o una subvención. Todos estos escenarios tienen su análisis de sensibilidad del TIR y el VAN con sus respectivas explicaciones, en las que además se busca el valor límite de su rentabilidad.

6.2 INVERSIÓN DEL PROYECTO

Para poder llevar a cabo este proyecto, se ha diseñado y construido una planta capaz de producir biodiésel, a partir de un máximo de 250.000 toneladas de aceite anuales.

La inversión de la planta de biodiésel será independiente a los volúmenes de producción. Sin embargo, existen distintas políticas de subvenciones y ayudas a los biocombustibles, que podrían abaratar los costes de la inversión inicial. Además, la forma en la que se financie el proyecto podría variar los costes, debido a los intereses de deuda en los que se incurra.

En este apartado se analizará la inversión de la planta en su totalidad, estudiando los costes de inversión sin ningún tipo de subvención y/o financiación.

La planta de producción que va a construirse tendrá una capacidad anual de producción cercana a las 250.000 toneladas de biodiésel anuales. Analizando instalaciones similares, como la construcción de la planta de biocombustibles de Repsol en Cartagena, y situándonos en un escenario intermedio, se establece una inversión del proyecto de 200 millones de euros.

Se va a separar los gastos de inversión en tres grandes grupos. Partiendo del importe total de la inversión y analizando los costes de inversión de otros proyectos, se asignará un porcentaje sobre el total a cada grupo y subgrupo de la inversión

- Terreno:

La planta de producción deberá construirse en una superficie lo suficientemente amplia como para cumplir con las medidas de seguridad establecidas, además de ofrecer ciertas comodidades a sus trabajadores.

La compra del terreno supondrá un 2% del total de la inversión. Esto implica 2 millones de euros por la compra del terreno en el que se construirá la planta. Este terreno podría sufrir una revalorización a lo largo de los años, permitiéndonos venderlo en el momento que acabe la producción.

- Ingeniería y servicios profesionales:

El grupo de ingeniería y servicios profesionales incluye todos aquellos costes de diseño, cálculos estructurales, análisis topográficos, estudios legales etc. Este tipo de costes en los que se incurre corresponde a servicios de profesionales altamente cualificados, justificando el elevado coste de esta sección. Sin embargo, gran parte de este coste de inversión tiene que ver con el diseño del proyecto en sí.

Haciendo una estimación y posicionándonos en un escenario medio, se ha determinado que el coste de esta sección de inversión supone un 8% del coste total de la inversión. Hablando en monetarios, esto serán 16 millones de euros de inversión.

- Construcción y maquinaria:

La construcción y la maquinaria suponen el grueso de la inversión de la planta de producción. Dentro de este grupo encontramos tanto inmovilizado material, como los servicios y consumos directamente asociados a la construcción de la planta.

Haciendo una estimación y posicionándonos en un escenario medio, se ha determinado que el coste de esta sección de inversión supone un 90% del coste total de la inversión. Esto supondría un desembolso de 162 millones de €.

Inversión inicial		
Terreno	4.000.000 €	2%
Ingeniería y servicios profesionales	16.000.000 €	8%
<i>Suministro</i>	<i>8.100.000 €</i>	<i>5%</i>
<i>Mano de obra</i>	<i>8.100.000 €</i>	<i>5%</i>
<i>Instalaciones eléctricas</i>	<i>16.200.000 €</i>	<i>9%</i>
<i>Maquinaria</i>	<i>32.400.000 €</i>	<i>18%</i>
<i>Edificios</i>	<i>97.200.000 €</i>	<i>54%</i>
Construcción y maquinaria	162.000.000 €	90%
TOTAL	200.000.000 €	100%

Tabla 30. Inversión del proyecto

6.3 PÉRDIDAS Y GANANCIAS DEL PROYECTO

Durante este capítulo se analizará de forma exhaustiva todos los gastos en los que podría incurrir la fábrica trabajando a su capacidad máxima. Para ello se explicarán todos los gastos e ingresos de la cuenta de pérdidas y ganancias del primer año del proyecto. Estos irán creciendo anualmente conforme lo haga el IPC. Analizando el crecimiento del IPC en los últimos años estables, sin tener en cuenta situaciones extraordinarias como la pandemia o las guerras, se ha establecido un aumento anual del 3% para los próximos 10 años.

VENTAS:

Para poder analizar las ventas, es necesario conocer los precios del mercado del biodiésel, para saber el precio al que podría ser vendido.

En un escenario razonable, un precio de venta del biodiésel sería de 0,90 €/L. Para poder calcular los ingresos por ventas, vamos a suponer que se consigue vender el 100% de la cantidad producida. Esta situación es completamente irreal, puesto que supondría una falta de stock constata para nuestra planta. El resto de los escenarios posibles de venta se propondrán en los capítulos siguientes.

El volumen de producción máximo de biodiésel anual se muestra en la siguiente tabla:

Producción anual		
Aceite	271.739.130,43	L
Rendimiento	95	%
Biodiésel	25.815.217.391,30	L

Tabla 31. Capacidad productiva de la planta

Conociendo el precio unitario de venta del biodiésel, la cantidad vendida y el crecimiento de los precios debido al IPC, los ingresos por ventas para los próximos 10 años serán:

Ventas	
Y1	283.783.821 €
Y2	292.297.336 €
Y3	301.066.256 €
Y4	310.098.244 €
Y5	319.401.191 €
Y6	328.983.227 €
Y7	338.852.723 €
Y8	349.018.305 €
Y9	359.488.854 €
Y10	370.273.520 €

Tabla 32. Ventas anuales

COGS:

Los COGS (*cost of good sold*) o coste de ventas, son los costes directos que tiene el producto que se está produciendo en la planta. En este caso los costes son las materias primas que permiten producir el biodiésel

En primer lugar, debemos analizar el coste que supone el aceite usado de cocina. Nuestra empresa gastará 0,30 €/L por el aceite usado de cocina. Es un precio razonable teniendo en cuenta que no tiene otro uso y la alternativa es mucho más contaminante.

