



# MÁSTER EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

## TRABAJO FIN DE MÁSTER ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO DE LOS BIOCOMBUSTIBLES EN ESPAÑA

Autor: Jorge Ojeda López de Uralde

Director: Alberto Mascareñas Brito

Co-Director: 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 2023/24 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.: Jorge Ojeda

Fecha: 13/07/2024

Autorizada la entrega del proyecto  
LOS DIRECTORES DEL PROYECTO



Fdo.: Helena Álvarez García

Fecha: 16/07/2024



Fdo.: Alberto Mascareñas Brito

Fecha: 16/07/2024





**COMILLAS**  
UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

# MÁSTER EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

## TRABAJO FIN DE MÁSTER ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO DE LOS BIOCOMBUSTIBLES EN ESPAÑA

Autor: Jorge Ojeda López de Uralde

Director: Alberto Mascareñas Brito

Co-Director: Helena Álvarez García

Madrid



# **ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO DE LOS BIOCOMBUSTIBLES EN ESPAÑA**

**Autor: Ojeda López de Uralde, Jorge.**

Director: Mascareñas Brito, Alberto.

Entidad Colaboradora: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

## **RESUMEN DEL PROYECTO**

El proyecto examina el potencial de los biocombustibles en España, destacando sus beneficios económicos y sociales, analiza sus ventajas y desafíos, relacionados con la eficiencia tecnológica, viabilidad económica y adecuación de infraestructura, y estudia las perspectivas futuras para identificar oportunidades y barreras para promover su desarrollo.

**Palabras clave:** Biocombustible, biocarburante, descarbonización, transición energética

### **1. Introducción**

Con un consumo del 43% de la demanda energética total, el sector transporte supone un 27% de las emisiones de CO<sub>2</sub> emitidas en nuestro país según el CENER. La descarbonización de este sector es fundamental, y entre las medidas recogidas en el Plan Nacional de Energía y Clima destaca la implantación de un 28% de energía renovable en el transporte a través de la electrificación y los biocarburantes. Para ello, la electrificación de los vehículos ligeros es fundamental. Sin embargo, existen otros sectores de la industria del transporte donde la electrificación no es una opción debido a la menor densidad energética y a las limitaciones de las baterías. El transporte pesado por carretera, el transporte aéreo y el transporte marítimo se van a ver obligados a recurrir a los biocarburantes para reducir sus emisiones. Esto supone una gran oportunidad para fomentar la economía local y la repoblación de las zonas rurales teniendo en cuenta la gran cantidad de residuos agrícolas generados en nuestro país.

### **2. Definición del proyecto**

El proyecto titulado tiene como objetivo evaluar el potencial de los biocombustibles en el contexto español, considerando sus beneficios económicos y sociales, como la creación de empleo y la reducción de la dependencia energética exterior. A pesar de las ventajas, se identifican desafíos importantes en cuanto a la eficiencia y sostenibilidad de las tecnologías de producción, viabilidad económica comparada con los combustibles fósiles y otras energías renovables, y la adecuación de la infraestructura existente. Este estudio analiza la situación actual y las perspectivas futuras, proponiendo recomendaciones políticas y estratégicas para promover su desarrollo sostenible.

### 3. Descripción del modelo

El modelo económico utilizado en el proyecto se basa en un análisis adaptado del modelo desarrollado por la Iowa State University, ajustado para una planta de producción de biocombustibles similar a la de Palos de la Frontera. Este modelo considera costes de construcción, financiamiento, y operación, incluyendo mano de obra, mantenimiento, transporte, productos químicos, agua, y electricidad. La construcción del modelo toma en cuenta variables como el precio de las materias primas, las inversiones en investigación y desarrollo tecnológico, y factores geopolíticos que podrían influir en los precios.

### 4. Resultados

Nuestro país cuenta en la actualidad con las instalaciones necesarias para producir 4.800.000 m<sup>3</sup> de biocombustibles. Además, Cepsa y Repsol están construyendo dos grandes proyectos que sumarán a la red una capacidad conjunta de 850.000 m<sup>3</sup>. El análisis de la demanda de los últimos años, la línea de tendencia actual y los pronósticos realizados por la Agencia Internacional de la Energía han permitido estimar una demanda para el año 2030 de entre 3.900.000 y 4.600.000 m<sup>3</sup>, y para el año 2050 de entre 5.700.000 y 6.500.000 m<sup>3</sup> (Tabla 1).

Escenarios	2030	2050
1	3,887,166 m <sup>3</sup>	5,736,845 m <sup>3</sup>
2	4,274,790 m <sup>3</sup>	6,436,753 m <sup>3</sup>
3	4,585,982 m <sup>3</sup>	6,367,964 m <sup>3</sup>
4	4,119,195 m <sup>3</sup>	6,471,148 m <sup>3</sup>
5	4,430,386 m <sup>3</sup>	6,402,359 m <sup>3</sup>
6	4,220,741 m <sup>3</sup>	6,213,023 m <sup>3</sup>

*Tabla 1: Capacidades de producción estimadas para los años 2030 y 2050 en función del escenario considerado (Elaboración propia).*

Los resultados obtenidos permiten afirmar que la demanda estimada en el corto plazo podrá ser suministrada con la infraestructura actual, y una vez que estas dos nuevas instalaciones entren en funcionamiento, la brecha que aún quedará por cubrir en el largo plazo ascenderá, aproximadamente, hasta los 800.000 m<sup>3</sup> (equivalente a otros dos grandes proyectos).

Como en cualquier otro análisis es necesario considerar la rentabilidad económica de este tipo de carburantes. El modelo elaborado estima unos precios por litro de entre 1,50 € en 2024 y 1,80 € en 2048, dependiendo de la materia prima empleada. A esto hay que añadir el menor poder calorífico de estos combustibles y su impacto negativo sobre la autonomía del

vehículo, el mayor desarrollo de las tecnologías que se espera que tenga un impacto positivo sobre los precios y la actualización de la normativa que restringe la utilización de cultivos alimentarios, afectando en este caso negativamente a los costes. Con todo ello, un proyecto similar al de Cepsa en Palos de la Frontera con el que cubrir la brecha en la capacidad de suministro reportaría unos resultados similares a los recogidos en la Ilustración 1.

Generación:		3ª G			
(millones de €)		2023	2030	2040	2048
<b>Ventas</b>			€638	€701	€765
<b>COGS</b>			€361	€276	€164
<i>Materia Prima</i>			€346	€265	€158
<i>Químicos</i>			€15	€11	€7
<b>Margin Bruto</b>			€277	€425	€601
<b>Gastos de Explotación</b>			€158	€121	€72
<i>Agua</i>			€2	€1	€1
<i>Electricidad</i>			€27	€21	€12
<i>Mantenimiento</i>			€5	€4	€2
<i>Transporte</i>			€10	€8	€5
<i>Mano de Obra</i>			€106	€82	€49
<i>Otros</i>			€7	€6	€3
<b>Depreciación</b>			€48	€48	€48
<b>EBIT</b>			€71	€256	€481
<i>Intereses</i>			€30	€30	€30
<b>Resultado (Antes de Impuestos)</b>			€41	€226	€451
<i>Impuestos</i>			€13	€71	€142
<b>Resultado (Después de Impuestos)</b>	-€1,200		€28	€155	€309
		Rate	7.71%	7.71%	7.71%
		NPV	(€ 977,019,354)	(€ 396,896,782)	€ 73,959,606

*Ilustración 1: Cuenta de pérdidas y ganancias empleando materia prima de 3ª generación durante los 25 años del proyecto (Elaboración propia).*

## 5. Conclusiones

Con el fin de reducir las emisiones y los efectos de los gases de efecto invernadero sobre el planeta, el contexto normativo es cada vez más duro y restrictivo con los motores de combustión. La capacidad de las baterías y su densidad energética hacen imposible electrificar el transporte pesado terrestre y marítimo y la transición hacia la electrificación de los vehículos ligeros es lenta y compleja. Ante esta situación, los biocarburantes han ganado importancia en el mercado y las perspectivas apuntan a un crecimiento exponencial en los próximos años. Nuestro país ya cuenta con la capacidad suficiente para cubrir la demanda esperada en el horizonte 2030, gracias a los grandes proyectos en desarrollo llevados a cabo por las principales petroquímicas. Sin embargo, los ambiciosos objetivos fijados para el año 2050 desde Europa ponen de manifiesto la necesidad de seguir invirtiendo para fortalecer la capacidad de suministro de estos carburantes en España.

# **TECHNICAL ECONOMIC ANALYSIS OF BIOFUELS IN SPAIN**

**Author: Ojeda López de Uralde, Jorge.**

Supervisor: Mascareñas Brito, Alberto.

Collaborating Entity: ICAI – Universidad Pontificia Comillas)

## **ABSTRACT**

The project examines the potential of biofuels in Spain, highlighting their economic and social benefits, analyzes their advantages and challenges, related to technological efficiency, economic viability and infrastructure adequacy, and studies future prospects to identify opportunities and barriers to promote their development.

**Keywords:** Biofuel, biofuel, decarbonization, energy transition

### **1. Introduction**

With a consumption of 43% of the total energy demand, the transport sector accounts for 27% of the CO<sub>2</sub> emissions emitted in our country according to CENER. The decarbonization of this sector is essential, and among the measures included in the National Energy and Climate Plan is the implementation of 28% of renewable energy in transport through electrification and biofuels. To this end, the electrification of light vehicles is fundamental. However, there are other sectors of the transport industry where electrification is not an option due to lower energy density and battery limitations. Heavy road transport, air transport and shipping will be forced to rely on biofuels to reduce their emissions. This represents a great opportunity to promote the local economy and the repopulation of rural areas, taking into account the large amount of agricultural waste generated in our country.

### **2. Project definition**

The project aims to assess the potential of biofuels in the Spanish context, considering their economic and social benefits, such as job creation and reduction of foreign energy dependence. Despite the advantages, important challenges are identified in terms of efficiency and sustainability of production technologies, economic viability compared to fossil fuels and other renewable energies, and the adequacy of the existing infrastructure. This study analyzes the current situation and future prospects, proposing policy and strategic recommendations to promote its sustainable development.

### **3. Description of the model**

The economic model used in the project is based on an analysis adapted from the model developed by Iowa State University, adjusted for a biofuel production plant similar to the

one at Palos de la Frontera. This model considers construction, financing, and operating costs, including labor, maintenance, transportation, chemicals, water, and electricity. The construction of the model takes into account variables such as the price of raw materials, investments in research and technological development, and geopolitical factors that could influence prices.

#### 4. Results

Our country currently has the necessary facilities to produce 4,800,000 m<sup>3</sup> of biofuels. In addition, Cepsa and Repsol are building two large projects that will add a combined capacity of 850,000 m<sup>3</sup> to the network. The analysis of demand in recent years, the current trend line and the forecasts made by the International Energy Agency have made it possible to estimate a demand for the year 2030 of between 3,900,000 and 4,600,000 m<sup>3</sup>, and for the year 2050 of between 5,700,000 and 6,500,000 m<sup>3</sup> (Tabla 2).

Escenarios	2030		2050	
1	3,887,166	m3	5,736,845	m3
2	4,274,790	m3	6,436,753	m3
3	4,585,982	m3	6,367,964	m3
4	4,119,195	m3	6,471,148	m3
5	4,430,386	m3	6,402,359	m3
6	4,220,741	m3	6,213,023	m3

*Tabla 2: Estimated production capacities for the years 2030 and 2050 according to the scenario considered (Prepared by the authors).*

The results obtained allow us to affirm that the estimated demand in the short term can be supplied with the current infrastructure, and once these two new facilities come into operation, the gap that will remain to be covered in the long term will amount to approximately 800,000 m<sup>3</sup> (equivalent to two other large projects).

As in any other analysis, it is necessary to consider the economic profitability of this type of fuel. The model developed estimates prices per liter of between €1.50 in 2024 and €1.80 in 2048, depending on the raw material used. To this must be added the lower calorific value of these fuels and their negative impact on vehicle autonomy, the further development of technologies, which is expected to have a positive impact on prices, and the updating of regulations restricting the use of food crops, in this case negatively affecting costs. All in all,

a project similar to the Cepsa project in Palos de la Frontera to cover the gap in supply capacity would yield results similar to those shown in Ilustración 2.

Generación:		3 <sup>ª</sup> G			
(millones de €)		2023	2030	2040	2048
<b>Ventas</b>			<b>€638</b>	<b>€701</b>	<b>€765</b>
<b>COGS</b>			<b>€361</b>	<b>€276</b>	<b>€164</b>
<i>Materia Prima</i>			€346	€265	€158
<i>Químicos</i>			€15	€11	€7
<b>Margen Bruto</b>			<b>€277</b>	<b>€425</b>	<b>€601</b>
<b>Gastos de Explotación</b>			<b>€158</b>	<b>€121</b>	<b>€72</b>
<i>Agua</i>			€2	€1	€1
<i>Electricidad</i>			€27	€21	€12
<i>Mantenimiento</i>			€5	€4	€2
<i>Transporte</i>			€10	€8	€5
<i>Mano de Obra</i>			€106	€82	€49
<i>Otros</i>			€7	€6	€3
<b>Depreciación</b>			<b>€48</b>	<b>€48</b>	<b>€48</b>
<b>EBIT</b>			<b>€71</b>	<b>€256</b>	<b>€481</b>
<i>Intereses</i>			€30	€30	€30
<b>Resultado (Antes de Impuestos)</b>			<b>€41</b>	<b>€226</b>	<b>€451</b>
<i>Impuestos</i>			€13	€71	€142
<b>Resultado (Después de Impuestos)</b>	<b>-€1,200</b>		<b>€28</b>	<b>€155</b>	<b>€309</b>
		Rate	7.71%	7.71%	7.71%
		NPV	(€ 977,019,354)	(€ 396,896,782)	€ 73,959,606

*Ilustración 2: Profit and loss account using 3rd generation raw material during the 25 years of the project (Own elaboration).*

## 5. Conclusions

In order to reduce emissions and the effects of greenhouse gases on the planet, the regulatory context is becoming increasingly harsh and restrictive for combustion engines. The capacity of batteries and their energy density make it impossible to electrify heavy land and sea transport, and the transition to electrification of light vehicles is slow and complex. In view of this situation, biofuels have gained importance in the market and prospects point to exponential growth in the coming years. Our country already has sufficient capacity to cover the expected demand by 2030, thanks to the major projects under development by the main petrochemical companies. However, the ambitious objectives set for 2050 by Europe highlight the need to continue investing in order to strengthen the supply capacity of these fuels in Spain.

## *Índice de la memoria*

<b>Capítulo 1. Introducción .....</b>	<b>7</b>
1.1 Introducción a los biocombustibles .....	8
1.2 Motivación del proyecto.....	9
<b>Capítulo 2. Estado de la Cuestión .....</b>	<b>11</b>
2.1 Biocombustibles en 2024 .....	12
2.2 Proceso genérico de producción.....	14
2.3 Descripción de las tecnologías .....	16
2.4 Tipos de biocombustibles.....	18
2.5 Principales aplicaciones .....	24
2.6 Impacto económico .....	27
2.7 Impacto medioambiental .....	28
<b>Capítulo 3. Análisis regulatorio .....</b>	<b>30</b>
3.1 Análisis regulatorio en España .....	31
3.1.1 Energías renovables .....	31
3.1.2 Reducción de emisiones.....	33
3.1.3 Eficiencia energética.....	35
3.2 Próximos pasos.....	35
<b>Capítulo 4. Análisis técnico.....</b>	<b>37</b>
4.1 Previsión de producción a nivel global .....	37
4.1.1 Escenarios .....	38
4.1.2 Modelo y parámetros.....	40
4.1.3 Suposiciones .....	41
4.1.4 Análisis de resultados.....	43
4.2 Situación a nivel nacional.....	48
4.3 Previsiones a nivel nacional .....	54
4.4 Infraestructura nacional .....	62
4.4.1 Grandes proyectos en curso .....	66
<b>Capítulo 5. Análisis económico.....</b>	<b>70</b>
5.1 Construcción del modelo.....	71

---

5.2	Análisis de resultados.....	77
5.2.1	Materia prima de 1ª generación.....	78
5.2.2	Materia prima de 2ª generación.....	79
5.2.3	Materia prima de 3ª generación.....	80
5.2.4	Otros escenarios considerados.....	81
<b>Capítulo 6.</b>	<b>Conclusiones.....</b>	<b>84</b>
<b>Capítulo 7.</b>	<b>Bibliografía.....</b>	<b>88</b>
<b>ANEXO I - ODS</b>	<b>.....</b>	<b>101</b>

## *Índice de ilustraciones*

Ilustración 1: Cuenta de pérdidas y ganancias empleando materia prima de 3ª generación durante los 25 años del proyecto (Elaboración propia). .....	7
Ilustración 2: Profit and loss account using 3rd generation raw material during the 25 years of the project (Own elaboration). .....	10
Ilustración 3: Consumo de energía primaria a lo largo de la historia (Energy Institute) ....	11
Ilustración 4: Proceso de producción de biocombustibles (Google). .....	15
Ilustración 5: Reacción de hidrólisis de sacarosa y fermentación (Revistas de Investigación) .....	16
Ilustración 6: Reacción de transesterificación (Revistas de Investigación) .....	17
Ilustración 7: Proceso Fischer-Tropsch, producción de parafinas (Wikipedia) .....	18
Ilustración 8: Proceso Fischer-Tropsch, producción de olefinas (Wikipedia) .....	18
Ilustración 9: Proceso de obtención del biodiésel de primera generación mediante transesterificación (elaboración propia). .....	19
Ilustración 10: Proceso de obtención del bioetanol de primera generación mediante fermentación (elaboración propia).....	20
Ilustración 11: Proceso de obtención de biogás mediante fermentación (elaboración propia). .....	22
Ilustración 12: Planta Hidrógeno Verde Puertollano (Iberdrola). .....	23
Ilustración 13: Proceso de obtención de biobutanol mediante fermentación, destilación y purificación (elaboración propia). .....	24
Ilustración 14: Demanda de minerales asociados a la electrificación y el suministro de energías limpias (IEA – WOE 2023).....	26
Ilustración 15: Evolución del ahorro anual medio de GEI (MITECO). .....	29
Ilustración 16: Qué incluye el paquete de medidas “Objetivo 55” (Consejo de la Unión Europea).....	30
Ilustración 17: Perspectivas de capacidad de producción solar y eólica para el año 2030 (Ember).....	34