El metanol es la segunda materia prima en cantidad. El precio por litro de metanol en el mercado es de 2 €/L. Este reactivo se utiliza en cantidades mucho menores que el aceite, por lo que el coste de ventas por litro de biodiésel no se acerca a ese precio.

El catalizador utilizado es NaOH o hidróxido de sodio. La cantidad es aún menor que la del metanol y su precio en el mercado es de igual manera 2 €/L.

Las cantidades utilizadas por cada litro de aceite y los precios por litro de cada uno de los productos se muestran en la siguiente tabla:

	Precio		Volumen	
Aceite	0,3	€	1	L
Metanol	2	€	0,22	L
NaOH	2	€	6,17E-04	L
Total	0,74	€	1,22	L

Tabla 33. Coste MMPP por cada litro de aceite

Sabiendo que el rendimiento del biodiésel es del 95% por cada litro de aceite. Esto implica que para poder producir un litro de biodiésel tendré que utilizar 1,0526 L de aceite. Como consecuencia, el precio unitario del biodiésel será:

	Precio	Volumen
Biodiésel	0,78	1 L

Tabla 34. Coste del litro de biodiésel

Conociendo la capacidad de producción y situándonos en el escenario irreal de vender todo lo producido en la planta a máxima capacidad, se conocen los COGS anuales de la planta:

COGS	Aceite	Metanol	NaOH
Y1	81.521.739 €	120.008.366 €	335.177 €
Y2	83.967.391 €	123.608.617 €	345.232 €
Y3	86.486.413 €	127.316.876 €	355.589 €
Y4	89.081.005 €	131.136.382 €	366.257 €
Y5	91.753.436 €	135.070.474 €	377.244 €
Y6	94.506.039 €	139.122.588 €	388.562 €
Y7	97.341.220 €	143.296.265 €	400.219 €
Y8	100.261.456 €	147.595.153 €	412.225 €
Y9	103.269.300 €	152.023.008 €	424.592 €
Y10	106.367.379 €	156.583.698 €	437.330 €

Tabla 35. COGS anuales

PERSONAL:

Para el cálculo de costes de personal se ha dividido el proceso productivo en 4 etapas: depósito y mezclado, transesterificaciones, decantaciones y lavado y recogida. Estas cuatro etapas cuentan con la siguiente distribución de personal:

Empleados por etapa	
Operarios	15
Ingenieros	2
Jefe de zona	1

Tabla 36. Número de empleados

Además, hay dos turnos de trabajo diarios, por lo que habrá 8 equipos completos contratados en la fábrica. El gasto debido a los salarios de los empleados será el siguiente:

	Empleados	Gasto personal
Operarios	120	10.080.000 €
Ingenieros	16	2.880.000 €
Jefe de zona	8	2.240.000 €
Total	144	15.200.000 €

Tabla 37. Coste de personal

	Salario	Seguridad social
Operarios	10.080.000 €	3.024.000 €
Ingenieros	2.880.000 €	864.000 €
Jefe de zona	2.240.000 €	672.000 €
Total	15.200.000 €	4.560.000 €

Tabla 38. Coste seguridad social

SUMINISTROS:

Para el cálculo de los costes de suministro se tienen en cuenta los dos principales consumos: agua y electricidad. El consumo anual de agua a la hora de producir biodiésel supone un 30% del volumen de producción total del mismo. Esta agua se consume durante las etapas de lavado, siendo el consumo anual superior a los 77 millones de litros anuales. El consumo eléctrico de una planta de producción de tan alta capacidad productiva suele superior a los 50 kW/h. Sin embargo, el gasto en suministro eléctrico no supone un gran cambio a las cuentas de la planta, por lo que sería conveniente situarse en un escenario desfavorable. Se considera un consumo de 100 kW/h, con un funcionamiento de la planta de 16 horas diarias, durante 360 días al año.

Suministros				
Agua	77.445.652	L/año	0,001	€/L
Eléctrico	100	kW/h	0,100	€/kW/h

Suministros		
Agua	77.446 €	€
Eléctrico	57.600 €	€
Total	135.046 €	€

Tabla 39. Gastos de suministro

TRANSPORTE:

El coste de transporte corresponde al alquiler mensual de los camiones cisterna encargados tanto de transportar aceite, como el biodiésel. Para hacer los cálculos de coste en transporte se ha dividido la capacidad de producción. Sabiendo la capacidad de los camiones cisterna y se alquilaría un número determinado de camiones para hacer los transportes.