Ilustración 18: Consumo de combustibles fósiles en base al escenario STEPS, (IEA – WEO 2023).....	39
Ilustración 19: Suministro de biocombustibles en función de su estado y el escenario (IEA – WEO 2023).....	44
Ilustración 20: Suministro global de biocombustibles en función del estado del carburante y el escenario considerado (Elaboración propia).....	44
Ilustración 21: Consumo de biocombustibles en miles de euros por Comunidades Autónomas en el año 2021 (Elaboración propia). ....	52
Ilustración 22: Representación geográfica del consumo de biocombustibles en miles de euros por Comunidades Autónomas en el año 2021 (Instituto Nacional de Estadística). ....	52
Ilustración 23: Evolución de las tendencias a nivel nacional (Elaboración propia).....	54
Ilustración 24: Mapa de refinerías de biocombustibles en España (FAS-USDA). ....	62
Ilustración 25: Principales datos de la mayor planta de producción de biocombustibles de Europa (Cepsa). ....	67
Ilustración 26: Esquema explicativo del funcionamiento de la nueva planta de producción de biocombustibles de Repsol en Cartagena (Repsol).....	68
Ilustración 27: Precios recientes de combustibles y biocombustibles (Transport & Environment).....	73
Ilustración 28: Cuenta de pérdidas y ganancias empleando materia prima de 1ª generación durante los 25 años del proyecto (Elaboración propia). ....	78
Ilustración 29: Cuenta de pérdidas y ganancias empleando materia prima de 2ª generación durante los 25 años del proyecto (Elaboración propia). ....	79
Ilustración 30: Cuenta de pérdidas y ganancias empleando materia prima de 3ª generación durante los 25 años del proyecto (Elaboración propia). ....	80
Ilustración 31: Cuenta de pérdidas y ganancias empleando materia prima de 2ª generación hasta 2040 y de 3ª generación desde 2041 hasta 2048 (Elaboración propia). ....	81
Ilustración 32: Cuenta de pérdidas y ganancias empleando materia prima de 2ª generación hasta 2030 y de 3ª generación desde 2031 hasta 2048 (Elaboración propia). ....	82
Ilustración 33: Inversión global en energía (IEA – WEO 2023).....	85
Ilustración 34: Principales ODS alineados con el proyecto (Naciones Unidas).....	101

## *Índice de tablas*

Tabla 1: Capacidades de producción estimadas para los años 2030 y 2050 en función del escenario considerado (Elaboración propia).....	6
Tabla 2: Estimated production capacities for the years 2030 and 2050 according to the scenario considered (Prepared by the authors). ....	9
Tabla 3: Precio de los combustibles fósiles en Europa en función del escenario (Elaboración propia).....	43
Tabla 4: Ratios de crecimiento de los biocarburantes en sus distintos estados para diferentes periodos de tiempo en función del escenario (Elaboración propia). ....	46
Tabla 5: Predicciones de suministro necesarias en función del escenario, el estado del biocombustible y el año, así como el share que representa (Elaboración propia).....	47
Tabla 6: Crecimientos esperados para 2030 y 2050 considerando varios escenarios, todos ellos con el mismo peso (Elaboración propia).....	48
Tabla 7: Producción de biocombustibles en España en m3 2012-2022 (Elaboración propia). ....	50
Tabla 8: Consumo de biocombustibles en España en m3 2012-2022 (Elaboración propia). ....	51
Tabla 9: Venta de diésel y gasolina en España en m3 2012-2022 (Elaboración propia). ...	51
Tabla 10: Importaciones de biocombustibles en España en m3 2012-2022 (Elaboración propia).....	53
Tabla 11: Exportaciones de biocombustibles en España en m3 2012-2022 (Elaboración propia).....	54
Tabla 12: Producción de biocombustibles en España en 2022 (Elaboración propia). ....	55
Tabla 13: Proporción entre importaciones, exportaciones y consumo con respecto a la producción, tomando como base los valores históricos en España 2012-2022 (Elaboración propia).....	56

Tabla 14: Escenario 1, perspectivas de crecimiento a nivel nacional 2030 y 2050 (Elaboración propia).....	57
Tabla 15: Escenario 2, perspectivas de crecimiento a nivel nacional 2030 y 2050 (Elaboración propia).....	58
Tabla 16: Escenario 3, perspectivas de crecimiento a nivel nacional 2030 y 2050 (Elaboración propia).....	58
Tabla 17: Escenario 4, perspectivas de crecimiento a nivel nacional 2030 y 2050 (Elaboración propia).....	59
Tabla 18: Escenario 5, perspectivas de crecimiento a nivel nacional 2030 y 2050 (Elaboración propia).....	60
Tabla 19: Escenario 6, perspectivas de crecimiento a nivel nacional 2030 y 2050 (Elaboración propia).....	60
Tabla 20: Capacidades de producción estimadas para los años 2030 y 2050 en función del escenario considerado (Elaboración propia).....	63
Tabla 21: Coste de la instalación por concepto. Materia prima de 3ª generación (Elaboración propia).....	71
Tabla 22: Coste de producción estimado por el CENER vs. Coste de producción estimado por el modelo elaborado para la planta de Cepsa para materia prima de 1ª generación (Elaboración propia).....	75
Tabla 23: Coste de producción estimado por el CENER vs. Coste de producción estimado por el modelo elaborado para la planta de Cepsa para materia prima de 2ª generación (Elaboración propia).....	76
Tabla 24: Coste de producción estimado por el CENER vs. Coste de producción estimado por el modelo elaborado para la planta de Cepsa para materia prima de 3ª generación (Elaboración propia).....	76

## **Capítulo 1. INTRODUCCIÓN**

La sostenibilidad ambiental, la correcta utilización de los recursos y la gran cantidad de residuos generados, así como su captura y tratamiento, son algunas de las principales consideraciones que están dando lugar a la sustitución de las fuentes tradicionales de energía y los vectores energéticos convencionales en pleno siglo XXI.

A la elevada concienciación de un sector representativo de la sociedad, especialmente en occidente, se añaden regulaciones que pretenden reducir la cantidad de emisiones liberadas por empresas y particulares. De aplicación para las primeras destacan el Acuerdo de París, que fija un aumento de la temperatura global por debajo de los 2°C, o la Directiva de la Unión Europea sobre Comercio de Derechos de Emisión (EU ETS), que limita las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) en los países de la Unión. En cuanto a la regulación de emisiones para individuos particulares, cabe destacar la implantación de zonas de bajas emisiones en grandes núcleos urbanos para reducir el tránsito de vehículos propulsados por combustibles fósiles, la introducción del etiquetado energético en dispositivos y edificios o, incluso, las restricciones a la utilización de los sistemas de climatización.

Son muchas las alternativas planteadas en los últimos años para hacer frente a esta situación. Como fuentes de energía destacan el sol, el viento, el agua, la geotermia o la biomasa, que permiten obtener electricidad renovable, hidrógeno verde o biocombustible, en definitiva, vectores energéticos considerados “verdes”. Todas ellas presentan ventajas e inconvenientes, defensores y detractores, industrias con mayor y menor cabida y, en general, precios superiores a los métodos tradicionales. Al margen de sus comúnmente conocidas ventajas, como la sostenibilidad ambiental y la reducción de emisiones, destacan la independencia energética y el crecimiento económico asociado, gracias a la creación de empleo y la inversión en i+D. Sin embargo, el cuidado del planeta trae consigo una serie de restricciones que limitan su implantación y que hacen que no todos los sectores de la industria estén a favor de su desarrollo. Estas limitaciones no se refieren solo al carácter

económico, cabe destacar también la intermitencia de este tipo de fuentes y las necesidades específicas de cada una de ellas, como puede ser el espacio requerido.

## ***1.1 INTRODUCCIÓN A LOS BIOCOMBUSTIBLES***

El transporte por tierra, mar y aire representa prácticamente un 25% de las emisiones de efecto invernadero del planeta y sigue dependiendo en gran medida de los combustibles fósiles. En este contexto de creciente preocupación medioambiental y transición energética surgen los llamados biocombustibles. La Real Academia Española define el biocombustible como aquel “*Combustible obtenido mediante el tratamiento físico o químico de materia vegetal o de residuos orgánicos*”.

La idea de estos combustibles es sustituir a los tradicionales a partir de la transformación de material vegetal y residuos agrícolas, ganaderos, forestales e incluso urbanos. Sus principales ventajas no solo hacen frente a la situación ambiental, también permiten un mayor desarrollo tecnológico y económico de las naciones:

### 1. Ayudan a la descarbonización

No en todos los sectores es posible llevar a cabo este proceso mediante la electrificación, como ocurre con el transporte pesado, por lo que los biocombustibles suponen una gran alternativa de carácter renovable a esta tendencia actual.

### 2. Aceleran la transición energética

La sustitución de los combustibles fósiles tradicionales por biocombustibles puede ser total o parcial. Se trata de componentes químicamente análogos, lo que facilita, abarata y acelera su implantación al no ser necesario realizar modificaciones.

### 3. Fomentan la economía circular

Proponen una segunda vida para muchos componentes procedentes de otras industrias como la agrícola, que, de otra forma, no tendrían utilidad ninguna. Además, los residuos generados durante la producción, como la glicerina en la obtención de biodiésel, pueden ser utilizados durante la elaboración de productos farmacéuticos o cosméticos entre otros.

#### 4. Favorecen la independencia energética

Presentan una alternativa ante la creciente inestabilidad geopolítica actual en países como Rusia, ligado tradicionalmente al gas, y Oriente Próximo, donde se encuentran las mayores reservas de petróleo a nivel mundial. Esto lo convierte en una opción especialmente atractiva para los países, como España, que carecen de fuentes de recursos fósiles tradicionales.

#### 5. Desarrollo tecnológico

El grado de madurez actual de las tecnologías necesarias para su obtención es alto, permitiendo en algunos casos reutilizar instalaciones industriales existentes con pequeñas modificaciones para su producción.

En definitiva, los biocombustibles se presentan como una gran alternativa limpia ante la preocupación actual y las crecientes restricciones que buscan limitar la emisión de residuos, especialmente gases de efecto invernadero, al mismo tiempo que aportan una mayor independencia energética, especialmente valorada en momentos como el actual de creciente inestabilidad política. Existe una cierta controversia con respecto al grado de descarbonización que presentan, aunque en todo caso suponen una mejora para el planeta y frente a los recursos actuales. Según la petrolera Cepsa se trata de un combustible renovable cuya principal característica es que el nivel de emisiones netas de CO<sub>2</sub> en su ciclo de vida es significativamente inferior al de los combustibles fósiles tradicionales. La empresa petroquímica Repsol va más allá y señala que, aunque al quemarse liberan CO<sub>2</sub>, las emisiones netas de este gas para estos biocarburantes se consideran cero, ya que se equilibran con el CO<sub>2</sub> absorbido por las fuentes de energía renovables que originan el biocombustible.

## ***1.2 MOTIVACIÓN DEL PROYECTO***

El cambio climático es uno de los desafíos más urgentes del siglo XXI, impulsado en gran medida por las emisiones de gases de efecto invernadero derivadas del uso de combustibles fósiles. En respuesta a esta crisis, la comunidad internacional ha adoptado diversas políticas y acuerdos, como el Acuerdo de París, para reducir las emisiones de carbono y fomentar el desarrollo de fuentes de energía más sostenibles. En este contexto, los biocombustibles han

emergido como una alternativa que puede contribuir significativamente a la reducción de la dependencia de los combustibles fósiles y a la disminución de las emisiones de carbono.

España, con su gran diversidad agrícola, posee un gran potencial para la producción de biocombustibles. Su implantación no solo podría ayudar a cumplir con los objetivos nacionales e internacionales de reducción de emisiones, sino que también podría generar beneficios económicos y sociales. Entre estos beneficios se incluyen la creación de empleo en zonas rurales y la reducción de la dependencia energética exterior.

Sin embargo, a pesar de los beneficios potenciales, la adopción y expansión de los biocombustibles en España enfrenta varios desafíos. Estos incluyen la eficiencia y sostenibilidad de las tecnologías de producción, la viabilidad económica en comparación con los combustibles fósiles y otras fuentes de energía renovable, y la adecuación de la infraestructura existente para la distribución y uso de biocombustibles. Además, es crucial evaluar el impacto ambiental y social de la producción de biocombustibles, para garantizar que no se comprometa la seguridad alimentaria ni se degraden los ecosistemas naturales.

El presente trabajo se propone analizar de estos aspectos, proporcionando una visión detallada de la situación actual y las perspectivas futuras en España. Este análisis permitirá identificar las oportunidades y barreras para el desarrollo, y ofrecerá recomendaciones para la formulación de políticas y estrategias que fomenten su adopción sostenible.

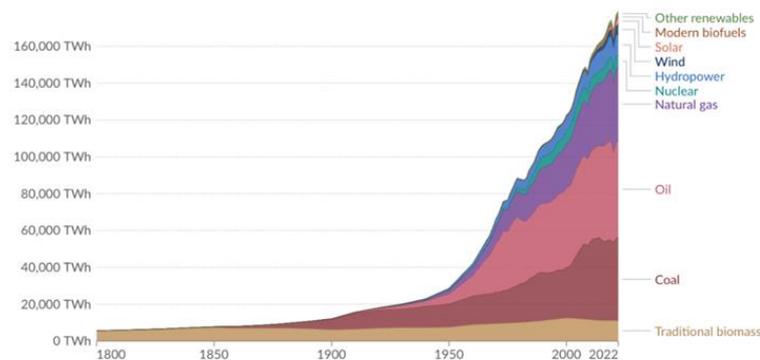
La motivación principal de este proyecto radica en la necesidad urgente de encontrar soluciones viables y sostenibles a los problemas energéticos y medioambientales que enfrenta nuestro país y el mundo. A través de este estudio, se espera contribuir al conocimiento y desarrollo de los biocombustibles como una alternativa energética viable y sostenible, apoyando así los esfuerzos globales para mitigar el cambio climático y promover un desarrollo económico más equitativo y sostenible.

## Capítulo 2. ESTADO DE LA CUESTIÓN

El estudio, desarrollo y utilización de las formas de obtención de los biocombustibles, los recursos empleados para ello y los campos de aplicación de los mismos se han visto potenciados durante los últimos años por la creciente y cada vez más extendida preocupación por el medio ambiente. Sin embargo, el origen de este tipo de combustibles no está ligado al control sobre el calentamiento global, su origen se remonta a finales del siglo XIX y el surgimiento de los primeros automóviles de la mano de Henry Ford. El conocido como Model T, uno de los primeros vehículos fabricados en cadena de producción con un precio medio aproximado de \$500, ya utilizaba etanol como combustible.

El mayor contenido energético de la gasolina, unido al descubrimiento de inmensos depósitos de petróleo que produjeron una caída en el precio de la misma, hizo que los biocombustibles dejaran de ser rentables y quedaran en el olvido. Casi un siglo después, durante la llamada crisis del petróleo de 1973, estos combustibles volvieron a ser empleados mezclados con gasolina para extender las existencias. Hoy, y durante los últimos años, vuelven a estar en auge para hacer frente al calentamiento global y todas sus consecuencias junto a otras nuevas fuentes de energía (Ilustración 3).

Global primary energy consumption by source



*Ilustración 3: Consumo de energía primaria a lo largo de la historia (Energy Institute)*

## **2.1 BIOCOMBUSTIBLES EN 2024**

En la actualidad los biocarburantes se pueden presentar en estado gaseoso, líquido o sólido, en función de la aplicación para la que se quieran emplear, produciéndose en todos ellos la liberación de energía mediante una combustión. La clasificación más común es, sin embargo, en función del origen de la materia prima y la tecnología empleada, por lo que se agrupan en generaciones. La clasificación más extendida distingue dos grupos:

**1ª Generación.** Obtenidos a partir de cultivos agrícolas, cereales y aceites mediante tecnología convencional como la fermentación (bioetanol) o la transesterificación (biodiésel). Como materias primas suelen utilizarse, en Estados Unidos y Brasil maíz y caña de azúcar, mientras que en Europa es más común emplear trigo y remolacha azucarera. Da lugar, entre otros, al bioetanol y el biodiésel, los dos biocombustibles de origen vegetal más importantes según la Agencia Europea del Medio Ambiente.

**2ª Generación o biocombustibles avanzados.** Fabricados a partir de residuos orgánicos urbanos, agrícolas, ganaderos o forestales tienen procesos de producción más complejos como la sacarificación-fermentación o el proceso Fischer- Tropsch. Además de bioetanol y biodiésel, como en el caso anterior, permiten obtener otros biocombustibles como metanol, de especial interés para el transporte naval.

Según la Asociación de Empresas de Energías Renovables (APPA) *“Todos los biocarburantes que se consumen en la Unión Europea cumplen los estrictos criterios de sostenibilidad previstos en la Directiva de Energías Renovables (DER): ahorro de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) de al menos un 50% y uso de materias primas que no provienen de tierras con alta biodiversidad o elevadas reservas de carbono”*. Sin embargo, y a pesar de su facilidad de procesamiento y las bajas emisiones de gases de efecto invernadero, la Unión Europea pretende sustituir los biocarburantes de primera generación, elaborados a partir de recursos que pueden ser consumidos por seres humanos, por los de segunda generación, fomentando así la economía circular. Asimismo, con esta medida

también se pretende evitar un posible incremento en los precios de los alimentos ligado al consumo de las materias primas para la generación de este tipo de combustibles.

La necesidad de encontrar alternativas menos dependientes de los cultivos alimentarios y más sostenibles para la producción de energía ha motivado el avance y estudio de los biocombustibles en los últimos años. Así, y aunque todavía no se producen a escala comercial, se han desarrollado dos nuevas generaciones de biocarburantes:

**3ª Generación.** Se extraen de vegetales no alimenticios y de crecimiento rápido, como árboles perennes, algas y otras plantas acuáticas. Su principal ventaja es la materia prima empleada que, además de que no se utiliza como alimento, tiene una tasa de crecimiento elevada y captura CO<sub>2</sub> durante su crecimiento. Esta puede incluso modificarse genéticamente. Sin embargo, el proceso de producción no está todavía claramente definido.

**4ª Generación.** Esta última generación combina la producción de energía renovable con la captura y almacenamiento de CO<sub>2</sub>. Como materia prima emplean también fuentes de biomasa no alimentaria que no compiten con cultivos alimentarios, incluyendo además ingeniería genética y biología para modificar los microorganismos y las plantas. Aunque pueda parecer una tecnología muy avanzada y algo futurista, ya existen plantas piloto en Brasil y Estados Unidos, países que lideran la producción mundial de bioetanol.

Sea cual sea la generación empleada para su obtención, los biocarburantes pueden sustituir a los combustibles tradicionales tanto en estado líquido como gaseoso, facilitando la difícil descarbonización de sectores como el transporte pesado. Desde un punto de vista técnico, su implantación es relativamente sencilla, ya que se pueden utilizar en los mismos motores de combustión interna que funcionan con diésel y gasolina. Esto hace que, a pesar de que su uso todavía no está extendido en la aviación, el transporte marítimo o la industria, en nuestro país los biocombustibles ya son la principal fuente de energía renovable utilizada en el transporte según datos publicados por la APPA.

Sin embargo, los biocombustibles no son la única opción viable para hacer frente a las crecientes restricciones a las emisiones de gases de efecto invernadero. La industria del automóvil, por ejemplo, ha tenido que acelerar la búsqueda y desarrollo de alternativas tras la prohibición de la venta de modelos de combustión a partir de 2035 en el Viejo Continente. Muchas empresas del sector tanto automovilístico como petroquímico están considerando además de la electrificación de vehículos y los biocarburantes la implantación de combustibles sintéticos. Estos combustibles se producen a partir de hidrógeno y CO<sub>2</sub> capturado, en lugar de mediante residuos animales y vegetales. Grandes empresas como Porsche, Ferrari y Mazda, o Aramco y la propia Repsol están invirtiendo grandes sumas de dinero en el desarrollo e investigación de este tipo de combustibles. Esta competencia no solo abre nuevas alternativas a los motores de combustión tradicionales, también fomenta un mayor estudio e inversión para que los biocarburantes se sitúen como una alternativa competitiva en el sector de la movilidad en el futuro cercano.

## **2.2 PROCESO GENÉRICO DE PRODUCCIÓN**

Los residuos generados, a los que se busca dar una segunda vida con la transformación en bicomcombustibles, siguen un largo proceso hasta llegar al surtidor de las gasolineras (Ilustración 4). Antes de describir las tecnologías que actualmente se emplean para transformar los residuos en carburantes en las distintas generaciones, parece razonable hacer un breve repaso de los pasos que los residuos deben seguir antes de convertirse en el alimento para nuestros vehículos.

### **1. Recolección y transporte**

Los residuos empleados pueden provenir de diversas fuentes, que incluyen residuos agrícolas, residuos forestales, residuos urbanos e incluso desechos industriales. Aunque una de los puntos favorables de estos combustibles es fomentar la producción a nivel local, fomentando la actividad en el mundo rural y la economía circular, plantas como la de Repsol en Cartagena consideran la llegada de residuos para ser utilizados como materia prima incluso por vía marítima.

### **2. Pretratamiento**

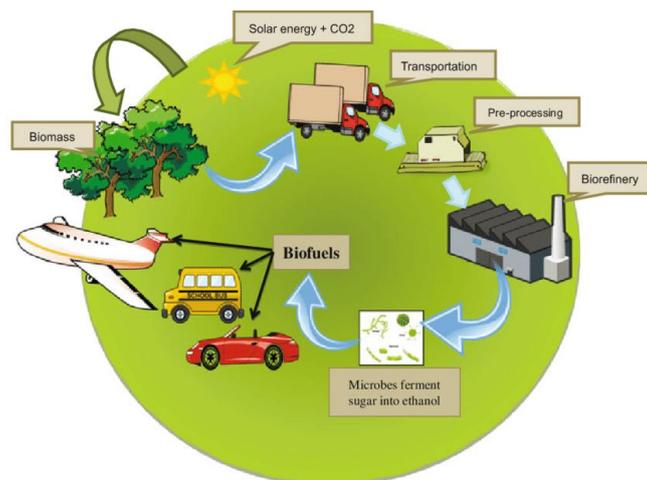
No todos los residuos son válidos para la producción de biocombustibles. Los residuos se separan para eliminar materiales no deseados y se clasifican en función de su composición para ser empleados en la conversión adecuada. Una vez realizado el primer filtro, los residuos seleccionados se trituran y muelen para facilitar la reacción. En caso de ser necesario, se lleva a cabo también un proceso de secado.

### 3. Conversión

La conversión de los residuos en biocarburantes propiamente dichos tiene lugar en esta etapa. Para ello es posible emplear distintas técnicas, como la fermentación o la transesterificación, explicados en el siguiente punto, en las que se produce una reacción química que en muchas ocasiones es acelerada mediante la inclusión de un catalizador.

### 4. Refinamiento y purificación

Consiste en eliminar impurezas y residuos que no son útiles como combustibles pero que, en muchas ocasiones, tienen otra utilidad, como la elaboración de productos cosméticos. Este refinamiento permite cumplir con las especificaciones de calidad necesarias, asegurando que los biocombustibles son eficientes y aptos para los motores en los que se van a aplicar.



*Ilustración 4: Proceso de producción de biocombustibles (Google).*

## 2.3 DESCRIPCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS

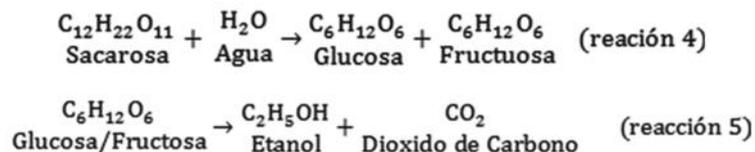
Existen multitud de procesos distintos que permiten obtener biocombustibles. De forma genérica se emplean reacciones químicas, fermentación y aporte de calor para descomponer los residuos orgánicos empleados como materias primas, para posteriormente refinar el producto obtenido en esos procesos y que el combustible pueda ser empleado en motores de vehículos y generadores de electricidad y calor.

Con el fin de facilitar la comprensión del proyecto, a continuación se describen brevemente los procesos de producción de biocombustibles más comunes:

### Fermentación

La fermentación es un proceso de oxidación incompleta que no requiere oxígeno y que da lugar, como producto final, a dióxido de carbono y alcohol. Para obtener biocombustible la fermentación puede llevarse a cabo tanto en reactores abiertos como en cerrados. En ambos casos, al tratarse de una reacción exotérmica, es necesario mantener una temperatura de 30°C que favorezca la transformación de azúcares en etanol (Ilustración 5).

Este proceso se emplea comúnmente en lo que se ha definido como biocombustibles de 1ª Generación. Como ejemplo, el bioetanol, combustible más empleado a nivel mundial con un 80% del volumen total, se obtiene a partir de la fermentación de azúcares presentes en los tejidos vegetales.

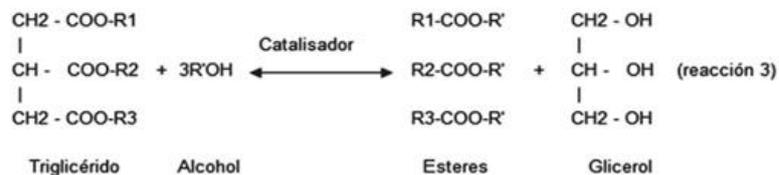


*Ilustración 5: Reacción de hidrólisis de sacarosa y fermentación (Revistas de Investigación)*

### Transesterificación

La transesterificación es una reacción química orgánica en la que un triglicérido (grasa) reacciona con un alcohol y un catalizador. De esta forma las grasas se convierten en biocombustible. Los triglicéridos y alcohol deben mantener una reacción estequiométrica de 1 a 3 (Ilustración 6), aunque es común utilizar un exceso de alcohol para garantizar la reacción. En este caso la reacción tiene lugar a una temperatura de 60°C y tiene una duración aproximada de 1 hora.

Se trata de un proceso empleado en la producción de biocombustibles de 1º Generación. En este caso, el ejemplo más representativo de biocombustible obtenido mediante este proceso es el biodiésel. La reacción de los aceites animales, grasas vegetales y otros residuos empleados como materia prima junto con alcohol y un catalizador dan lugar a glicerina y ésteres.



*Ilustración 6: Reacción de transesterificación (Revistas de Investigación)*

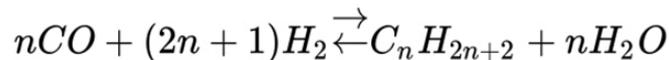
### Sacarificación-fermentación

En el proceso de sacarificación y fermentación simultánea (SFS) se producen al mismo tiempo la degradación de la celulosa (sacarificación), obteniéndose así los azúcares que sirven de punto de partida para la fermentación previamente explicada, y la reacción orgánica (fermentación). Que ambos procesos ocurran de manera simultánea tiene ventajas, como el ahorro en costes al producirse en un mismo reactor, aunque también presenta inconvenientes, ya que, por ejemplo, las temperaturas óptimas no son las mismas para ambas reacciones. Al producirse simultáneamente, la temperatura para ambas reacciones dentro del reactor es la misma.

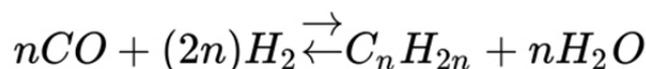
Este proceso se emplea para obtener los llamados biocombustibles de 2ª Generación o combustibles avanzados. Un ejemplo concreto de biocombustible producido a partir de esta tecnología es el bioetanol. La diferencia con respecto al bioetanol producido mediante proceso simple de fermentación es la materia prima empleada, en este caso obtenido de residuos en lugar de a partir de cultivos.

### Proceso Fischer-Tropsch

Se trata de un proceso químico catalítico que permite obtener hidrocarburos a partir de CO y H<sub>2</sub> en presencia de un catalizador (Ilustración 7 e Ilustración 8). Para que las reacciones alcancen un buen rendimiento requieren presiones y temperaturas elevadas, de entre 20-30 bar y 200-350°C respectivamente. Temperaturas por encima de los 400°C deben evitarse para impedir la aparición de metano.



*Ilustración 7: Proceso Fischer-Tropsch, producción de parafinas (Wikipedia)*



*Ilustración 8: Proceso Fischer-Tropsch, producción de olefinas (Wikipedia)*

Este proceso siempre se emplea para la obtención de los llamados biocombustibles de 2ª Generación. Como en el caso anterior las materias primas empleadas son residuos orgánicos urbanos, agrícolas, ganaderos o forestales.

## **2.4 TIPOS DE BIOCOMBUSTIBLES**

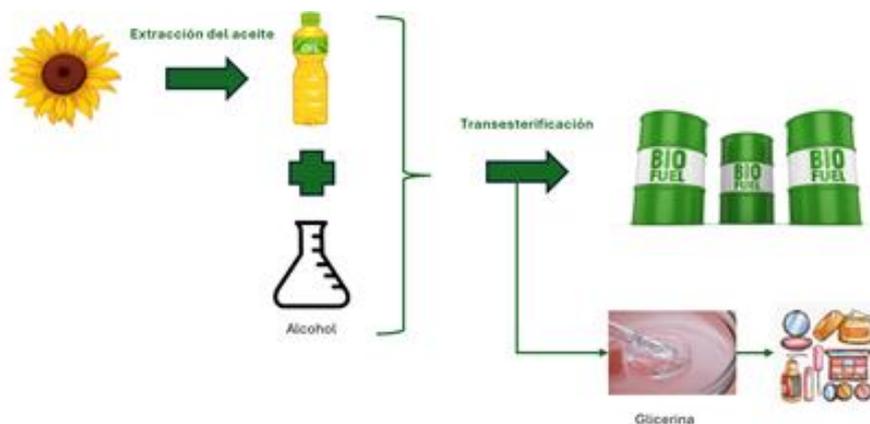
Dentro de las distintas generaciones previamente presentadas de biocombustibles se engloban distintos tipos de carburantes. Estos pueden pertenecer al mismo tiempo a varias

generaciones, diferenciándose únicamente en la materia prima y la tecnología empleadas para la producción, aunque el producto final sea el mismo. Así, se puede producir, por ejemplo, biodiésel de 1ª generación o de 2ª generación. De entre los biocombustibles existentes, los más empleados en la actualidad son:

○ Biodiésel

Es el biocarburante más utilizado en España, siendo su principal uso como combustible renovable en vehículos privados. Esta no es, sin embargo, su única aplicación. Puede emplearse también como combustible para calefacción doméstica e incluso en generadores de energía eléctrica, tanto en sustitución del gasóleo de origen mineral como mezclado con este. En este último caso la nomenclatura BX permite identificar la proporción de biodiésel. Mezclas con valores de X comprendidos entre 5 y 20 son las más utilizadas y no es necesaria ninguna modificación en el motor, acelerando así la transición energética.

Para su obtención pueden emplearse como materias primas aceites vegetales, grasas animales y aceites de cocina usados, que fomentan la economía circular. El proceso empleado para su producción es la transesterificación. La Ilustración 9 recoge el proceso de producción para el biodiésel de 1ª Generación empleando como materia prima aceite vegetal.



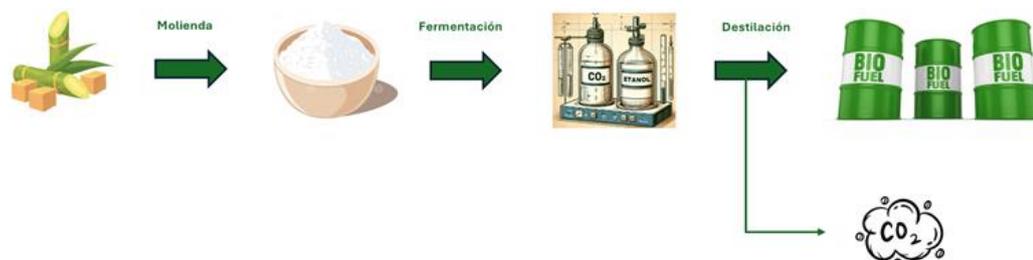
*Ilustración 9: Proceso de obtención del biodiésel de primera generación mediante transesterificación (elaboración propia).*

Principales ventajas del biodiésel:

- ✓ Se trata de un combustible renovable. Según la *Environmental Protection Agency* de Estados Unidos permite reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> entre un 57% y un 86%.
  - ✓ En caso de utilizarse residuos de origen agrícola o urbano, fomenta la economía circular, dando una segunda vida a los desechos ya generados.
  - ✓ A diferencia de otros combustibles, el biodiésel no contiene azufre, por lo que no emite gases de efecto invernadero durante su combustión.
- Bioetanol

El bioetanol es un biocombustible gaseoso, que, al igual que el biodiésel, puede emplearse mezclándose con los combustibles fósiles tradicionales en motores convencionales o aplicarse sin mezclar en motores previamente preparados. Es el biocombustible más empleado en el transporte, y su aplicación también está ampliamente extendida para la generación de calor en sistemas de climatización como chimeneas y estufas, la generación de electricidad mediante calderas de bioetanol, y la generación de energía eléctrica, aunque su aplicación resulta, en este último caso, menos común.

Según la Asociación Española de Operadores Petrolíferos, se pueden emplear residuos vegetales, residuos agrícolas y urbanos y especies vegetales no alimentarias como materia prima para este tipo de biocombustibles. Esto se corresponde, respectivamente, con la primera, segunda y tercera generación de biocombustibles. El proceso empleado en la producción de bioetanol es la fermentación. La Ilustración 10 representa de manera esquemática el proceso de producción de bioetanol de 1ª Generación a partir de caña de azúcar.



*Ilustración 10: Proceso de obtención del bioetanol de primera generación mediante fermentación (elaboración propia).*

Principales ventajas del bioetanol:

- ✓ Reducción de hasta el 86% en las emisiones de CO<sub>2</sub> con respecto a los combustibles fósiles. Aunque en su combustión liberan CO<sub>2</sub> como puede observarse en la Ilustración 10, este procede de la absorción de las plantas, por lo que la emisión neta de este compuesto puede considerarse cero.
  - ✓ El único residuo generado durante la combustión es CO<sub>2</sub> que puede ser capturado y empleado en determinadas industrias.
- Biogás
- El biogás es un gas renovable compuesto por CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub> que, según el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía de España es *“La única energía renovable que puede usarse para cualquiera de las grandes aplicaciones energéticas: eléctrica, térmica o como carburante”*.
- Para la obtención de este gas renovable se emplean los desechos orgánicos de las industrias alimentaria, agrícola y ganadera, así como los residuos urbanos. Esto incluye desde mondas de fruta o posos de café, hasta los lodos generados en las depuradoras de agua. Por tanto, este biocombustible no se engloba dentro de la 1ª Generación y queda libre de cualquier normativa o legislación que limite la utilización de recursos alimenticios para la generación de biocombustibles.
- El proceso de producción, recogido de manera esquemática en la Ilustración 11, es más sencillo y requiere un menor control que la producción de biodiésel y bioetanol. Se basa en la fermentación anaeróbica (en ausencia de oxígeno) de la materia orgánica presente en los residuos. Tras este proceso el biogás obtenido se utiliza como combustible de los generadores de energía para producir electricidad o calor. Además, los recursos generados pueden utilizarse para producir fertilizantes orgánicos.

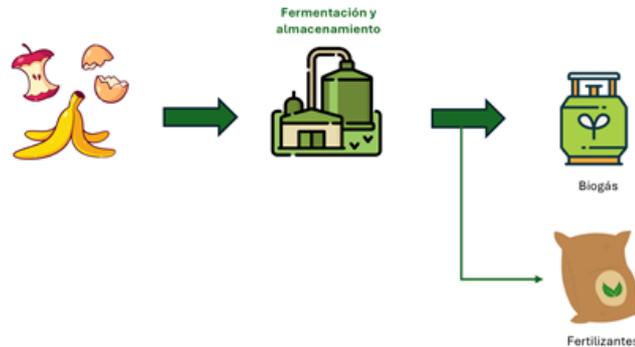


Ilustración 11: Proceso de obtención de biogás mediante fermentación (elaboración propia).

Principales ventajas del biogás:

- ✓ Potencia la economía circular y la transformación de residuos, y reduce los volúmenes de basuras en los vertederos al emplear como materias primas los desechos de otros sectores.
  - ✓ Se trata de un combustible 100% renovable que utiliza biomasa como recurso para su generación, fomentando así el desarrollo de las áreas rurales.
- Biometano
- Se presenta como alternativa al gas natural, no solo para generar electricidad y calor, también como combustible para la propulsión de vehículos. Al poder mezclarse en cualquier proporción con el gas de origen fósil, puede inyectarse en la red de gas para consumo residencial e industrial aprovechando las infraestructuras ya existentes.
- Se obtiene a partir de biogás, generado a partir de residuos orgánicos siguiendo el proceso previamente explicado (Ilustración 11). Este se somete, a su vez, a un tratamiento conocido como “*upgrading*”, que consiste en una purificación que transforma el biogás en biometano con el fin de que su composición sea lo más parecida posible al gas natural fósil. Así, la proporción de metano aumenta a costa de reducir la cantidad de CO<sub>2</sub>, humedad y otros componentes del biogás como amoníaco, hidrógeno y oxígeno.
- Entre sus principales ventajas cabe destacar, además del aprovechamiento de la red de gas ya existente, su aplicación para la producción de hidrógeno verde o renovable, que

se considera hoy un elemento fundamental para la descarbonización de sectores donde la electrificación no es viable, como el transporte pesado o la industria. Resulta de especial interés en nuestro país, que busca situarse a la cabeza de la producción de hidrógeno verde en Europa, con multitud de proyectos ya en curso entre los que destacan: la mayor planta de producción de Europa en Puertollano (Ilustración 12), el Corredor Vasco del Hidrógeno o el Valle del Hidrógeno de Cataluña.