Aceite

Producción anual	271.739.130,43	L
Producción semanal	5.225.752,51	L

Tabla 40. Aceite empleado

Biodiésel

Producción anual	258.152.173,91	L
Producción semanal	4.964.464,88	L

Tabla 41. Capacidad productiva de biodiésel

Los camiones cisterna tienen una capacidad de 15.000 L y su precio de *renting* es de 2.000 €/mes. El número de camiones necesarios se calculará a partir de las necesidades semanales de transporte, es decir, se necesitará una capacidad de transporte igual a la producción semanal de biodiésel y consumo semanal de aceite. A partir de esta información se muestra el gasto anual de transporte en que incurriría la planta:

Capacidad camión	15.000,00	L
Producción semanal total	10.190.217,39	L
Renting camión	2.000,00	€

Tabla 42. Renting camiones

Con estos datos sabemos que el número de camiones que necesitaría alquilar la planta si trabajase al 100% de su capacidad sería 680 camiones. Teniendo en cuenta que el alquiler de los camiones supone un gasto mensual de 2.000 €/camión, el gasto anual de transporte sería:

$$\text{Número de camiones} \times \text{Renting camión} \times 12 \text{ meses} = 16.320.000,00 \text{ €}$$

Tabla 43. Coste de transporte

AMORTIZACIÓN:

Para el cálculo de las amortizaciones se tendrá en cuenta tanto la inversión inicial como el período de amortización que tendrá cada inversión. Cabe destacar que el terreno no debe ser amortizado, siendo únicamente amortizados los edificios, la maquinaria y las instalaciones eléctricas. El importe destinado a cada parte aparece desglosado en el apartado de inversiones.

Atendiendo a períodos estándares de amortización, se han obtenido los siguientes valores:

Amortización anual	Años	
Instalaciones eléctricas	20	810.000 €
Maquinaria	20	1.620.000 €
Edificios	50	1.944.000 €
Total	n.a.	4.374.000 €

Tabla 44. Amortización anual

(Sociedad Profesional de Auditoría y Asesoría , s.f.)

El valor de las amortizaciones a lo largo de los años será constante, por lo que no irá subiendo conforme lo haga el IPC. Esto significa un menor impacto en la cuenta de pérdidas y ganancias a medida que avance en el tiempo.

INTERESES:

Los intereses de deuda se calcularán mediante un cuadro de amortización, en el que se irá pagando una mayor cantidad del principal y menos interés, a medida que avanzan los períodos de pago. Esto se aplicará a un escenario en concreto, por lo que se explica en detalle más adelante.

IMPUESTOS:

La tasa impositiva que aplica será el impuesto de sociedades. Aunque las distintas políticas de ayudas podrían reducir la tasa, tendremos en cuenta estas ayudas en apartados posteriores. Se aplicará por tanto un 30% de IISD sobre el resultado antes de impuestos.

EBIT		50.077.493 €
Impuestos	-	15.023.248 €
Resultado neto		35.054.245 €

Tabla 45. Resultado neto PyG

PyG:

La cuenta de pérdidas y ganancias presentada a continuación muestra el escenario principal en el que el porcentaje de ventas sobre la producción es del 100%, y no existen subvenciones ni deudas a pagar. Se trata de un escenario irreal, del que partirán todos los demás escenarios.

€	Y1	Y2	Y3	Y4
Ventas	283.783.821 €	292.297.336 €	301.066.256 €	310.098.244 €
Coste de ventas	- 201.865.282 €	- 207.921.241 €	- 214.158.878 €	- 220.583.644 €
Margen bruto	81.918.539 €	84.376.095 €	86.907.378 €	89.514.599 €
Suministros	- 135.046 €	139.232 €	- 143.548 €	147.998 €
Transporte	- 16.320.000 €	- 16.825.920 €	- 17.347.524 €	- 17.885.297 €
Personal	- 19.760.000 €	- 20.372.560 €	- 21.004.109 €	- 21.655.237 €
EBITDA	45.703.493 €	47.316.847 €	48.412.197 €	50.122.064 €
D&A	4.374.000 €	4.374.000 €	4.374.000 €	4.374.000 €
EBIT	50.077.493 €	51.690.847 €	52.786.197 €	54.496.064 €
Intereses	- €	- €	- €	- €
Impuestos	- 15.023.248 €	- 15.507.254 €	- 15.835.859 €	- 16.348.819 €
Resultado neto	35.054.245 €	36.183.593 €	36.950.338 €	38.147.245 €

€	Y5	Y6	Y7
Ventas	319.401.191 €	328.983.227 €	338.852.723 €
Coste de ventas	- 227.201.154 €	- 234.017.188 €	- 241.037.704 €
Margen bruto	92.200.037 €	94.966.038 €	97.815.020 €
Suministros	- 152.586 €	157.316 €	- 162.193 €
Transporte	- 18.439.741 €	- 19.011.373 €	- 19.600.725 €
Personal	- 22.326.549 €	- 23.018.672 €	- 23.732.251 €
EBITDA	51.281.161 €	53.093.310 €	54.319.850 €
D&A	4.374.000 €	4.374.000 €	4.374.000 €
EBIT	55.655.161 €	57.467.310 €	58.693.850 €
Intereses	- €	- €	- €
Impuestos	- 16.696.548 €	- 17.240.193 €	- 17.608.155 €
Resultado neto	38.958.613 €	40.227.117 €	41.085.695 €

€	Y8	Y9	Y10
Ventas	349.018.305 €	359.488.854 €	370.273.520 €
Coste de ventas	- 248.268.835 €	- 255.716.900 €	- 263.388.407 €
Margen bruto	100.749.470 €	103.771.954 €	106.885.113 €
Suministros	167.221 €	172.405 €	177.750 €
Transporte	- 20.208.348 €	- 20.834.807 €	- 21.480.686 €
Personal	- 24.467.951 €	- 25.226.457 €	- 26.008.477 €
EBITDA	56.240.393 €	57.538.285 €	59.573.699 €
D&A	4.374.000 €	4.374.000 €	4.374.000 €
EBIT	60.614.393 €	61.912.285 €	63.947.699 €
Intereses	- €	- €	- €
Impuestos	- 18.184.318 €	- 18.573.686 €	- 19.184.310 €
Resultado neto	42.430.075 €	43.338.600 €	44.763.390 €

Tabla 46. Cuenta PyG principal

6.4 FLUJOS DE CAJA

En el caso general, al no haber variaciones de existencias, solo se sumará la amortización al resultado neto anual para calcular los flujos de caja. Es lo único que no supone una salida de dinero de la caja.