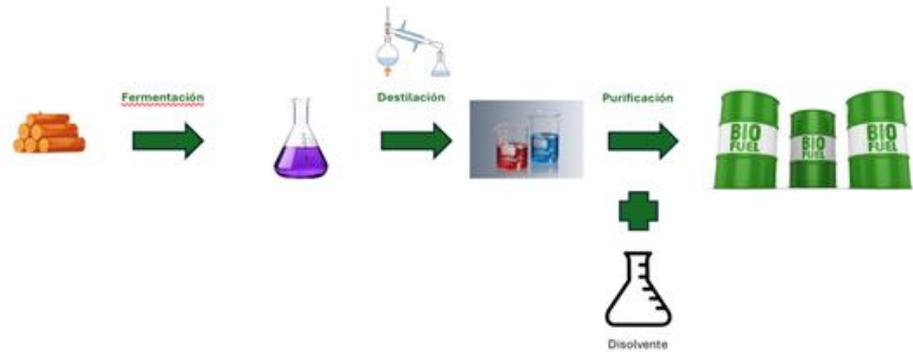
*Ilustración 12: Planta Hidrógeno Verde Puertollano (Iberdrola).*

○ **Biobutanol**

Su principal aplicación es el transporte, este biocombustible se presenta como un gran sustituto de la gasolina gracias a su alta densidad energética y las escasas modificaciones necesarias para su aplicación. Adicionalmente puede emplearse para la generación de energía y calor o incluso para la producción de hidrógeno, como el biometano.

Se obtiene a partir de materiales orgánicos como cultivos energéticos, residuos agrícolas o desechos forestales. El proceso de producción se divide en tres fases claramente diferenciadas: una fermentación acetona, butanol, etanol (ABE), seguida de una separación de los productos y, por último, la purificación de los mismos. La separación suele llevarse a cabo mediante una destilación fraccionada en la que el biobutanol se separa del etanol y la acetona gracias a su elevado punto de ebullición. La purificación,

por su parte, busca llegar a un resultado más puro mediante la utilización de disolventes específicos.



*Ilustración 13: Proceso de obtención de biobutanol mediante fermentación, destilación y purificación (elaboración propia).*

Principales ventajas del biobutanol:

- ✓ Su principal ventaja frente al resto de biocombustibles es su mayor densidad energética, lo que facilita su almacenamiento y transporte.
- ✓ Además, puede sustituir directamente a la gasolina sin necesidad de realizar modificaciones sobre el motor en el que va a ser empleado, lo que le convierte en una gran alternativa frente a los combustibles tradicionales en el transporte.
- ✓ Esto nos podría llevar a preguntarnos entonces por qué su aplicación no está ampliamente extendida. Se debe a la ineficiencia en su producción a nivel industrial y la necesidad de desarrollar procesos más eficientes que puedan sustituir a la separación y purificación actual.

## **2.5 PRINCIPALES APLICACIONES**

Con un consumo del 43% de la demanda energética total, el sector transporte supuso en 2018 un 27% de las emisiones de CO<sub>2</sub> emitidas en nuestro país según el Centro Nacional de Energías Renovables (CENER). Como ilustra la Tabla 9, y a pesar del incremento en las ventas de vehículos eléctricos e híbridos, el consumo de combustibles fósiles para el transporte ha seguido aumentando desde entonces. Por ello la descarbonización de este

sector se ha convertido en un factor esencial si se pretende alcanzar la neutralidad climática en el año 2050. En este contexto de cambio y de constante mejora en el ámbito medioambiental, los biocarburantes se han convertido ya en la fuente de energía renovable más utilizada en España.

A pesar de que algunos medios siguen poniendo en duda el impulso y potencial del vehículo eléctrico, atendiendo fundamentalmente a su limitada autonomía y el estado actual de la red e infraestructura de carga, la electrificación del transporte ligero resulta clave para cumplir los objetivos de descarbonización establecidos. Asumiendo, en todo caso, que se alcance un porcentaje suficientemente elevado de energía renovable para la generación de la electricidad. Algo que en nuestro país no debería suponer un problema. Sin embargo, existen otros sectores dentro de la industria del transporte donde la electrificación no es una opción en el camino hacia la descarbonización: transporte pesado por carretera, transporte aéreo y transporte marítimo. Los principales motivos, fundamentalmente técnicos, son los siguientes:

1. Los combustibles fósiles tienen mayor densidad energética que las baterías actuales, por lo que las baterías necesarias serían demasiado pesadas y voluminosas, reduciendo la capacidad útil de las mismas, la eficiencia y la capacidad de carga.
2. La autonomía y rango de las baterías actuales son limitados, y los tiempos de recarga son elevados, imposibilitando su aplicación para los recorridos de larga distancia que cubren este tipo de medios.
3. La infraestructura necesaria para la recarga es escasa en la red de carreteras e inexistente en puertos y aeropuertos. El coste para solventar esta situación es muy elevado, reduciendo significativamente su atractivo.
4. La disponibilidad de los minerales necesarios para la elaboración de las baterías y las redes de distribución es limitada (Ilustración 14). Además del riesgo asociado al incremento de los precios de estos minerales por su escasez, y por tanto de este tipo de energías, se debe tener en cuenta que las minas para su obtención se encuentran, en muchas ocasiones, en países con cierta inestabilidad geopolítica.

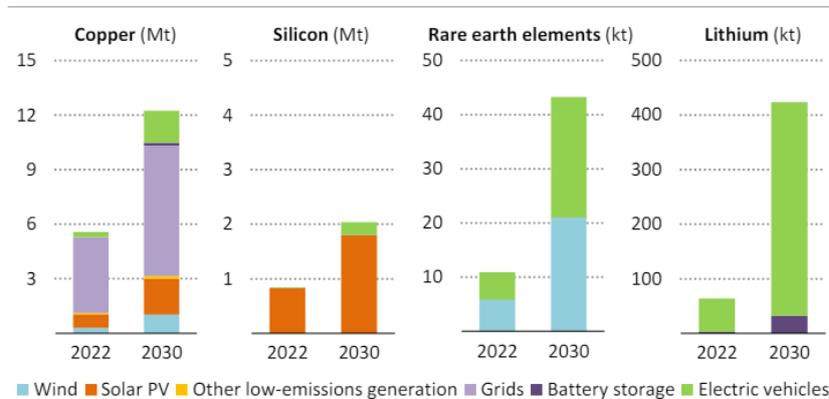


Ilustración 14: Demanda de minerales asociados a la electrificación y el suministro de energías limpias (IEA – WOE 2023).

El uso de biocombustibles líquidos y gaseosos se ha convertido en una opción mucho más factible para la descarbonización de estos sectores. Pueden utilizarse mezclados con los combustibles fósiles convencionales o incluso sin mezclar. En el transporte pesado terrestre y en el transporte marítimo el diésel renovable, el bioetanol o incluso el bioautogás pueden sustituir total o parcialmente a los combustibles tradicionales. En la aviación, el combustible sostenible de aviación o SAF, por sus siglas en inglés, es el biocarburante que puede sustituir al queroseno tradicional reduciendo la huella de carbono de un sector que supone un 3,5% de las emisiones globales de gases contaminantes. El SAF más común se conoce como HEFA.

En nuestro país en 2023 el marco legal ya obligaba a incorporar al menos un 10,5% de biocombustibles en el transporte pesado rodado, mientras que el SAF empleado estaba limitado al 50% del volumen total. El hecho de que puedan emplearse sobre los actuales vehículos sin realizar modificaciones, y que la infraestructura de gasolineras actuales pueda albergar este tipo de carburantes impulsa a estos combustibles a convertirse en los protagonistas de la descarbonización de estos sectores del transporte. Su grado de implantación, que podrá ser rápido, depende, en gran medida, del nivel de desarrollo de las tecnologías asociadas para la producción, permitiendo convertirlo en una alternativa económicamente viable.

## **2.6 IMPACTO ECONÓMICO**

A la creciente utilización de este tipo de combustibles se suma que España contaba, en 2022, con 163 centros de fabricación de biocombustibles sólidos, 19 plantas de biodiésel o 4 de bioetanol. Asimismo, se debe tener en cuenta que nuestro país está dotado de una posición estratégica en el sector por diversos factores: disponibilidad de recursos biomásicos, implicación de sectores clave de la economía, como la agricultura y la ganadería, y recursos científicos y tecnológicos asociados más que suficientes. El resultado es que el biodiésel y el bioetanol alcanzaron en 2020 una cuota de mercado cercana al 10%, una contribución al PIB de nuestro país superior a los 630 millones de euros y generaron más de 4000 empleos.

Adicionalmente, la utilización de biocarburantes en nuestro país evitó durante 2022 la emisión 4,16 toneladas de CO<sub>2</sub>, lo que supuso un ahorro económico de 314 millones de euros en términos de derechos de emisión.

Estos son solo algunos de los motivos por los que diversas empresas del sector están apostando por nuestro país para el desarrollo de estos productos. Repsol avanza en su construcción en Cartagena, donde está desarrollando la primera planta de biocombustibles avanzados de España. El proyecto, que cuenta con una inversión superior a los 200 millones de euros, posibilitará la producción de 250.000 toneladas anuales de combustibles renovables a partir de recursos como el aceite de cocina usado. Estos combustibles podrán ser utilizados en vehículos sin necesidad de modificar sus motores, evitando la emisión de 900.000 toneladas de CO<sub>2</sub> al año. La petroquímica Cepsa también presenta un proyecto junto con la empresa Bio-Oils para la producción de biocombustibles avanzados en nuestro país. Con una inversión superior a los 1000 millones de euros pretende convertirse en la mayor planta de biocarburantes de segunda generación de Europa, generando además 2000 puestos de trabajo en la provincia de Huelva.

## ***2.7 IMPACTO MEDIOAMBIENTAL***

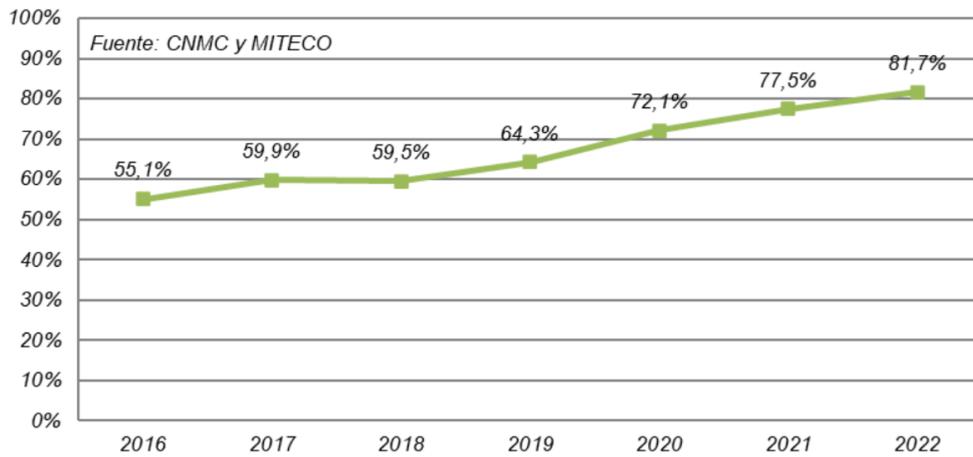
No solo en lo económico reportan beneficios estos combustibles. Además de impulsar positivamente al PIB de nuestro país y crear miles de empleos, una de sus principales ventajas, y de ahí su esperado crecimiento potencial para los próximos años, es la reducción de gases de efecto invernadero que pueden acarrear al utilizarse como sustitutos de los combustibles fósiles tradicionales.

El Centro Nacional de Energías Renovables afirma en su estudio titulado “*Estado de desarrollo, mercado y potencial de los biocombustibles en España*”, que el transporte es el sector que más emisiones de CO<sub>2</sub> emite. Según el desglose realizado para los valores correspondientes al año 2018, de todas las emisiones de CO<sub>2</sub> en nuestro país el 25% se corresponden con el transporte por carretera, siendo el transporte pesado el responsable del 8% de este, el 1% se corresponde al transporte aéreo doméstico y otro 1% se corresponde con el transporte marítimo también doméstico.

Los biocarburantes consumidos en nuestro país en el año 2022 ascendieron hasta prácticamente las 2 millones de toneladas. Su utilización alcanzó el récord de emisiones de efecto invernadero evitadas en España, eludiendo la emisión a la atmósfera de aproximadamente 4,7 millones de toneladas de distintos gases. Si la producción se duplica o triplica durante los próximos años, como predicen fuentes consultadas como el *National Geographic*, podrían llegar a evitarse hasta 15 millones de toneladas en gases que potencian el calentamiento global. De esta forma, la consecución de los objetivos ambientales fijados por la Unión Europea, y que se introducirán en las próximas páginas, están un paso más cerca.

Además, los últimos datos ofrecidos por el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico recogen que el ahorro medio de emisiones de estos carburantes con respecto a los combustibles sustituidos alcanzó en 2022 el 81,7%, siendo el valor más elevado hasta ahora en nuestro país. Asimismo, según El Periódico de la Energía, esta cifra mantiene la

tendencia al alza de los últimos años, con un 72,1% en 2020 y un 77,3% en 2021 (Ilustración 15).



*Ilustración 15: Evolución del ahorro anual medio de GEI (MITECO).*

## Capítulo 3. ANÁLISIS REGULATORIO

Para entender el contexto normativo y los objetivos establecidos 2021 supone un año clave. Concretamente en junio de ese año se aprueba la Ley Europea del Clima (*European Climate Law*) en la que el objetivo de neutralidad climática en la Unión Europea para el año 2050 pasó a ser una obligación. Además, se incluye como eslabón intermedio la reducción de al menos un 55% en las emisiones netas de gases de efecto invernadero con respecto a los niveles de 1990 para el año 2030 (Ilustración 16). Por último, se puso en marcha también una cláusula para la revisión periódica de los procedimientos.

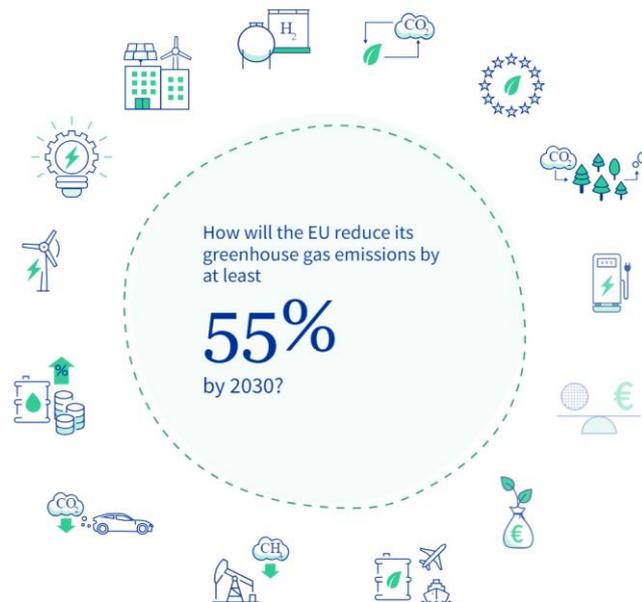


Ilustración 16: Qué incluye el paquete de medidas “Objetivo 55” (Consejo de la Unión Europea).

Esta situación se engloba dentro de un contexto de creciente preocupación climática que dio lugar cinco años antes a los conocidos Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y al Acuerdo de París. Los primeros, establecidos en septiembre de 2015, fueron adoptados por los líderes mundiales con el objetivo de erradicar la pobreza, proteger el planeta y asegurar

la prosperidad de todos en los siguientes quince años a su introducción. El Acuerdo de París, por su parte, se convirtió en un hito histórico que supuso el acuerdo de 196 países con el objetivo de limitar el calentamiento global a 1,5°C en el largo plazo. Este acuerdo establece un marco en el que los países desarrollados proporcionan apoyo financiero y técnico a los países que lo necesitan. Su funcionamiento se basa en ciclos de cinco años para establecer medidas cada vez más ambiciosas a través de la transformación económica y social.

Esta transición hacia la neutralidad climática requiere de medidas en todos los sectores, así como cambios en la forma de producir la energía y los alimentos, el ritmo en el que se consumen los bienes y servicios y, por supuesto, la forma de viajar. Para ello, los países de la Unión deben adoptar medidas que les permitan alcanzar el objetivo común. Estas medidas incluyen normativas a nivel institucional, que deben adoptar como integrantes de la UE, pero también leyes particulares a nivel nacional que los estados miembros consideren oportuno implementar exclusivamente en su territorio.

### **3.1 ANÁLISIS REGULATORIO EN ESPAÑA**

Tras la entrada en vigor del Acuerdo de París en el año 2016, España envió en marzo de 2020 su Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC) 2021-2030. Este documento recoge los objetivos que se fija nuestro país para la reducción de emisiones de efecto invernadero, el grado de implantación de las energías renovables y la eficiencia energética. Agrupa también las medidas que permitirán alcanzar esos objetivos, y que se resumen a continuación. El documento elaborado por España, junto con el resto de planes nacionales elaborados por el resto de países de la Unión, es enviado a la Comisión Europea, donde se somete a revisión para tratar de determinar si el conjunto de las medidas será suficiente para alcanzar los objetivos comunes.

#### **3.1.1 ENERGÍAS RENOVABLES**

España pretende alcanzar en el año 2030 un 42% de energía renovable sobre el consumo final. También se establece como objetivo lograr la implementación de un 28% de energía

renovable en el transporte gracias, fundamentalmente, a la electrificación y a los biocarburantes.

### Biocarburantes

- En el año 2021 el gobierno fijó una política de mezcla obligatoria que establecía un uso del 10,5% de combustible sostenible. Este valor irá aumentando progresivamente hasta alcanzar el 12% en 2026. Asimismo, a través del Reglamento Delegado (UE) 2023/1640 la Unión Europea introdujo una metodología para determinar la proporción de biocombustibles en los carburantes.
- Se han adoptado programas de subvenciones y ayuda como la reducción del IVA para la adquisición de vehículos impulsados por biocombustibles, a través del Plan Moves. Asimismo, y aunque los biocombustibles líquidos y gaseosos no cuentan con ningún tipo de reducción fiscal sobre su precio, debe tenerse en cuenta que los biocarburantes sólidos han sufrido una reducción del IVA desde el 21% original hasta el 5%.
- Se ha lanzado también una convocatoria de ayudas por valor de 150 millones de euros financiados por el Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia de los fondos Next Generation EU. Estas ayudas están dirigidas a la consecución de proyectos relacionados con la implantación de biocombustibles.