El proyecto tendrá una tasa de descuento del 10%, un valor muy razonable y ajustado al mercado.

€	Y0	Y1	Y2	Y3
Resultado neto	- €	35.054.245 €	36.183.593 €	36.950.338 €
D&A	- €	4.374.000 €	4.374.000 €	4.374.000 €
Inversión	- 200.000.000 €	- €	- €	- €
Flujo libre de caja	- 200.000.000 €	39.428.245 €	40.557.593 €	41.324.338 €

€	Y4	Y5	Y6	Y7
Resultado neto	38.147.245 €	38.958.613 €	40.227.117 €	41.085.695 €
D&A	4.374.000 €	4.374.000 €	4.374.000 €	4.374.000 €
Inversión	- €	- €	- €	- €
Flujo libre de caja	42.521.245 €	43.332.613 €	44.601.117 €	45.459.695 €

€	Y8	Y9	Y10
Resultado neto	42.430.075 €	43.338.600 €	44.763.390 €
D&A	4.374.000 €	4.374.000 €	4.374.000 €
Inversión	- €	- €	- €
Flujo libre de caja	46.804.075 €	47.712.600 €	49.137.390 €

VAN =	59.888.054 €
TIR =	16,91%

Tabla 47. Flujos de caja, VAN y TIR principales

En este caso se obtiene un valor positivo del VAN y una TIR superior a la tasa de descuento. Esto indica que la inversión es rentable y que el proyecto bajo estas condiciones debería llevarse a cabo. Aún así, se trata de un escenario bastante irreal, por lo que sería conveniente realizar diferentes simulaciones para otras situaciones.

6.5 ESCENARIOS

En este capítulo se realizarán distintas simulaciones que permitan observar la rentabilidad del proyecto bajo distintas condiciones. Para ello se realizarán distintas hipótesis, mencionadas anteriormente, y cuyos resultados vendrán explicados.

6.5.1 VARIACIÓN EN LAS VENTAS

En esta sección, se hará una simulación para distintos escenarios en los que se irá variando el volumen de ventas. Para los resultados obtenidos se determinará la viabilidad de la planta de producción analizando el VAN y la TIR. Con los distintos escenarios podremos ver la sensibilidad de la TIR.

6.5.1.1 Ventas al 85%

En el primer caso se establecerá un porcentaje de ventas del 85%. Se trata de un porcentaje muy realista a la hora de vender un producto, ya que permite tener un 15% de stock en todo momento ante cualquier aumento de demanda o contingencia en el proceso de producción.

Con este porcentaje de ventas se han obtenido unos flujos de caja que se muestran a continuación:

€	Y0	Y1	Y2	Y3
Resultado neto	- €	5.256.944 €	5.492.373 €	5.338.381 €
D&A	- €	4.374.000 €	4.374.000 €	4.374.000 €
Inversión	- 200.000.000 €	- €	- €	- €
Flujo libre de caja	- 200.000.000 €	9.630.944 €	9.866.373 €	9.712.381 €

€	Y4	Y5	Y6
Resultado neto	5.586.929 €	5.421.488 €	5.683.878 €
D&A	4.374.000 €	4.374.000 €	4.374.000 €
Inversión	- €	- €	- €
Flujo libre de caja	9.960.929 €	9.795.488 €	10.057.878 €

€	Y8	Y9	Y10
Resultado neto	5.783.153 €	5.592.270 €	5.884.670 €
D&A	4.374.000 €	4.374.000 €	4.374.000 €
Inversión	- €	- €	- €
Flujo libre de caja	10.157.153 €	9.966.270 €	10.258.670 €

VAN =	-126.581.931 €
TIR =	-10,99%

Tabla 48. Flujos de caja, VAN y TIR escenario 1.1

Como puede observarse en los valores obtenidos del VAN y la TIR, el proyecto resultaría ser no rentable a 10 años para ese porcentaje de ventas. Se trata de un porcentaje de ventas bastante verosímil, por lo que los resultados ponen en serias dudas la viabilidad económica del proyecto bajo esas condiciones.

6.5.1.2 Límite de ventas

En el segundo caso, se busca el límite porcentual de ventas con respecto a la producción máxima, que debe tener la planta para poder ser rentable. Esto supone tener un VAN nulo, o una TIR igual a la tasa de descuento (10%).

Los resultados de la simulación se muestran en las tablas que aparecen a continuación:

€	Y0	Y1	Y2	Y3
Resultado neto	- €	23.902.893 €	25.174.735 €	26.086.464 €
D&A	- €	4.374.000 €	4.374.000 €	4.374.000 €
Inversión	- 200.000.000 €	- €	- €	- €
Flujo libre de caja	- 200.000.000 €	28.276.893 €	29.548.735 €	30.460.464 €

€	Y4	Y5	Y6	Y7
Resultado neto	27.430.875 €	28.392.296 €	29.813.433 €	30.827.252 €
D&A	4.374.000 €	4.374.000 €	4.374.000 €	4.374.000 €
Inversión	- €	- €	- €	- €
Flujo libre de caja	31.804.875 €	32.766.296 €	34.187.433 €	35.201.252 €

€	Y8	Y9	Y10
Resultado neto	32.329.511 €	33.398.580 €	34.986.609 €
D&A	4.374.000 €	4.374.000 €	4.374.000 €
Inversión	- €	- €	- €
Flujo libre de caja	36.703.511 €	37.772.580 €	39.360.609 €

VAN =	0 €
TIR =	10%

Tabla 49. Flujos de caja, VAN y TIR escenario 1.2

El límite de ventas que debe tener la planta para empezar a ser rentable bajo estas condiciones es del 96,4%. Se trata de un porcentaje excesivamente elevado, puesto que el margen para un descenso de la demanda es muy pequeño. Además, un aumento de la demanda sería muy peligroso, ya que en este caso la posible falta de stock es un factor a tener en cuenta.