### Vehículo eléctrico

En este caso el gobierno ha fijado incluso un objetivo numérico como meta para 2030. En concreto, se espera que el número de vehículos electrificados que circulen por las carreteras españolas para ese año alcance los cinco millones. Entre las medidas más destacadas para poder alcanzar este valor se encuentran:

- En el año 2021 se aprobó la Ley de Cambio Climático y Transición Energética, por la cual se obliga a las ciudades de más 50.000 habitantes a implantar Zonas de Bajas Emisiones (ZBE). Estas priorizan la circulación de vehículos con bajas o nulas emisiones fomentando así su compra y favoreciendo la consecución de la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>. Ciudades como Madrid, Barcelona, Valencia, Sevilla, Bilbao, Málaga y Valladolid ya cuentan con sus respectivas ZBE.

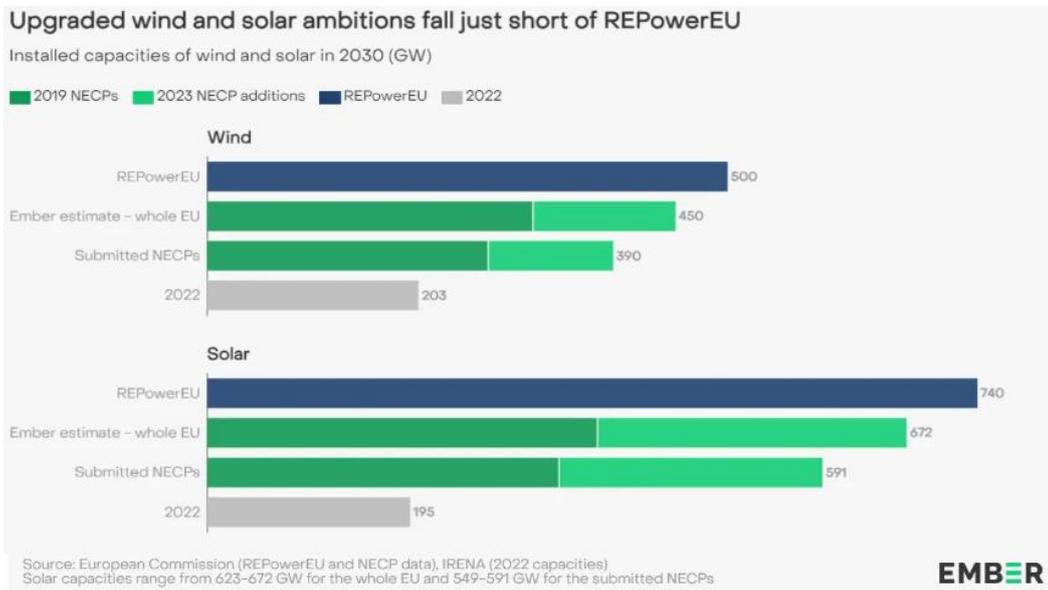
- Subvenciones directas para el desarrollo de las infraestructuras de carga. Estas subvenciones cubren tanto los puntos de recarga públicos como los privados para poder crear una red extensa y accesible de estaciones de carga rápida y ultrarrápida.
- Como ocurre con los vehículos propulsados por biocarburantes, se han implantado incentivos fiscales para la compra de vehículos eléctricos (Plan Moves).
- A través del Proyecto Estratégico para la Recuperación y Transformación (PERTE) fomentar la colaboración público-privada con la que movilizar inversiones para fomentar la innovación en este sector. Se prevé alcanzar una movilización de 12.000 millones de euros.

### **3.1.2 REDUCCIÓN DE EMISIONES**

Los últimos datos recogidos por *Ember*, multinacional independiente dedicada al análisis de datos relacionados con la energía y emisiones, reflejan que en 2023 las emisiones se redujeron en Europa un 19% (YoY) y la generación de combustibles fósiles alcanzó mínimos históricos, con un valor del 33%. Además, por primera vez se generó más electricidad mediante fuentes eólicas que utilizando el gas como materia prima.

Ante estos resultados, España parece haber quedado un punto por debajo de sus homólogos europeos. Los objetivos fijados por el PNIEC en el año 2021 buscaban reducir un 23% las emisiones de gases de efecto invernadero con respecto a los valores de 1990. A pesar de que supone una mejora considerable, este valor resulta sorprendentemente bajo, ya que representa menos de la mitad del objetivo establecido por la Unión Europea para ese mismo año.

Sin embargo, España no es el único país cuyos objetivos se encuentran por debajo del umbral fijado por la UE. *Ember* afirma que la Unión Europea no alcanzará sus objetivos para 2030. Tras analizar los objetivos y medidas recogidos en 22 planes nacionales de energía y clima distintos, afirma que solo se llegará a producir un 66% de la energía renovable fijada (**Error! Reference source not found.** Ilustración 17), por lo que nuevas medidas están por venir para lograr el objetivo.



*Ilustración 17: Perspectivas de capacidad de producción solar y eólica para el año 2030 (Ember).*

Ante esta situación, el gobierno ha incrementado la ambición del Plan Nacional Integrado de Energía y Clima. La última revisión del documento, presentada en formato borrador ante la Comisión Europea en junio de 2023, propone un nuevo objetivo que asciende hasta el 32%, valor que queda todavía muy alejado de la referencia europea.

Este incremento se basa, principalmente, en el aumento de la generación renovable. Los proyectos de este tipo de generación para la próxima década se han incrementado un 77% con respecto a lo previsto en 2020, hasta alcanzar una previsión de 105GW de producción. Los mayores incrementos del nuevo plan se corresponden, concretamente, con la solar fotovoltaica y el biogás, que crecen respectivamente un 95% y un 83% con respecto al plan inicial. Resulta además sorprendente que solo la energía solar térmica ha visto reducidas sus previsiones tras la revisión.

Las normativas europeas también han decidido meter una marcha más con el fin de alcanzar las ambiciosas metas fijadas. Así, la Directiva de Energías Renovables (RED II) ha establecido que al menos un 14% del consumo final de energía en el sector transporte debe

provenir de fuentes renovables para el año 2030. Esto incluye bicombustibles, biogás y electricidad renovable.

### **3.1.3 EFICIENCIA ENERGÉTICA**

Los biocarburantes juegan un papel fundamental en la consecución de las mejoras en términos de eficiencia energética, impulsando la economía circular y potenciando la aceleración de la transición energética. Para poder alcanzar el objetivo establecido de lograr una mejora cercana al 40% para el año 2030 en este ámbito, algunas de las principales medidas propuestas son:

1. Rehabilitación energética de los edificios existentes, incorporando sistemas de calefacción y refrigeración que utilicen biocombustibles sólidos como pellets, en lugar de combustibles fósiles tradicionales.
2. Fomento del autoconsumo y las comunidades locales de energía, aprovechando los residuos agrícolas y forestales para producir biocombustibles, promoviendo así una economía circular y sostenible.
3. Implantación de sistemas de generación híbridos, favoreciendo la flexibilidad del sistema eléctrico. Emplear biocombustibles combinados con otras fuentes de energía renovable permite, por ejemplo, que las plantas de cogeneración puedan operar cuando las fuentes intermitentes como la solar o la eólica no están disponibles.

Con el fin de preservar los ecosistemas al mismo tiempo que se promueve el uso de biocombustibles, la RED II, aprobada en Europa y mencionada anteriormente, establece que la materia prima empleada en la producción de estos combustibles no puede provenir de áreas de alta biodiversidad o tierras con alto contenido en carbono.

## **3.2 PRÓXIMOS PASOS**

Los biocarburantes supusieron en 2018 un 5% del total de la energía consumida en el sector transporte. Según el Centro Nacional de Energías Renovables, la totalidad de estos biocombustibles podía clasificarse dentro de lo que se ha definido como 1ª generación,

habiendo sido producidos a partir de cultivos alimentarios y aceites vegetales. Como se ha mencionado en el apartado anterior, el PNIEC prevé que en 2030 se alcance un share del 28% de energía renovable en este sector, gracias, principalmente, a la electrificación y a los biocarburantes. Para ello se establecen no solo obligaciones en el transporte por carretera, si no objetivos específicos para la aviación.

Para tratar de garantizar un crecimiento sostenible del consumo de biocarburantes, promoviendo la utilización de residuos y evitando la demanda excesiva de tierras, la Directiva 2018/2001 sobre el uso de energías renovables establece límites para la contribución de biocombustibles convencionales en el transporte por carretera para 2030, limitando su participación al 7% del total. Además, impone cuotas mínimas crecientes para biocarburantes avanzados, comenzando en un 0,2% en 2022 y aumentando a un mínimo del 3,5% en 2030.

A nivel europeo, la DER II está siendo revisada y se está considerando aumentar el objetivo de energías renovables en el transporte para 2030 del 14% al 26%. También se contempla elevar la cuota de biocombustibles avanzados al 5,5%, en lugar del 3,5% previsto inicialmente, y se está debatiendo la introducción de la obligación de suministro de biocombustibles para la industria de la aviación.

El gobierno de España ha ido un paso más lejos y no ha limitado sus objetivos a lo establecido en el PNIEC. Así, el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico ha elaborado la *Estrategia de Descarbonización a Largo Plazo*, que dicta una nueva estrategia y propone una reducción de las emisiones del sector transporte, respecto a los valores actuales, del 30 % en 2030 y del 75 % en 2040.

## **Capítulo 4. ANÁLISIS TÉCNICO**

Tras haber presentado brevemente el motivo que ha llevado a los biocombustibles a convertirse en una de las principales alternativas frente a las crecientes restricciones a la movilidad y la creciente preocupación por el medio ambiente durante la introducción, haber resumido el grado de desarrollo tecnológico actual en las materias primas a emplear, los procesos de producción y los campos de aplicación de este tipo de combustibles, y haber dado a conocer el marco regulatorio y las nuevas medidas que sin duda potencian el uso de estos carburantes, es momento de dar forma a uno de los pilares fundamentales de este trabajo: el análisis técnico de los biocombustibles. Este análisis engloba tanto un estudio genérico de la situación a nivel global, fundamental para comprender las tendencias en el suministro y las necesidades futuras, como un estudio detallado y preciso del estado actual de este tipo de combustibles en nuestro país.

El punto de partida, en base a los datos más recientes disponibles, es atractivo. Los biocarburantes suponen a día de hoy un 50% del suministro renovable total y la producción se incrementó un 5% en 2022. La producción total para ese mismo año fue de 35,7 EJ, siendo el 84% biocarburante sólido, el 13% líquido y el 3% gaseoso.

### ***4.1 PREVISIÓN DE PRODUCCIÓN A NIVEL GLOBAL***

Aunque el sentido común pueda llevar a pensar que el análisis debe partir de las perspectivas de demanda, lo cierto es que la situación medioambiental, los permanentes cambios en el marco legal y los objetivos de desarrollo sostenible obligan a dar la vuelta al estudio. Esto es, anticipar cual debe ser el suministro de energías renovables para los próximos años que garantice alcanzar los ambiciosos propósitos establecidos al mismo tiempo que se satisfacen las necesidades energéticas de los consumidores.

La Agencia Internacional de la Energía, IEA por sus siglas en inglés (*International Energy Agency*), publica cada año el denominado *World Energy Outlook 20XX (WEO)*. Este

documento, en el que se realiza un profundo análisis de la situación energética, las políticas medioambientales, los combustibles tradicionales y las nuevas alternativas, se presenta como una guía para que todos aquellos que están involucrados en la transición energética puedan tomar decisiones rápidas, seguras, económicas e inclusivas basándose en datos fiables.

La perspectiva para los próximos años tanto para los biocarburantes como para el resto de energías limpias, cuya inversión desde 2020 se ha incrementado un 40%, es prometedora. Sin embargo, ante un futuro incierto y en constante cambio, resulta de especial interés analizar diferentes escenarios. Estos permitirán estimar las necesidades de producción futuras en base a múltiples parámetros, obteniendo así conclusiones precisas. Para ello se utilizará el último análisis presentado por la IEA (*World Energy Outlook 2023*) como punto de partida. Teniendo en cuenta los objetivos establecidos por la Unión Europea, se estudiarán los mismos horizontes temporales, 2030 y 2050. Con el profundo estudio de sus datos y resultados, así como el análisis de los distintos parámetros considerados, se pretende extrapolar los resultados para tratar de obtener conclusiones a nivel nacional.

#### **4.1.1 ESCENARIOS**

Esta institución analiza los siguientes tres escenarios para su predicción, que se van a utilizar como pilares para el desarrollo del presente análisis técnico:

1. *Stated Policies Scenario (STEPS)*. Se trata del escenario más conservador. Analiza la situación actual en base a las últimas políticas implantadas relacionadas con la energía, el medioambiente y la industria. La visión que ofrece refleja la dirección actual del sector energético. En el WEO 2023 este escenario permite afirmar por primera vez que el máximo consumo de combustibles fósiles se alcanzará a final de esta década, fruto de la aceleración en la transición energética (Ilustración 18). Sin embargo, como se ha mencionado anteriormente, se prevé que las políticas actuales solo sirvan para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero un 60% para 2050. Parece coherente afirmar por tanto que nuevas medidas se irán introduciendo en los próximos años y que otros escenarios deben ser considerados.

2. *Announced Pledges Scenario (APS)*. Este segundo escenario va un paso más lejos y asume que todos los propósitos climáticos y energéticos ya definidos se alcanzan en tiempo y forma. Para ello, implica el compromiso y alineamiento de todos los países. Sin embargo, y teniendo en cuenta que los objetivos actuales establecidos en 22 planes energéticos nacionales son insuficientes, se espera que próximamente se vayan estableciendo objetivos aún más ambiciosos, dejando esta situación algo obsoleta.
3. *Net Zero Emissions (NZE)*. Es el escenario más ambicioso. Considera que nuevas medidas sean implementadas de manera satisfactoria con el fin de alcanzar en 2050 el doble objetivo fijado por la UE: cero emisiones netas emitidas y un incremento sobre el calentamiento global limitado a 1,5°C. Implícitamente es también el escenario con una mayor incertidumbre asociada, ya que estas medidas no están todavía claramente definidas, pero representa el camino necesario para alcanzar el destino fijado.

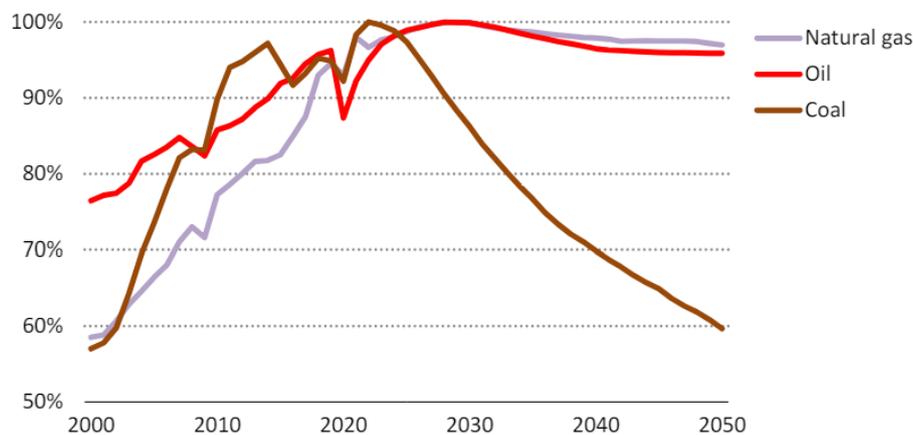


Ilustración 18: Consumo de combustibles fósiles en base al escenario STEPS, (IEA – WEO 2023).

Cada escenario refleja la respuesta a las políticas que será necesario instaurar durante los próximos años con el objetivo de alcanzar los objetivos climáticos. Estas políticas, dependiendo del escenario, son ya una realidad como ocurre con *STEPS*, o se han asumido

para alcanzar los ambiciosos objetivos de los escenarios *APS* y *NZE*. En cualquier caso, todas ellas dictarán las pautas de inversión para que se puedan satisfacer las necesidades energéticas de consumidores particulares y grandes empresas.

#### 4.1.2 MODELO Y PARÁMETROS

Los resultados numéricos que la IEA presenta proceden del Modelo Global de Energía y Clima, GEC por sus siglas en inglés (*Global Energy and Climate*). Este modelo, desarrollado por la propia institución, hace coincidir la demanda con el suministro de todos los países considerando múltiples parámetros:

##### A) Políticas energéticas

El conflicto bélico entre Ucrania y Rusia puso de manifiesto la necesidad de establecer un marco sólido que garantizase el suministro energético en caso de inestabilidad geopolítica. La situación actual, con la creciente tensión entre Israel y Gaza, así como los múltiples países aliados, no ha hecho sino incrementar esta necesidad. Este modelo, con sus diferentes escenarios, resulta especialmente efectivo ya que considera la inclusión de las más recientes legislaciones en este ámbito. Como resultado, se espera que los valores numéricos obtenidos sean precisos.

Un ejemplo claro es la inclusión del *Inflation Reduction Act*. Aprobada en 2022 en Estados Unidos, esta legislación promueve las energías renovables con el propósito de reducir las emisiones, garantizando, al mismo tiempo, la independencia energética. También incluye otros parámetros fuera del alcance de este trabajo como la reducción de la inflación o el acceso a la atención médica.

##### B) Políticas climáticas

La aprobación, durante los últimos años, de multitud de leyes y normativas en este ámbito es algo irrefutable. Estas políticas incluyen diversas consideraciones que van desde la reducción en la emisión de metano, hasta iniciativas para promover el acceso a la energía. Todas ellas buscan, en líneas generales, reducir el consumo de combustibles fósiles y con ello, la emisión de gases de efecto invernadero.

En Europa, algunos ejemplos en este ámbito son el Sistema de Comercio de Emisiones (EU ETS, *EU Emissions Trading System*), mencionado en la introducción, o el Mecanismo de Ajuste en la Frontera por Carbono (CBAM, *Carbon Border Adjustment Mechanism*). Además, países como Japón, Indonesia, Vietnam y Senegal también han adoptado sus propias medidas, con el *Green Transformation (GX)* o el *Energy Transition Partnership (JETP)*. Todas ellas, incluidas dentro de este gran modelo, permiten dar forma a unos resultados precisos pese a la incertidumbre asociada a los distintos escenarios.

#### C) Estrategias industriales

Resulta esencial añadir que la mayor parte de los países están promoviendo políticas para implementar energías limpias en la industria. España, y por supuesto la Unión Europea, no son una excepción. Estas políticas afectan a los costes ligados a la energía, parámetro fundamental para este análisis y que el modelo GEC considera para los distintos escenarios. Algunos ejemplos son, otra vez, Estados Unidos y la Unión Europea, sin olvidar países como Canadá, que promueven este tipo de energías mediante ayudas a través de fondos e incentivos fiscales.

Además, este modelo tiene en cuenta una gran variedad de combustibles y tecnologías energéticas. No solo las que están ya presentes a día de hoy, si no también aquellas que se espera que estén disponibles para ser comercializadas en los próximos años. Su consideración afectará a la proporción final que cada elemento suponga en el suministro.

### 4.1.3 SUPOSICIONES

La elaboración de este complejo modelo no termina con la consideración de los múltiples parámetros previamente resumidos. Como dos de los tres escenarios analizados requieren la aprobación de multitud de nuevas normativas, inversión y mayor desarrollo tecnológico que todavía no se han alcanzado, es necesario presentar las suposiciones que se llevan a cabo para poder, en las próximas páginas, alinearlas con el estudio técnico a nivel nacional.

A continuación se presentan, a grandes rasgos, los suposiciones fundamentales que se han llevado a cabo así como su adaptación al análisis nacional:

A) Económicos

A pesar de que el modelo en su conjunto asume un crecimiento en el producto interior bruto global del 2,6% hasta 2050, se debe tener en cuenta que este valor está impulsado por las economías emergentes de África (4%), Asia (4%) y Oriente Medio (3%). Sin embargo, para los países europeos con economías más sólidas y ya establecidas, el crecimiento anual medio esperado es del 1,6%. Valor a tener en cuenta a la hora de elaborar el análisis a nivel nacional.

En este sentido parece importante además tener en cuenta que las situaciones derivadas tanto por la pandemia Covid-19 como por los ya mencionados conflictos bélicos dificultan la estimación de cualquier parámetro económico, aumentando la volatilidad, la inestabilidad y el riesgo asociado.

B) Demográficos

El suministro necesario para los próximos años en cualquiera de los escenarios depende del consumo energético, y este, a su vez, del número de consumidores. Parece por tanto coherente afirmar que el crecimiento demográfico es el parámetro más importante para el modelo, y que las suposiciones llevadas a cabo son cruciales. La IEA utiliza como referencia las Perspectivas de Población Mundial de las Naciones Unidas, que estiman que el número total de habitantes mundial ascienda desde 8 billones en 2022 hasta 8,5 billones en 2030 y 9,7 billones en 2050. Este crecimiento parece muy alejado de la situación demográfica en España, donde la campana demográfica es invertida y todos los indicadores estiman peores resultados para los próximos años. Sin embargo, el aumento de la población en otros países que sean potenciales compradores de biocombustibles para España, puede interpretarse como una buena señal tanto para esta industria como para el conjunto de la economía de nuestro país.

C) Tecnológicos

Los precios asociados a las energías limpias en la actualidad son considerablemente más bajos que hace diez años. El mayor desarrollo de las tecnologías, debido a la mayor inversión y la necesidad creciente, permiten afirmar que el precio de este tipo de energía seguirá decreciendo a pesar del alto coste de algunos minerales y los materiales semiconductores.

Como consecuencia, la brecha con respecto a los combustibles fósiles será cada vez menor (Tabla 3). Esto resulta un factor clave para la consecución de los objetivos fijados para el año 2050 en el tercer escenario.

Europa [\$/barril]	2022	STEPS		APS		NZE	
		2030	2025	2030	2025	2030	2025
Petróleo	98	85	83	74	60	42	25
Gas Natural	181	39	40	36	30	24	23
Carbón	66	15	16	15	12	13	10

Tabla 3: Precio de los combustibles fósiles en Europa en función del escenario (Elaboración propia).

#### 4.1.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Una vez presentada la fuente de información y todos los parámetros, restricciones y suposiciones que el modelo recoge, es momento de analizar los resultados. Estos resultados que la agencia ofrece, y que sirven de base para el análisis, se recogen en la Ilustración 19. En todos los casos se compara el año 2022, que se corresponde con la fecha más reciente con datos disponibles, con los años 2030 y 2050, en línea con las fechas límite establecidas por los distintos acuerdos y leyes. Su interpretación y estudio resulta algo complejo, empezando por que se emplean distintas unidades para los distintos estados de los biocarburantes. Es por esto que empleando como base los resultados proporcionados por la IEA se ha llevado a cabo un análisis más profundo de elaboración propia.

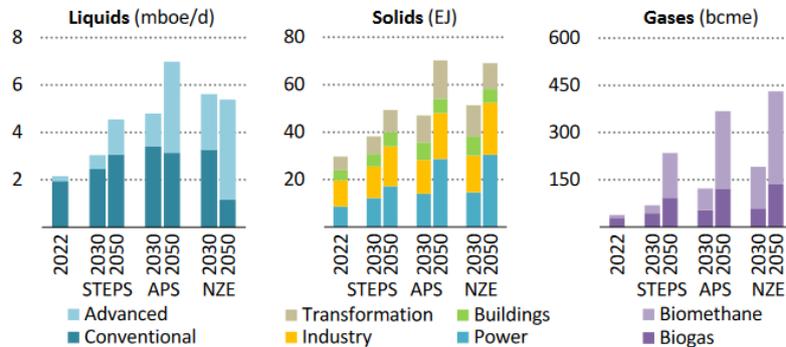


Ilustración 19: Suministro de biocombustibles en función de su estado y el escenario (IEA – WEO 2023).

En primer lugar y como reflexión personal, resulta sorprendente que sea el estado sólido el dominante para este tipo de energía (Ilustración 20). La intuición parece llevar a pensar que serán los biocombustibles líquidos los más demandados. Se debe tener en cuenta que se entiende por biocarburante sólido aquel combustible procedente de desechos urbanos y forestales que son procesados para dar lugar, fundamentalmente, a pellets de madera. Estos últimos se emplean, en la mayoría de los casos, para generar electricidad en la industria. Estos biocarburantes supusieron en 2022 un 84% de la producción total. Aunque las previsiones para los distintos escenarios siguen siendo elevadas, más del doble del suministro actual para APS y NZE (70 EJ), se estima que para el año 2050 su cuota se reduzca hasta alcanzar el 70% del total.

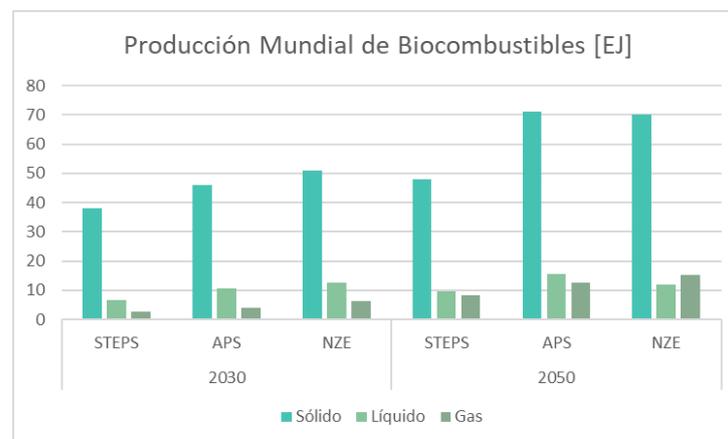


Ilustración 20: Suministro global de biocombustibles en función del estado del carburante y el escenario considerado (Elaboración propia).

Dejando de lado por un momento estos combustibles en estado sólido, que podrían llegar a considerarse al margen de lo que tradicionalmente se considera como carburante y englobarse dentro de lo que comúnmente se define como biomasa, resulta especialmente interesante el análisis de los biocombustibles líquidos y gaseosos. El estudio para ambos estados está firmemente respaldado por los valores recogidos en la Tabla 5 y la Tabla 4.

○ Líquidos

Aunque el consumo de los biocombustibles líquidos se vería multiplicado entre 2022 y 2030 por entre 1,5 y 2,8 veces, el crecimiento entre 2030 y 2050 se limitaría, en el mejor de los casos, a múltiplos de 1,5 veces. La proporción que representan los combustibles líquidos producidos con respecto al total se mantiene estable tanto para los distintos escenarios como años (2030 y 2050), siendo en todos los casos aproximadamente un 15% del total.

La mayor concienciación con respecto al origen de la materia prima para generar el carburante da lugar a un gran crecimiento de los combustibles avanzados, de 2ª, 3ª o 4ª generación. Estos pasarían de representar un 3% del combustible líquido generado en 2022 (0,15 EJ), a entre el 20% (1,3 EJ) y el 43% (5,4 EJ) en 2030 y entre el 32% (3,1 EJ) y el 82% (9,9 EJ) en 2050. De esta manera se evitará emplear cultivos que puedan servir de alimento a seres humanos, eludiendo un aumento en el precio por el consumo para generar energía.

Resulta sorprendente que el suministro necesario en el año 2050 para el escenario 2 (APS) sea superior que para el escenario 3 (NZE), siendo este último mucho más ambicioso. Esto se debe, fundamentalmente, a que para poder alcanzar la meta de *Net Zero Emissions* en 2050 el tercer escenario supone un mayor desarrollo y calado en la sociedad del vehículo eléctrico. A pesar de que podrían ser los biocombustibles los que permitieran alcanzar los objetivos fijados, la Agencia Internacional de la Energía considera que son los EV los que marcarán la diferencia. Esto es, en parte, a coste del consumo de biocombustibles, que se vería mermado.

○ Gases

Se estima que la demanda de biocombustibles gaseosos experimente el mayor aumento, por encima de los otros dos estados. Este mayor crecimiento no será algo puntual o asociado a un determinado escenario, las previsiones apuntan a que los biocombustibles en estado gaseoso ganaran terreno en cualquiera de los escenarios y fracciones de tiempo. Serán estos combustibles gaseosos los que cubran el descenso en el suministro de carburantes sólidos previamente mencionado. Así, pasarán del 3% del biocarburante total en 2022 (1,2 EJ), hasta alcanzar incluso un 16% en 2050 (15,1 EJ) para el escenario más optimista, el *NZE*. Esto hace que la producción del año 2022 se vea multiplicada dentro de 26 años por entre 7 y prácticamente 13 veces.

Biogás y biometano han sido considerados dentro de esta sección de combustibles gaseosos. El biometano parece, a priori, el producto que generará una mayor demanda, especialmente en Europa. Su comportamiento es similar al de los combustibles avanzados en el caso de los biocarburantes líquidos. Partiendo de una generación en 2022 que supone un 15% de los biocombustibles en estado gaseoso (0,2 EJ), los dos escenarios que implican predicciones para satisfacer los objetivos lo sitúan en un share final del 69% (8,7 y 10,4 EJ respectivamente).

Ratios	2022 [EJ]	2030 vs 2022			2050 vs 2022			2050 vs 2030		
		STEPS	APS	NZE	STEPS	APS	NZE	STEPS	APS	NZE
Sólido	30	1.3	1.5	1.7	1.6	2.4	2.3	1.3	1.5	1.4
Líquido	4.5	1.5	2.3	2.8	2.2	3.5	2.7	1.5	1.5	1.0
Gas	1.2	2.3	3.3	5.4	7.0	10.6	12.6	3.0	3.2	2.3
<b>Total</b>	<b>35.7</b>	<b>1.3</b>	<b>1.7</b>	<b>2.0</b>	<b>1.9</b>	<b>2.8</b>	<b>2.7</b>	<b>1.4</b>	<b>1.6</b>	<b>1.4</b>

Tabla 4: Ratios de crecimiento de los biocarburantes en sus distintos estados para diferentes periodos de tiempo en función del escenario (Elaboración propia).

EJ	2022	2030			2050		
		STEPS	APS	NZE	STEPS	APS	NZE
Sólido	30	38	46	51	48	71	70
% del Total	84%	80%	76%	73%	73%	72%	72%
Líquido	4.5	6.7	10.5	12.5	9.8	15.6	12.1
% del Total	13%	14%	17%	18%	15%	16%	12%
-Convencional	4.4	5.4	7.4	7.2	6.7	6.9	2.2
% de Líquido	97%	80%	70%	57%	68%	44%	18%
-Avanzado	0.15	1.3	3.1	5.4	3.1	8.7	9.9
% de Líquido	3%	20%	30%	43%	32%	56%	82%
Gas	1.2	2.8	4	6.5	8.4	12.7	15.1
% del Total	3%	6%	7%	9%	13%	13%	16%
-Biogas	1	1.8	1.6	4.7	3.4	4	4.7
% de Gas	83%	64%	40%	72%	40%	31%	31%
-Biometano	0.2	1	2.4	1.8	5	8.7	10.4
% de Gas	17%	36%	60%	28%	60%	69%	69%
<b>Total</b>	<b>35.7</b>	<b>47.5</b>	<b>60.5</b>	<b>70</b>	<b>66.2</b>	<b>99.3</b>	<b>97.2</b>

Tabla 5: Predicciones de suministro necesarias en función del escenario, el estado del biocombustible y el año, así como el share que representa (Elaboración propia).

En términos generales, el suministro total de biocombustibles contará, en base al escenario intermedio, con 60,5 EJ en 2030 y prácticamente 100 EJ en 2050. Esto supone un incremento del 69% en 2030 y del 64% en 2050, favoreciendo así la consecución del objetivo de las cero emisiones netas. De esta forma, la producción total del año 2022 se multiplicará en 2030 por entre 1,3 y 2 veces y por entre 1,9 y 2,8 veces en 2050.

El análisis y desglose de estos valores permite afirmar que de media en el año 2030 la producción en función del estado de los biocarburantes se dividirá en un 76% de sólido, 16% de líquido y 7% de gas. En el año 2050 los gases ganarán peso y los valores serán de 72%, 14% y 14% respectivamente. En cualquiera de las tres formas la producción se basará fundamentalmente en los biocombustibles avanzados, evitando así las materias primas de la 1ª generación y limitando el impacto negativo sobre el acceso y el precio de los alimentos.

Si se toma como referencia la media de los tres escenarios considerados, la producción de biocombustibles global prácticamente se duplicaría (1,7x) en 2030 hasta los 59,3 EJ y se triplicaría (2,5x) en 2050 hasta los 87,6 EJ. Teniendo en cuenta la ambiciosa meta establecida, será necesario que durante los próximos años se aprueben nuevas medidas que reduzcan la brecha entre la situación actual del escenario *STEPS* y los objetivos fijados. Parece por tanto coherente afirmar que los valores para los años 2030 y 2050 sean un término medio entre los escenarios *APS* y *NZE*. De esta forma se espera que la producción aumente 1,8 veces en 2030, hasta los 65,3 EJ, y 2,8 veces en 2050 hasta los 98,3 EJ.

Average	2030		2050	
	STEPS & APS & NZE	APS & NZE	STEPS & APS & NZE	APS & NZE
Ratio (vs. 2022)	1.7	1.8	2.5	2.8
Producción [EJ]	59.3	65.3	87.6	98.3

Average	2050	
	STEPS & APS & NZE	APS & NZE
Ratio (vs. 2030)	1.5	1.5
Producción [EJ]	87.6	98.3

Tabla 6: Crecimientos esperados para 2030 y 2050 considerando varios escenarios, todos ellos con el mismo peso (Elaboración propia).

## 4.2 SITUACIÓN A NIVEL NACIONAL

El estudio, análisis e interpretación de los datos recogidos en el *World Energy Outlook 2023* publicado por la Agencia Internacional de la Energía permite predecir las perspectivas de crecimiento de los biocombustibles a nivel global hasta el año 2050. Tomando como base los valores determinados en el apartado anterior, se pretende predecir el suministro requerido en nuestro país de estos carburantes durante los próximos años para alcanzar los objetivos ambientales establecidos. Se analizará si la infraestructura actual, junto con la ya proyectada, son suficientes para complacer el volumen necesario estimado o si por el contrario será necesaria una mayor inversión para poder satisfacerla.

El primer paso antes de la elaboración de las proyecciones futuras es conocer cuál ha sido el comportamiento reciente de los productores y consumidores en nuestro país. Para ello se han utilizado como base los valores más recientes aprobados y publicados por el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Los últimos datos disponibles se corresponden con el año 2022, como ocurría con el WOE 2023, permitiendo realizar un análisis de los últimos diez años. Sin embargo, se puede observar en las distintas tablas elaboradas para recoger los datos como los valores para 2020, 2021 y 2022 están alterados por la situación extraordinaria de la pandemia Covid-19. Se ha decidido utilizar por tanto los valores comprendidos entre 2012 y 2019, ambos inclusive, que proporcionen una línea de tendencia lógica desde la que analizar el comportamiento de los consumidores y la producción durante los últimos años.

Estos datos hacen referencia a aquellos compuestos que el ministerio considera como carburantes de origen renovable y que se pueden catalogar bajo el nombre de biocarburantes: biodiésel, hidrobiodiésel, HEFA, bioetanol, biometanol y biopropano. Todos ellos son carburantes en estado líquido. Teniendo en cuenta que la principal aplicación para los biocombustibles es la descarbonización del transporte pesado, y que esta emplea como combustibles carburantes en este estado, parece razonable analizar solo este tipo de compuestos. Esta apreciación debe tenerse en cuenta a la hora de analizar la capacidad de producción en nuestro país, para no alterar así los resultados y conclusiones incluyendo la capacidad de gases y sólidos no incluidos en las predicciones de demanda.

○ Producción (Tabla 7)

Entre 2012 y 2019 la producción de biocombustibles ha aumentado año tras año. Solo el periodo de tiempo comprendido entre 2018 y 2019 ha experimentado un ligero descenso, que no ha sido significativo (-1%). El incremento anual medio para los últimos 7 años ha sido del 18%, con los años 2013 y 2014 a la cabeza. Con todo ello, la producción se ha multiplicado por 3 en el periodo de tiempo estudiado.

m3	Producción										
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Biodiésel	539,346	659,284	992,440	1,102,948	1,319,356	1,724,804	1,984,320	1,852,937	1,698,197	1,429,866	1,529,410
Hidrobiodiésel	77,568	179,521	376,944	266,981	417,702	464,975	486,099	545,343	532,866	409,027	299,989
HEFA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	64
Bioetanol	381,484	442,458	483,696	493,808	327,825	421,002	522,091	548,273	501,951	554,524	498,035
Biometanol	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Biopropano	0	0	0	0	0	0	0	8,023	14,962	26,944	11,352
<b>Total</b>	<b>998,398</b>	<b>1,281,262</b>	<b>1,853,080</b>	<b>1,863,737</b>	<b>2,064,882</b>	<b>2,610,781</b>	<b>2,992,511</b>	<b>2,954,576</b>	<b>2,747,976</b>	<b>2,420,361</b>	<b>2,338,851</b>
<b>Δ</b>	<b>-269,964</b>	<b>282,864</b>	<b>571,818</b>	<b>10,657</b>	<b>201,145</b>	<b>545,898</b>	<b>381,730</b>	<b>-37,934</b>	<b>-206,600</b>	<b>-327,615</b>	<b>-81,510</b>

Tabla 7: Producción de biocombustibles en España en m3 2012-2022 (Elaboración propia).

o Consumo (Tabla 8)

El consumo se ha calculado como la diferencia entre la suma de la producción y las importaciones, y las exportaciones. Entre 2013 y 2019 el consumo de biocombustibles ha aumentado año tras año. Solo en el año 2015 el consumo experimentó un ligero descenso que, otra vez, no fue significativo (-1%). El incremento anual medio para los últimos 6 años ha sido del 12%, con los años 2014 y 2018 a la cabeza. Con todo ello, el consumo se ha multiplicado prácticamente por 2 en el periodo de tiempo estudiado.