Esto obliga a situar diferentes escenarios más favorables y verosímiles, cuyos márgenes sean más amplios, permitiendo que se produzcan alteraciones en las condiciones del mercado.

6.5.2 SUBVENCIONES

Como se ha comentado previamente, existen múltiples subvenciones y ayudas por parte de los gobiernos hacia los productores de biocombustibles. En este caso se va a analizar cual debería ser la subvención mínima que necesitaría la planta para poder funcionar de manera rentable en unos niveles de ventas razonables.

Se establece un 85% de volumen de ventas de biodiésel sobre la producción, y a partir ahí se establece cuanto dinero debe ser sufragado por gobiernos e instituciones.

€	Y0	Y1	Y2	Y3
Resultado neto	- €	5.256.944 €	5.492.373 €	5.338.381 €
D&A	- €	4.374.000 €	4.374.000 €	4.374.000 €
Inversión	- 60.000.000 €	- €	- €	- €
Flujo libre de caja	- 60.000.000 €	9.630.944 €	9.866.373 €	9.712.381 €

€	Y4	Y5	Y6	Y7
Resultado neto	5.586.929 €	5.421.488 €	5.683.878 €	5.506.159 €
D&A	4.374.000 €	4.374.000 €	4.374.000 €	4.374.000 €
Inversión	- €	- €	- €	- €
Flujo libre de caja	9.960.929 €	9.795.488 €	10.057.878 €	9.880.159 €

€	Y8	Y9	Y10
Resultado neto	5.783.153 €	5.592.270 €	5.884.670 €
D&A	4.374.000 €	4.374.000 €	4.374.000 €
Inversión	- €	- €	- €
Flujo libre de caja	10.157.153 €	9.966.270 €	10.258.670 €

VAN =	0 €
TIR =	10%

Tabla 50. Flujos de caja, VAN y TIR escenario 2

Para poder rentabilizar la planta de producción para esos niveles de ventas, debería tener una subvención mayor de 140 millones de €. Esto supone una subvención del 70 % de la inversión inicial. Se trata de un valor excesivamente alto, por lo que sería conveniente buscar soluciones alternativas o que puedan añadirse a una subvención inferior a la mencionada.

6.5.3 FINANCIACIÓN

En este último escenario, se hará una simulación de la viabilidad financiera de la planta de producción mediante una financiación parcial de la misma, durante un período de 10 años. Habrá que tener muy en cuenta los tipos de interés ante el préstamo.

Al tratarse de un tipo de interés compuesto y un período fijo de pago, será necesario realizar un cuadro de amortización del importe que permita conocer los intereses de deuda a pagar por parte de la empresa. En este caso se pagarán los intereses de forma anual. Teniendo en cuenta que el período de devolución del préstamo no es muy grande (10 años) y que se trata de una planta de producción por parte de una empresa solvente, se establece un tipo de interés del 2,5%. Además, la cantidad a financiar será del 80% del importe total de la inversión, o lo que es lo mismo, se hará una inversión de 40 millones de €, financiando el monto restante.

A continuación, se muestra el cuadro de amortización que presenta los intereses de deuda, principal pagado, deuda pendiente etc.

Cuota	Pago interés	Pago Principal	Cuota	Saldo Pendiente
1	4.000.000 €	14.281.402 €	18.281.402 €	145.718.598 €
2	3.642.965 €	14.638.437 €	18.281.402 €	131.080.161 €
3	3.277.004 €	15.004.398 €	18.281.402 €	116.075.763 €
4	2.901.894 €	15.379.508 €	18.281.402 €	100.696.255 €
5	2.517.406 €	15.763.996 €	18.281.402 €	84.932.259 €
6	2.123.306 €	16.158.096 €	18.281.402 €	68.774.163 €
7	1.719.354 €	16.562.048 €	18.281.402 €	52.212.115 €
8	1.305.303 €	16.976.099 €	18.281.402 €	35.236.016 €
9	880.900 €	17.400.502 €	18.281.402 €	17.835.514 €
10	445.888 €	17.835.514 €	18.281.402 €	-0 €
22.814.021 €		160.000.000 €	182.814.021 €	

Tabla 51. Cuadro de amortizaciones

Con este cuadro de amortización se muestra la devolución del préstamo en un período de 10 años. El método de devolución del préstamo es el método francés, donde las cuotas son constantes. Sin embargo, los intereses van disminuyendo a lo largo de los años, mientras el pago del principal va aumentando. Esto se produce al ser los intereses un porcentaje fijo del capital pendiente.

6.5.3.1 Ventas al 100%

En este escenario se hará una simulación en la que se esté vendiendo al 100% de la capacidad productiva de la planta. Además, se tendrá en cuenta la financiación de 160 millones de € de deuda concedidos a la planta de producción.

Los resultados obtenidos para esta simulación son los siguientes:

€	Y0	Y1	Y2	Y3
Resultado neto	- €	31.054.245 €	32.540.628 €	33.673.334 €
D&A	- €	4.374.000 €	4.374.000 €	4.374.000 €
Pago Principal	- 14.281.402 €	- 14.638.437 €	- 15.004.398 €	- 15.379.508 €
Inversión	- 40.000.000 €	- €	- €	- €
Flujo libre de caja	- 54.281.402 €	20.789.808 €	21.910.230 €	22.667.826 €

€	Y4	Y5	Y6	Y7
Resultado neto	35.245.351 €	36.441.206 €	38.103.810 €	39.366.341 €
D&A	4.374.000 €	4.374.000 €	4.374.000 €	4.374.000 €
Pago Principal	- 15.763.996 €	- 16.158.096 €	- 16.562.048 €	- 16.976.099 €
Inversión	- €	- €	- €	- €
Flujo libre de caja	23.855.355 €	24.657.111 €	25.915.762 €	26.764.242 €

€	Y8	Y9	Y10
Resultado neto	41.124.772 €	42.457.699 €	44.317.502 €
D&A	4.374.000 €	4.374.000 €	4.374.000 €
Pago Principal	- 17.400.502 €	- 17.835.514 €	- €
Inversión	- €	- €	- €
Flujo libre de caja	28.098.270 €	28.996.185 €	48.691.502 €

VAN =	94.455.804 €
TIR =	41,33%

Tabla 52. Flujos de caja, VAN y TIR escenario 3.1

En este caso se obtiene un valor positivo del VAN y una TIR superior a la tasa de descuento. Esto indica que la inversión es rentable y que el proyecto bajo estas condiciones debería llevarse a cabo

Además, podemos observar como bajo estas condiciones se obtiene un VAN muy superior al escenario en el que se realiza una inversión total con capital propio. Esto se debe a que la rentabilidad de una inversión con deuda es mayor gracias a la deducibilidad de los intereses en la tasa de descuento, obteniendo flujos de caja superiores a valor presente.

6.5.3.2 Límite de ventas

En este escenario se hará una simulación en la que se estime el límite de ventas que debe tener la planta para empezar a ser rentable. Además, se tendrá en cuenta la financiación de 160 millones de € de deuda concedidos a la planta de producción.

Los resultados obtenidos para esta simulación son los siguientes:

€	Y0	Y1	Y2	Y3
		15.99x°6.676		
Resultado neto	- €	€	17.031.331 €	17.698.758 €
D&A	- €	4.374.000 €	4.374.000 €	4.374.000 €
Pago Principal	- 14.281.402 € -	14.638.437 € -	15.004.398 € -	15.379.508 €
Inversión	- 40.000.000 €	- €	- €	- €
Flujo libre de caja	- 54.281.402 €	5.732.239 €	6.400.933 €	6.693.250 €

€	Y4	Y5	Y6	Y7
Resultado neto	18.791.538 €	19.493.779 €	20.647.960 €	21.386.815 €
D&A	4.374.000 €	4.374.000 €	4.374.000 €	4.374.000 €
Pago Principal	- 15.763.996 € -	16.158.096 € -	16.562.048 € -	16.976.099 €
Inversión	- €	- €	- €	- €
Flujo libre de caja	7.401.542 €	7.709.684 €	8.459.912 €	8.784.716 €

€	Y8	Y9	Y10
Resultado neto	22.605.861 €	23.383.221 €	24.670.789 €
D&A	4.374.000 €	4.374.000 €	4.374.000 €
Pago Principal	- 17.400.502 €	- 17.835.514 €	- €
Inversión	- €	- €	- €
Flujo libre de caja	9.579.359 €	9.921.706 €	29.044.789 €

VAN =	0 €
TIR =	10%

Tabla 53. Flujos de caja, VAN y TIR escenario 3.2

Para empezar a obtener rentabilidad en el proyecto de la planta de producción será necesario tener unas ventas superiores al 92,4% de la capacidad productiva de la planta. Este límite es superior al del escenario principal, ya que es mucho más rentable para el proyecto una financiación con deuda que una inversión de capital al 100%, al ser deducibles parte de los intereses. Esto significa que la WACC para los flujos de caja tiene un menor impacto.

6.5.4 OTROS ESCENARIOS

En este escenario se analizará la viabilidad de la planta de producción para el mínimo porcentaje de ventas sobre su capacidad, teniendo en cuenta las desinversiones en el último año del proyecto. Esto ofrece unos flujos de caja positivos que aumentan el VAN de la inversión. Para ello ha de calcularse el precio de venta de las distintas inversiones iniciales que se han realizado. Se trata además del escenario más verosímil, ya que el inmovilizado material de la planta de producción tendrá aún años de vida útil, y por tanto podrán ser vendidos a un precio considerable.

	Inversión	AAIM	Desinversión
Terreno	4.000.000 €	- €	4.000.000 €
Instalaciones eléctricas	16.200.000 €	8.100.000 €	8.100.000 €
Maquinaria	32.400.000 €	16.200.000 €	16.200.000 €
Edificios	97.200.000 €	19.440.000 €	77.760.000 €
Total	149.800.000 €	43.740.000 €	106.060.000 €

Tabla 54. Desinversiones de inmovilizado material

El precio de venta o desinversión del inmovilizado material de la planta de producción se ha calculado mediante la diferencia entre el valor de la inversión y la amortización acumulada en los 10 años que dura el proyecto. No se ha tenido en cuenta la posibilidad de que se produzcan plusvalías en las ventas o una posible revalorización del terreno a lo largo de los años.