Cabe destacar que el consumo en el año 2012 fue inusualmente alto, superando incluso el consumo en el último año objeto de estudio, el 2019. Este valor inusualmente alto no se vio reflejado en la producción, y fueron las importaciones las que saldaron esta gran diferencia. Los principales motivos que explican este valor son:

1. La necesidad de cumplir con las directivas de energías renovables de la Unión Europea. Esto llevó al gobierno español a incrementar las cuotas de mezcla obligatorias en los combustibles fósiles, aumentando así el consumo en territorio nacional.
2. Introducción de incentivos económicos y subvenciones fiscales para potenciar el uso de estos combustibles.
3. Los altos precios del petróleo durante el año 2012 situaron a los biocombustibles como alternativas económicas y atractivas.

m3	Consumo = Producción + Importación - Exportación										
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Biodiésel	1,560,434	673,180	775,882	815,332	1,028,576	1,192,556	1,739,704	1,670,513	1,179,252	1,424,194	1,451,860
Hidrobiodiésel	885,848	231,379	385,020	339,855	417,702	391,111	486,099	370,281	532,866	480,271	230,738
HEFA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	64
Bioetanol	394,941	352,497	384,266	377,231	250,102	308,320	325,504	265,516	216,439	264,749	227,495
Biometanol	0	0	0	0	0	0	0	2,367	0	0	0
Biopropano	0	0	0	0	0	0	0	8,023	14,962	26,944	11,352
<b>Total</b>	<b>2,841,224</b>	<b>1,257,056</b>	<b>1,545,167</b>	<b>1,532,419</b>	<b>1,696,381</b>	<b>1,891,987</b>	<b>2,551,308</b>	<b>2,316,701</b>	<b>1,943,519</b>	<b>2,196,157</b>	<b>1,921,509</b>
<b>Δ</b>	<b>460,174</b>	<b>-1,584,168</b>	<b>288,111</b>	<b>-12,749</b>	<b>163,962</b>	<b>195,607</b>	<b>659,320</b>	<b>-234,607</b>	<b>-373,181</b>	<b>252,638</b>	<b>-274,648</b>

Tabla 8: Consumo de biocombustibles en España en m3 2012-2022 (Elaboración propia).

Resulta sorprendente que en el mismo periodo de tiempo en el que los biocarburantes experimentaban un aumento en el consumo, las ventas de combustibles fósiles tradicionales siguieron aumentando (Tabla 9). Concretamente entre 2012 y 2019 el consumo se incrementó un 13%. Además, en 2022 las ventas alcanzaron valores prepandemia. Se puede afirmar por tanto que este vector energético está ganando peso tanto es su versión limpia como tradicional, y que los biocarburantes van ganando peso sobre los combustibles tradicionales. En 2013 el consumo de biocombustibles representaba un 4% con respecto a las ventas de combustibles fósiles y 4 años después, y a pesar de que las ventas de combustibles fósiles también hubiesen aumentado, este valor se había duplicado hasta alcanzar el 8%.

m3	Ventas										
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Diésel	22,545,661	23,219,607	23,664,278	24,621,393	24,981,468	25,757,014	25,768,476	25,519,188	21,097,791	23,131,613	24,590,718
Gasolina	6,128,500	5,798,856	5,751,586	5,784,299	6,030,436	6,178,615	6,440,309	6,883,234	5,445,513	6,568,768	7,414,749
<b>Total</b>	<b>28,674,161</b>	<b>29,018,464</b>	<b>29,415,864</b>	<b>30,405,692</b>	<b>31,011,904</b>	<b>31,935,629</b>	<b>32,208,785</b>	<b>32,402,422</b>	<b>26,543,303</b>	<b>29,700,380</b>	<b>32,005,467</b>
<b>Δ</b>	<b>-2,710,032</b>	<b>344,302</b>	<b>397,401</b>	<b>989,828</b>	<b>606,212</b>	<b>923,725</b>	<b>273,156</b>	<b>193,637</b>	<b>-5,859,119</b>	<b>3,157,077</b>	<b>2,305,087</b>

Tabla 9: Venta de diésel y gasolina en España en m3 2012-2022 (Elaboración propia).

Con el fin de proporcionar una visión más profunda sobre el consumo de los biocarburantes se han incluido también un desglose por Comunidades Autónomas (Ilustración 21) y una representación geográfica del consumo (Ilustración 22). En este caso los valores están en unidades monetarias en lugar de en volumen. Llama la atención que Galicia se sitúe a la cabeza, y que el consumo de Madrid este por debajo incluso de Extremadura. De manera

genérica, se puede afirmar que las Comunidades con un mayor consumo tienen una fuerte producción agrícola y ganadera con acceso a las materias primas necesarias para producir biocombustibles.

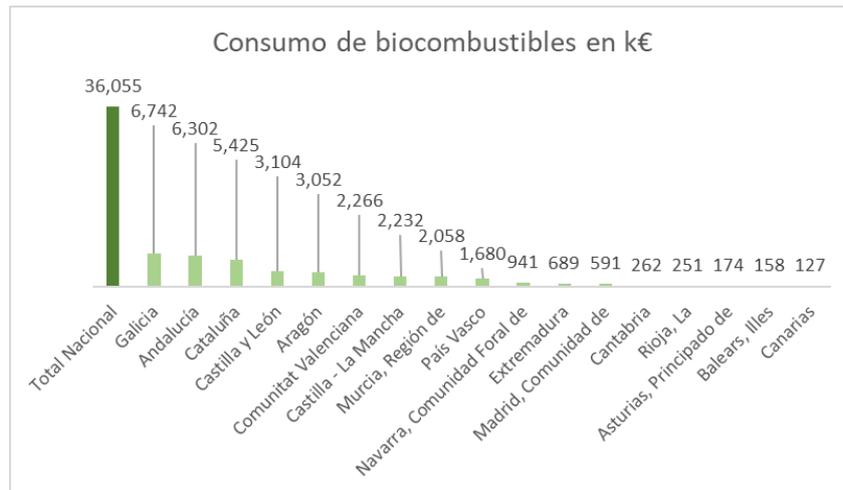


Ilustración 21: Consumo de biocombustibles en miles de euros por Comunidades Autónomas en el año 2021 (Elaboración propia).

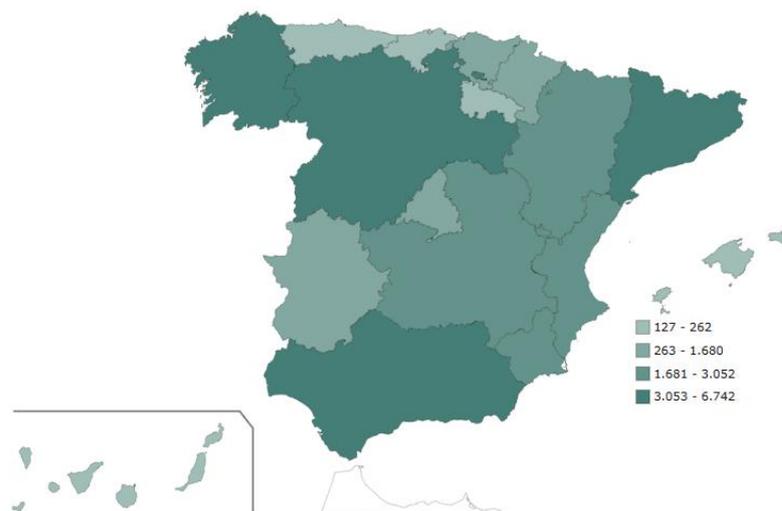


Ilustración 22: Representación geográfica del consumo de biocombustibles en miles de euros por Comunidades Autónomas en el año 2021 (Instituto Nacional de Estadística).

○ Importación (Tabla 10)

En los últimos 5 años las importaciones se han multiplicado por 3,1.

Como se ha mencionado en el apartado anterior, para poder cubrir el elevado consumo del año 2012 las importaciones de biocombustibles en nuestro país fueron inusualmente altas. Llama la atención que el incremento en las importaciones fuese incluso más pronunciado de lo que lo fue el aumento en el consumo, lo que permite afirmar que la producción de ese año sufrió también un ligero descenso. Durante todos los años posteriores los volúmenes importados han sido mucho más bajos, siempre por debajo del 50% de ese año pico.

m3	Importación										
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Biodiésel	1,284,251	521,829	197,381	72,749	392,674	537,388	1,030,648	939,648	777,815	802,842	1,004,426
Hidrobiodiésel	808,280	51,859	8,076	72,874	0	0	0	0	0	71,244	7,421
HEFA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bioetanol	165,438	108,714	100,265	96,748	21,913	48,099	42,566	6,494	0	3,748	6,363
Biometanol	0	0	0	0	0	0	0	2,367	0	0	0
Biopropano	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Total</b>	<b>2,257,969</b>	<b>682,401</b>	<b>305,722</b>	<b>242,371</b>	<b>414,587</b>	<b>585,487</b>	<b>1,073,214</b>	<b>948,509</b>	<b>777,815</b>	<b>877,834</b>	<b>1,018,210</b>
<b>Δ</b>	<b>599,915</b>	<b>-1,575,568</b>	<b>-376,679</b>	<b>-63,351</b>	<b>172,216</b>	<b>170,899</b>	<b>487,727</b>	<b>-124,705</b>	<b>-170,694</b>	<b>100,019</b>	<b>140,377</b>

Tabla 10: Importaciones de biocombustibles en España en m3 2012-2022 (Elaboración propia).

○ Exportación (Tabla 11)

En el periodo comprendido entre 2012 y 2019 la exportación de biocombustibles ha ido aumentando en nuestro país, aunque no lo haya hecho todos los años de manera continuada. Así, las exportaciones se han multiplicado prácticamente por 4 en el periodo objeto de estudio.

Como era de esperar, el año en el que el consumo alcanzó su pico máximo, las exportaciones sufrieron un importante descenso, aunque se recuperaron rápidamente durante el año 2013.

m3	Exportación										
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Biodiésel	263,163	507,933	413,939	360,364	683,454	1,069,635	1,275,263	1,122,072	1,296,759	808,514	1,081,977
Hidrobiodiésel	0	0	0	0	0	73,864	0	175,061	0	0	76,672
HEFA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bioetanol	151,981	198,675	199,695	213,325	99,635	160,782	239,154	289,251	285,512	293,522	276,903
Biometanol	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Biopropano	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Total</b>	<b>415,143</b>	<b>706,607</b>	<b>613,635</b>	<b>573,690</b>	<b>783,089</b>	<b>1,304,280</b>	<b>1,514,417</b>	<b>1,586,384</b>	<b>1,582,271</b>	<b>1,102,037</b>	<b>1,435,552</b>
<b>Δ</b>	<b>-1,842,826</b>	<b>291,464</b>	<b>-92,973</b>	<b>-39,945</b>	<b>209,400</b>	<b>521,191</b>	<b>210,137</b>	<b>71,967</b>	<b>-4,113</b>	<b>-480,234</b>	<b>333,515</b>

Tabla 11: Exportaciones de biocombustibles en España en m3 2012-2022 (Elaboración propia).

Los resultados en su conjunto son fácilmente interpretables en la Ilustración 23, en la que se recogen los 10 últimos años disponibles. Se ha marcado el periodo que se considera representativo dentro de un marco punteado azul, y se puede observar como todos los indicadores muestran una clara tendencia creciente. La producción es siempre superior al consumo y las exportaciones siempre son superiores a las importaciones, por lo que se puede afirmar que España es un país productor de biocombustibles.

Resulta esencial que nuestro país esté preparado para satisfacer la demanda creciente de este tipo de carburantes, aprovechando su ventaja competitiva, que se prevé que se vea potenciada durante los próximos años fruto de los ambiciosos objetivos ambientales establecidos. Para tratar de clarificar si la infraestructura española está o no preparada, con las perspectivas de crecimiento determinadas en el punto anterior y el análisis de la capacidad en funcionamiento más la actualmente ya proyectada, se pretende determinar si se podrán satisfacer las necesidades de suministro futuras.

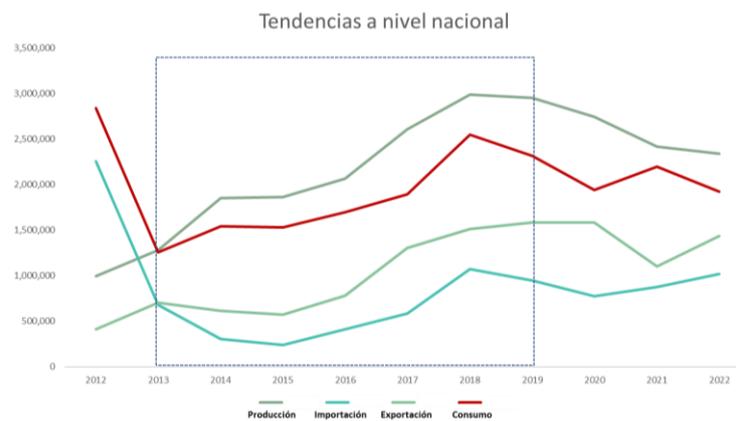


Ilustración 23: Evolución de las tendencias a nivel nacional (Elaboración propia).

### 4.3 PREVISIONES A NIVEL NACIONAL

La tendencia creciente tanto en el consumo como en la producción de biocarburantes en nuestro país permite afirmar que los biocombustibles son ya una opción viable y aceptada

en España. Si la demanda sigue la línea de tendencia presentada, es posible que la infraestructura nacional actual no sea suficiente para poder suministrar el carburante demandado. Con el fin de determinar si será necesario seguir invirtiendo para adaptar la infraestructura actual y aumentar el volumen de producción disponible se van a analizar distintos escenarios, comparando el suministro demandado con la capacidad de producción.

Como se ha explicado anteriormente, los valores recogidos por el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico de los últimos tres años están alterados por la situación inusual derivada por la pandemia. Por esta razón los años 2020, 2021 y 2022 han sido eliminados a la hora de elaborar el estudio de tendencia del pasado reciente. Sin embargo, una vez conocida la tendencia en producción, consumo, importaciones y exportaciones, se va a tomar como valor base el año 2022 (Tabla 12). Se trata del valor más reciente y es, a fin de cuentas y a pesar de la situación, el punto de partida. Además, coincide con el año de referencia utilizado en el estudio elaborado por la Agencia Internacional de la Energía.

<b>m3</b>	<b>2022</b>
Biodiésel	1,529,410
Hidrobiodiésel	299,989
HEFA	64
Bioetanol	498,035
Biometanol	0
Biopropano	11,352
<b>Total</b>	<b>2,338,851</b>

*Tabla 12: Producción de biocombustibles en España en 2022 (Elaboración propia).*

Las predicciones futuras elaboradas en base a los datos ofrecidos por la IEA hacen referencia a la producción mundial de biocombustibles. Para poder determinar qué porcentaje de la producción se va a dedicar al consumo nacional, qué porcentaje a la exportación y, por último, qué porcentaje será necesario importar se han elaborado proporciones en base a los datos históricos nacionales de los últimos años. Como se puede apreciar en la Tabla 13, entre

2014 y 2022 los valores son estables. El pico de consumo del año 2012 y la estabilización durante el 2013 alteran los valores medios, por lo que no se han considerado para el cálculo. De media en nuestro país se importa un 30% del volumen producido, se exporta un 50% y se consume un 80%. Por lo que, si un año X se producen 100 m<sup>3</sup>, se importan también 30 m<sup>3</sup>. De los 130 m<sup>3</sup> disponibles, 80 m<sup>3</sup> se consumen y los 50 m<sup>3</sup> restantes se exportan.

	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	Average
Importaciones / Producción	2.3	0.5	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.3	0.3	0.4	0.4	0.3
Exportaciones / Producción	0.4	0.6	0.3	0.3	0.4	0.5	0.5	0.5	0.6	0.5	0.6	0.5
Consumo / Producción	2.8	1.0	0.8	0.8	0.8	0.7	0.9	0.8	0.7	0.9	0.8	0.8

*Tabla 13: Proporción entre importaciones, exportaciones y consumo con respecto a la producción, tomando como base los valores históricos en España 2012-2022 (Elaboración propia).*

Conocida la producción del año 2022 (Tabla 12), las perspectivas de crecimiento, también para la producción, en los distintos escenarios considerados en el WOE 2023 (Tabla 6) y la proporción que representan el consumo, las importaciones y las exportaciones sobre la producción (Tabla 13) es posible elaborar un análisis de las perspectivas de producción y consumo de biocombustibles en España para los próximos años. Con el fin de determinar la infraestructura necesaria se van a elaborar y estudiar distintos escenarios y se van a comparar los resultados con la capacidad actual.

En base al escenario establecido, se da a cada escenario considerado por el WOE 2023 un peso determinado. Es la forma de establecer cuanto tiempo desde hoy hasta 2030, o 2050, se permanecerá en cada situación. La proporción de tiempo en cada uno de los escenarios determina el valor final del factor de crecimiento, que dictará a su vez la producción esperada en 2030 y 2050. En base a la producción esperada, con los valores recogidos en la Tabla 13 y obtenidos a partir de los resultados históricos, se pueden conocer también el consumo, las importaciones y las exportaciones proyectadas.

El primer escenario (Tabla 14) elaborado asume que entre 2022 y 2030 y 2022 y 2050, cada escenario considerado por la IEA ocupa la misma fracción de tiempo. Se trata del escenario que da más peso al escenario STEPS. Dado que este escenario solo considera las

legislaciones y normativas actuales, y que se espera que estas vayan en aumento en los próximos años, los factores de crecimiento obtenidos son los más bajos de los cinco escenarios elaborados. Con factores de crecimiento de 1,66 en 2030 y 2,45 en 2050, la producción rozaría los 4 millones de m<sup>3</sup> en 2030 y alcanzaría los 5,7 millones de m<sup>3</sup> en 2050.