Los flujos de caja y rentabilidades de inversión obtenidos bajo estas condiciones son los siguientes:

€	Y0	Y1	Y2	Y3
Resultado neto	- €	17.982.895 €	19.110.446 €	19.703.633 €
D&A	- €	4.374.000 €	4.374.000 €	4.374.000 €
Desinversión	- €	- €	- €	- €
Inversión	- 200.000.000 €	- €	- €	- €
Flujo libre de caja	- 200.000.000 €	22.356.895 €	23.484.446 €	24.077.633 €

€	Y4	Y5	Y6	Y7
Resultado neto	20.894.444 €	21.517.037 €	22.774.664 €	23.428.076 €
D&A	4.374.000 €	4.374.000 €	4.374.000 €	4.374.000 €
Desinversión	- €	- €	- €	- €
Inversión	- €	- €	- €	- €
Flujo libre de caja	25.268.444 €	25.891.037 €	27.148.664 €	27.802.076 €

€	Y8	Y9	Y10
Resultado neto	24.756.278 €	25.441.988 €	26.844.733 €
D&A	4.374.000 €	4.374.000 €	4.374.000 €
Desinversión	- €	- €	106.060.000 €
Inversión	- €	- €	- €
Flujo libre de caja	29.130.278 €	29.815.988 €	137.278.733 €

VAN =	0 €
TIR =	10%

Tabla 55. Flujos de caja, VAN y TIR escenario 4

Para empezar a obtener rentabilidad en el proyecto de la planta de producción será necesario tener unas ventas superiores al 90% de la capacidad productiva de la planta. Este límite es superior al del escenario inicial, en el que las ventas debían ser superiores al 96,4% de la capacidad productiva. Esta diferencia del 6,4% se debe a la desinversión de los principales activos que tiene la planta de producción, teniendo en cuenta la amortización acumulada de los mismos en los últimos 10 años.

Capítulo 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La transición energética es sin duda uno de los principales retos a los que se enfrenta nuestro planeta. Es ahí donde entran los biocombustibles, tratando de aportar la ayuda necesaria que permita mejorar las condiciones ambientales actuales y futuras.

Los biocombustibles fueron creados como alternativa a otras fuentes sostenibles como la electricidad y demás combustibles fósiles menos sostenibles. La primera idea acerca de los biocombustibles surge a comienzos del siglo XX con Rudolf Diesel, creador del diésel. Luego irían desarrollándose las ideas iniciales, hasta tener todos los tipos de biocombustibles que se conocen hoy en día.

El desarrollo de los biocombustibles ha sido feroz, teniendo multitud de tipos. Generalmente se diferencian los biocombustibles en función de la materia prima y los procesos de producción empleados, desde los de primera generación hasta los de cuarta generación. Los de cuarta generación son los más modernos y menos contaminantes, ya que las tecnologías empleadas son las más punteras.

Este desarrollo ha tenido la gran ayuda de las distintas políticas europeas y nacionales, que han establecido una serie de subvenciones e incentivos a lo largo de estos últimos años, tratando de guiando a las diferentes economías hacia una transición energética o transición verde. Además de las distintas ayudas gubernamentales, todos los biocombustibles deben cumplir con una serie de normativas establecidas por la UE y el gobierno de España. Estas son indispensables a la hora de ser producidos y comercializados.

En cuanto a la variedad de los biocombustibles, destacan algunos como el biodiésel, el biopropano, el bioetanol o el biogás. Todos ellos son de igual forma carburantes sostenibles. Sin embargo, el biodiésel es el mayor representante de los biocombustibles en España, por lo que el trabajo ha centrado sus miradas en él.

Para poder analizar la viabilidad del biodiésel en España, se ha hecho una simulación de una planta de producción a gran escala. En ella se han analizado tanto las características y resultados técnicos, como económicos. Se han establecido distintas hipótesis ajustadas al mercado y otros proyectos similares.

Con el análisis técnico de la planta de biodiésel, se ha obtenido una producción total anual máxima de más de 258 millones de litros de biodiésel, a partir de 250.000 toneladas de aceite y otras materias primas como el metanol y el NaOH.

Los últimos datos registrados de producción de biodiésel a nivel nacional reportaron 1.529.410 m³. Teniendo en cuenta la capacidad productiva de la planta, para que fuera viable la producción de biodiésel en España, tendría que haber 6 grandes plantas de producción funcionando al 100% de su capacidad. Sin embargo, con el objetivo de la descarbonización, la creación de esta nueva planta y otras similares, supondrían un aumento a la producción nacional de biodiésel, y como consecuencia a su consumo.

Desde el punto de vista económico, la planta de producción resulta rentable bajo determinados escenarios. Con un nivel de ventas del 100% de su capacidad se ha obtenido un VAN del proyecto positivo. Sin embargo, en cuanto el nivel de ventas cae, resultan necesarias las subvenciones y/o financiaciones para poder rentabilizar el proyecto. En ningún caso el nivel de ventas podrá ser inferior al 80% de la producción, lo que da a entender la fragilidad del proyecto en términos financieros.

Es probable que las hipótesis aplicadas y los números empleados para hacer los cálculos, pudieran ajustarse a valores más favorables. Esto, unido a un reajuste de los gastos, o a una posible subida de los precios de venta, podría ofrecer un mayor margen a la planta de producción, facilitando su viabilidad financiera en más escenarios.

En definitiva, el gran conocimiento histórico de los biocombustibles, unido al crecimiento que estos deben de tener en España durante los próximos años, hacen de proyectos acerca de plantas de producción, una necesidad. Los números obtenidos en una primera simulación son alentadores acerca de la creación de este tipo de plantas. Sería interesante, poder analizar en paralelo la posibilidad de crear plantas capaces de producir otro tipo de biocombustibles.

Capítulo 8. BIBLIOGRAFÍA

- Cepsa. (s.f.). *Commercial clean energies*. Obtenido de Cepsa:
<https://www.cepsa.com/es/negocios/commercial-clean-energies/biocombustibles/biocombustibles-en-cepsa/#%3A~%3Atext%3DAspiramos%20a%20liderar%20la%20fabricaci%C3%B3n%20de%20biocombustibles%20en%20suficiente%20como%20para%20sobrevolar%202000%20veces%20el%20pl>
- Dispetrocom. (8 de Agosto de 2023). *Historia del biodiésel*. Obtenido de Dispetrocom:
<https://dispetrocom.com/historia-del-biodiesel/>
- Economipedia. (s.f.). *Tasa descuento*. Obtenido de Economipedia:
<https://economipedia.com/definiciones/tasa-descuento.html>
- EIB. (s.f.). *Loan agreement to finance the first biofuels plant in spain*. Obtenido de European Investment Bank.
- Epdata. (s.f.). *IPC*. Obtenido de Epdata: <https://www.epdata.es/datos/ipc-datos-graficos/71/espana/106>
- Europea, C. (s.f.). *Renewable energy targets*. Obtenido de European Comission:
https://energy.ec.europa.eu/topics/renewable-energy/renewable-energy-directive-targets-and-rules/renewable-energy-targets_en#the-2030-targets
- IDAE. (s.f.). *MARCO NORMATIVO DEL SECTOR DE BIOCARBURANTES*. Obtenido de IDAE, Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico:
<https://www.idae.es/tecnologias/energias-renovables/uso-termico/biocarburantes/marco-normativo-del-sector-de>

Ingeniería Química. (s.f.). *Transesterificación*. Obtenido de Ingeniería Química reviews: <https://www.ingenieriaquimicareviews.com/2020/06/que-es-la-transesterificacion.html>

Lifeder. (s.f.). *Hidróxido de Sodio*. Obtenido de Lifeder: <https://www.lifeder.com/hidroxido-de-sodio/>

Material Properties. (s.f.). *Metanol*. Obtenido de Material Properties: <https://material-properties.org/es/metanol/>

National Geographic. (s.f.). *GEI*. Obtenido de National Geographic: <https://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/gases-efecto-invernadero-que-son-hacen>

National Geographic. (s.f.). *Henry Ford*. Obtenido de National Geographic: https://historia.nationalgeographic.com.es/a/henry-ford-revolucion-industria-automovil_17863

ontheroadtrends. (s.f.). *historia sobre el biodiesel*. Obtenido de ontheroadtrends: <https://www.ontheroadtrends.com/la-historia-sobre-el-biodiesel-con-motivo-de-su-dia-mundial/>

Precios caña de azúcar Brasil. (s.f.). Obtenido de Selina Wamucii: [https://www.selinawamucii.com/es/perspectivas/precios/brasil/cana-de-azucar/#:~:text=%C2%BFCu%C3%A1l%20es%20el%20precio%20de,kilogramo%20Flibra%20en%20Brasil%20hoy%3F&text=El%20rango%20de%20precios%20minoristas,lb\)%20en%200.76%20y%20BRL.](https://www.selinawamucii.com/es/perspectivas/precios/brasil/cana-de-azucar/#:~:text=%C2%BFCu%C3%A1l%20es%20el%20precio%20de,kilogramo%20Flibra%20en%20Brasil%20hoy%3F&text=El%20rango%20de%20precios%20minoristas,lb)%20en%200.76%20y%20BRL.)

Precios del Caña de azúcar Brasil. (s.f.). Obtenido de Selina Wamucii: [https://www.selinawamucii.com/es/perspectivas/precios/brasil/cana-de-azucar/#:~:text=%C2%BFCu%C3%A1l%20es%20el%20precio%20de,kilogramo%20Flibra%20en%20Brasil%20hoy%3F&text=El%20rango%20de%20precios%20minoristas,lb\)%20en%200.76%20y%20BRL.](https://www.selinawamucii.com/es/perspectivas/precios/brasil/cana-de-azucar/#:~:text=%C2%BFCu%C3%A1l%20es%20el%20precio%20de,kilogramo%20Flibra%20en%20Brasil%20hoy%3F&text=El%20rango%20de%20precios%20minoristas,lb)%20en%200.76%20y%20BRL.)

-
- recagri. (s.f.). *DIESEL EN 590*. Obtenido de recagri: <https://recagri.es/blog/en-590-el-estandarizador-del-combustible-diesel-y-aceites/>
- Repsol. (s.f.). *Biocombustibles*. Obtenido de Repsol: <https://www.repsol.com/es/tecnologia-digitalizacion/technology-lab/reduccion-emisiones/biocombustibles/index.cshtml>
- Repsol. (s.f.). *Inversión Repsol*. Obtenido de Repsol: <https://www.repsol.com/es/sala-prensa/notas-prensa/2022/repsol-avanza-construccion-primera-planta-biocombustibles-avanzados-de-espana-en-cartagena/index.cshtml>
- Sociedad Profesional de Auditoría y Asesoría . (s.f.). *Tabla de amortización*. Obtenido de SPAuditoría: <https://www.spauditoria.com/tabla-de-amortizacion>
- Transición Ecológica y el Reto Demográfico, M. (s.f.). *Estadísticas Biocarburantes*. Obtenido de Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico: <https://www.miteco.gob.es/es/energia/hidrocarburos-nuevos-combustibles/biocarburantes/estadisticas.html>