Escenario 1			
<p style="text-align: center;"><b>STEPS &amp; APS &amp; NZE</b></p> <p style="text-align: center;">STEPS 33%</p> <p style="text-align: center;">APS 33%</p> <p style="text-align: center;">NZE 33%</p>	<b>vs. 2022</b>	<b>STEPS &amp; APS &amp; NZE</b>	
		<b>2030</b>	<b>2050</b>
	x	1.66	2.45
	<b>m3</b>	<b>STEPS &amp; APS &amp; NZE</b>	
		<b>2030</b>	<b>2050</b>
<b>Producción</b>		<b>3,887,166</b>	<b>5,736,845</b>
Importación		1,071,480	1,581,336
Exportación		1,816,459	2,680,808
Consumo		3,142,187	4,637,373

*Tabla 14: Escenario 1, perspectivas de crecimiento a nivel nacional 2030 y 2050 (Elaboración propia).*

El segundo escenario (Tabla 15) considerado asume que para los próximos años la situación sea un punto intermedio entre los escenarios APS y NZE. Dado que ya estamos en 2024, se puede considerar que el escenario STEPS sea algo obsoleto. Sin embargo, asumir que se alcance un punto intermedio entre dos escenarios que en 2022 todavía no eran una realidad resulta algo optimista. Los valores obtenidos tanto en factores de crecimiento como en producción son superiores al caso anterior, superando en 2030 los 4 millones de m<sup>3</sup> producidos y en 2050 los 6 millones de m<sup>3</sup>. Además, se exportarían 2 y 3 millones de m<sup>3</sup> respectivamente.

**Escenario 2**

STEPS & APS & NZE	vs. 2022	APS & NZE	
STEPS 0%		<b>2030</b>	<b>2050</b>
APS 50%	x	1.83	2.75
NZE 50%			
	<b>m3</b>	APS & NZE	
		<b>2030</b>	<b>2050</b>
<b>Producción</b>		<b>4,274,790</b>	<b>6,436,753</b>
Importación		1,178,327	1,774,263
Exportación		1,997,595	3,007,873
Consumo		3,455,523	5,203,144

*Tabla 15: Escenario 2, perspectivas de crecimiento a nivel nacional 2030 y 2050 (Elaboración propia).*

El tercer escenario (Tabla 16) planteado acoge la situación más optimista y resulta algo irreal, aunque parece interesante analizar los resultados. En caso de que desde hoy se tomasen las suficientes medidas como para alcanzar el objetivo de cero emisiones netas y un máximo incremento de 1,5°C para el año 2050, los valores obtenidos para el año 2030 serían los más elevados. Sin embargo, resulta sorprendente que los valores obtenidos para 2050 no sean los más altos. Como se ha explicado con anterioridad, esto se debe a que para alcanzar los objetivos mencionados se asume un mayor calado del vehículo eléctrico en la sociedad, en detrimento del consumo de biocombustibles.

**Escenario 3**

STEPS & APS & NZE	vs. 2022	NZE	
STEPS 0%		<b>2030</b>	<b>2050</b>
APS 0%	x	1.96	2.72
NZE 100%			
	<b>m3</b>	NZE	
		<b>2030</b>	<b>2050</b>
<b>Producción</b>		<b>4,585,982</b>	<b>6,367,964</b>
Importación		1,264,106	1,755,301
Exportación		2,143,014	2,975,728
Consumo		3,707,074	5,147,537

*Tabla 16: Escenario 3, perspectivas de crecimiento a nivel nacional 2030 y 2050 (Elaboración propia).*

El cuarto escenario (Tabla 17) elaborado es, en mi opinión, el más realista solo por detrás del número seis. Supone que se alcancen todos los propósitos ya establecidos en tiempo y forma y que, incluso, se lleguen a alcanzar los objetivos para el año 2050. Este escenario refleja los resultados más prometedores desde el punto de vista de los biocombustibles y establece el límite superior máximo que las infraestructuras de nuestro país tienen que ser capaces de producir. Pronostica una producción máxima de 6,5 millones de m<sup>3</sup> y un consumo de 5,2 para el año 2050.

**Escenario 4**

STEPS & APS & NZE		vs. 2022	APS & NZE	
STEPS 0%			2030	2050
APS 75%		x	1.76	2.77
NZE 25%				
			APS & NZE	
		m <sup>3</sup>	2030	2050
<b>Producción</b>			<b>4,119,195</b>	<b>6,471,148</b>
Importación			1,135,438	1,783,744
Exportación			1,924,886	3,023,945
Consumo			3,329,747	5,230,947

Tabla 17: Escenario 4, perspectivas de crecimiento a nivel nacional 2030 y 2050 (Elaboración propia).

El quinto escenario (Tabla 18) plantea que, como en el caso anterior, se alcancen todos los objetivos establecidos. Sin embargo, asume que se implanten las medidas necesarias para alcanzar las cero emisiones netas en 2050 mucho antes. Así, se da un peso tres veces mayor al escenario NZE que al escenario APS. El escenario STEPS no se considera dentro de la ecuación. La producción esperada en este caso para el año 2030 es superior al escenario número cuatro, aunque la del año 2050 es algo inferior. En líneas generales los resultados obtenidos son muy similares.

**Escenario 5**

STEPS & APS & NZE		vs. 2022	APS & NZE	
STEPS 0%			2030	2050
APS 25%		x	1.89	2.74
NZE 75%				
			APS & NZE	
		m3	2030	2050
Producción			4,430,386	6,402,359
Importación			1,221,217	1,764,782
Exportación			2,070,304	2,991,800
Consumo			3,581,299	5,175,340

Tabla 18: Escenario 5, perspectivas de crecimiento a nivel nacional 2030 y 2050 (Elaboración propia).

El sexto escenario (Tabla 19) es, en mi opinión, el más realista. Las proporciones elegidas en este caso para los escenarios STEPS, APS y NZE son, respectivamente, 10%, 35% y 55%. Esto se entiende como un breve periodo inicial con la situación actual. Un segundo periodo, más prolongado y por tanto con mayor peso en el balance, en el que todos los objetivos actuales se alcanzan en tiempo y forma. Y un tercer y último periodo, al que se ha dado el mayor peso, en el que se adoptan las medidas necesarias para alcanzar las metas de cara al año 2050. Los resultados obtenidos no son los más elevados ni para 2030 ni para 2050, aunque no están lejos. Con todo, se espera una producción de 4,2 millones de m3 en el primer horizonte temporal y de 2 millones de m3 más en el segundo.

**Escenario 6**

STEPS & APS & NZE		vs. 2022	APS & NZE	
STEPS 10%			2030	2050
APS 35%		x	1.80	2.66
NZE 55%				
			APS & NZE	
		m3	2030	2050
Producción			4,220,741	6,213,023
Importación			1,163,429	1,712,593
Exportación			1,972,338	2,903,324
Consumo			3,411,832	5,022,291

Tabla 19: Escenario 6, perspectivas de crecimiento a nivel nacional 2030 y 2050 (Elaboración propia).

Tras el breve análisis regulatorio y normativo elaborado en el punto 3 del presente trabajo, se puede afirmar que las medidas establecidas a día de hoy son insuficientes para alcanzar la reducción del 55% de emisiones en 2030 y las cero emisiones netas en 2050. Utilizando como base los resultados recogidos por el ministerio pertinente y aplicando las perspectivas de crecimiento determinadas en base al modelo elaborado por la IEA, los distintos escenarios elaborados permiten extraer diversas conclusiones.

En primer lugar, y aun sin tener en cuenta los factores de crecimiento determinados, la línea de tendencia del consumo de biocombustibles permite afirmar que la demanda de los próximos años será mayor. Además, las perspectivas de crecimiento medias implican duplicar la producción en 2030 y prácticamente triplicarla en 2050. Adaptar la infraestructura de producción será, por tanto, un factor clave.

El papel de los biocarburantes se convierte en protagonista en el corto plazo. Al poder utilizarse en porcentajes de mezcla elevados, o incluso por sí mismos, utilizando los vehículos e infraestructura logística actual hace que las perspectivas para los próximos años sean prometedoras. En este sentido resulta esencial para que su implantación sea rápida que se alcance el desarrollo tecnológico y de producción necesario.

Determinar cuál será el escenario final resulta prácticamente imposible. Sin embargo, parece coherente afirmar que se va a permanecer al menos un pequeño periodo de tiempo en el escenario actual, y que la próxima revisión situará los estándares un escalón por encima, en línea con los objetivos finales. Que estos se alcancen, en vista de la situación actual, resulta algo improbable. Con todo ello parece razonable afirmar que debe considerarse un escenario intermedio entre los nombrados como cuatro y seis en el apartado anterior.

El consumo seguirá la misma línea de tendencia que la producción, con perspectivas de crecimiento similares, alcanzando valores en torno a los 3,5 millones de m<sup>3</sup> en 2030 y 5 millones de m<sup>3</sup> en 2050. Además, debe tenerse en cuenta que las exportaciones llegarían a duplicarse, pudiendo llegar a ser necesario adaptar las infraestructuras portuarias y otras infraestructuras complementarias.

#### 4.4 INFRAESTRUCTURA NACIONAL

Según los últimos datos publicados por la oficina estadística de la Unión Europea *Eurostat*, la capacidad de producción de biocombustibles líquidos en España en el año 2022 ascendió hasta las 4.237.000 toneladas. Utilizando el biodiésel como referencia (0,88 g/m<sup>3</sup>), esto equivale aproximadamente a unos 4.800.000 m<sup>3</sup>. A pesar de haber contactado con el Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía con el fin de obtener la capacidad disponible en nuestro país desglosada por tipo de biocombustible, estos no contaban con los datos necesarios. Proporcionaron únicamente los datos de producción, coincidiendo con los que se han utilizado para analizar el comportamiento histórico, pero desconocían la capacidad total de los distintos centros (Ilustración 24). Como se ha mencionado anteriormente, se han dejado de lado las capacidades de producción de biocombustibles sólidos y gaseosos al no contribuir a la descarbonización del transporte pesado por carretera, aviación y transporte marítimo.



Ilustración 24: Mapa de refinerías de biocombustibles en España (FAS-USDA).

Para poder afirmar si la capacidad actual de las refinerías de nuestro país es suficiente o no para cubrir las demandas predichas, es necesario definir con que escenario se pretende comparar (Tabla 20). El escenario 3 por ejemplo, y a pesar de ser el más optimista, resulta algo irreal, ya que podemos afirmar que a día de hoy no se cuenta con las medidas suficientes para alcanzar los objetivos ambientales establecidos para el año 2050. Por este motivo se va

a eliminar de la ecuación. Lo que este trabajo busca es que el sistema nacional sea capaz de satisfacer la creciente demanda futura tanto a nivel nacional como internacional, exportando este tipo de biocombustibles y aprovechando la ventaja competitiva que nuestro país presenta en este sector. Considerar como punto de referencia las capacidades estimadas bajo este escenario de predicción daría lugar a una infraestructura sobredimensionada, algo que no tiene sentido.

Escenarios	2030		2050	
<b>1</b>	3,887,166	m3	5,736,845	m3
<b>2</b>	4,274,790	m3	6,436,753	m3
<b>3</b>	4,585,982	m3	6,367,964	m3
<b>4</b>	4,119,195	m3	6,471,148	m3
<b>5</b>	4,430,386	m3	6,402,359	m3
<b>6</b>	4,220,741	m3	6,213,023	m3

*Tabla 20: Capacidades de producción estimadas para los años 2030 y 2050 en función del escenario considerado (Elaboración propia).*

Los escenarios más realistas son el 4 y el 6. Recordemos que el 4 propone que todos los objetivos ya establecidos se cumplen, y que en los años cercanos al 2050 se alcanzan las medidas necesarias para que ese año se cumplan las cero emisiones netas. El 6 por su parte estima que nos mantengamos un breve periodo de tiempo en la situación actual hasta que nuevas revisiones de los distintos planes nacionales permitan alcanzar los objetivos ya establecidos. Además, en aproximadamente quince años se tomarían las medidas necesarias para alcanzar los objetivos que la Unión Europea ha establecido para el año 2050.

El 2, considerando una situación intermedia entre los escenarios *APS* y *NZE*, da unos resultados algo elevados pero que no deben ser desestimados. Aunque es obvio que a día de hoy no contamos con las medidas necesarias para cumplir todos los objetivos ya establecidos, escenario *APS*, la rápida y sencilla implantación de estos carburantes en los vehículos empleando la infraestructura logística actual puede dar lugar a un crecimiento

exponencial durante los próximos años. Es por esto que se va a utilizar como referencia este escenario de cara al año 2030.

Por tanto, la capacidad de producción necesaria para los biocombustibles líquidos en nuestro país en el año 2030 es de aproximadamente 4.275.000 m<sup>3</sup>. Este valor contempla un cierto margen que permita cubrir la demanda en caso de que su fácil utilización potencia extraordinariamente rápido su crecimiento. Teniendo en cuenta que la capacidad de producción actual es de unos 4.800.000 m<sup>3</sup>, la infraestructura actual cuenta con un margen de 540.000 m<sup>3</sup>, lo que representa un 12,6% de la demanda predicha para ese año en base al escenario considerado, el 2.

Resulta sorprendente este exceso de capacidad teniendo en cuenta los grandes proyectos en curso en nuestro país y que se mencionan a continuación. Sin embargo, fuentes consultadas como el periódico *Energías Renovables* o la *Asociación Nacional de Productores de Biodiésel "Ewaba"* afirman que en el año 2023 las plantas de producción de biodiésel de nuestro país estuvieron parcialmente paradas por la falta de un marco legal claro. Esto hizo que, tanto en España como en el resto de la UE, entrará gran cantidad de producto etiquetado erróneamente como avanzado procedente de China. Se afirmaba que este producto cumplía con las nuevas normativas que obligan a evitar la utilización de cultivos alimentarios, sin ser así, dificultando la competencia por parte del biocarburante de producción nacional. Aunque a priori los resultados resultasen sorprendentes, con estos datos sobre la mesa parece coherente afirmar que en España contamos con capacidad más que suficiente para cubrir la demanda esperada en el año 2030, sin ser necesario proyectar nuevas plantas de producción. Lo que si hace falta es establecer un marco legal que proteja la producción local y controle el origen del biocombustible importado, además de pelear porque el resto de países de la Unión Europea hagan lo propio, al ser potenciales clientes del biocarburante español.

Al tratarse de un horizonte más amplio la predicción de cara al año 2050 resulta más compleja. La fácil adaptación de estos combustibles a los motores actuales, así como la posible utilización de la infraestructura de gasolineras actuales, confiere a los biocombustibles un gran potencial para los próximos años. Sin embargo, todos los

indicadores apuntan al vehículo eléctrico en el largo plazo para alcanzar las cero emisiones netas. Aunque a día de hoy todavía en nuestro país este tipo de vehículos no han recibido una gran aceptación, a medida que se adapte la infraestructura de carga y avance el desarrollo tecnológico lo suficiente para dotar a los coches de autonomías algo mayores, se prevé que el número de vehículos eléctricos circulando por nuestras carreteras se dispare. Esto supondrá una disminución en el consumo de biocombustible en los vehículos ligeros y quien sabe si los avances tecnológicos permitirán implantar la electrificación en el transporte pesado, aunque a priori parece complicado.

Con el fin de determinar cuál será el escenario más realista en el largo plazo parece razonable analizar el nivel de desarrollo tecnológico de estos combustibles. Un mayor grado de desarrollo implica menores costes de producción, menores precios de venta y, por tanto, un mayor número de potenciales consumidores. El grado de desarrollo de una tecnología se mide de acuerdo al nivel de desarrollo tecnológico (TRL), cuyos valores pueden ir desde el nivel de concepto (TRL 1-2), laboratorio (TRL 3-4), pasando por piloto (TRL 5-6), demostración (TRL 7-8), hasta alcanzar su estado comercial (TRL 9). Según el Centro Nacional de Energías Renovables, actualmente se están desarrollando tecnologías para la producción de biocombustibles avanzados, aunque todavía no se comercializan a gran escala. Solo el biometano cuenta con el nivel más avanzado, mientras que el resto de biocombustibles están en niveles entre el 4 y el 7 y necesitan por tanto un desarrollo mucho mayor para alcanzar el impulso que necesitan.

A pesar de que la capacidad actual es más que suficiente para cubrir la demanda prevista para el año 2030, como se ha explicado anteriormente, en los siguientes 20 años se espera que la producción se multiplique por 1,5 veces. Teniendo en cuenta que de los escenarios elaborados el 4 y el 6 son los más realistas, la capacidad de producción nacional en 2050 deberá situarse entre los 6.200.000 m<sup>3</sup> y 6.500.000 m<sup>3</sup>. Esto supone un incremento con respecto a la capacidad de producción actual de entre el 29% y el 35%, con entre 1.400.000 m<sup>3</sup> y 1.650.000 m<sup>3</sup> respectivamente.

#### **4.4.1 GRANDES PROYECTOS EN CURSO**

El sector petroquímico es consciente de estas perspectivas positivas y de crecimiento y ya ha puesto en marcha proyectos para cubrir la brecha entre la capacidad de producción y el suministro requerido esperado. Los dos principales proyectos, llevados a cabo por Cepsa y Repsol y resumidos a continuación, son prometedores y tendrán un impacto muy positivo sobre la economía de nuestro país. Se espera que entre ambos sumen 750.000 nuevas toneladas de producción de biocombustibles, que equivalen a 850.000 m<sup>3</sup>. Esta capacidad de las nuevas instalaciones reduce a aproximadamente la mitad la brecha actual necesaria para el año 2050.

El proyecto de Cepsa, llevado a cabo junto a Bio-Oils, dará lugar a la mayor planta de biocombustibles de segunda generación del sur de Europa (Ilustración 25). Se trata de una ampliación de las instalaciones ya en funcionamiento con el objetivo de duplicar la capacidad de producción actual, 500.000 toneladas de combustible sostenible de aviación (SAF) y diésel renovable (HVO), hasta las 1.000.000 toneladas. Se espera que la planta también produzca biogás, materia fundamental para la producción de hidrógeno verde, componente fundamental en la descarbonización de la industria.

El proyecto supone una inversión de 1.200 millones de euros, la creación de 2.000 puestos de trabajo y se espera que se ponga en marcha en el año 2026, ayudando a la consecución de los objetivos ambientales tanto del año 2030 como del año 2050. El complejo industrial de Cepsa en Palos de la Frontera, provincia de Huelva, evitará la emisión de 3 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> anuales, que equivale al 4% de las emisiones del transporte por carretera en España. Esto supone el 13% de la reducción de gases de efecto invernadero establecida en la última revisión del Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (32%) para el año 2030.

The largest 2G  
 biofuel plant in  
 southern Europe  
 in figures

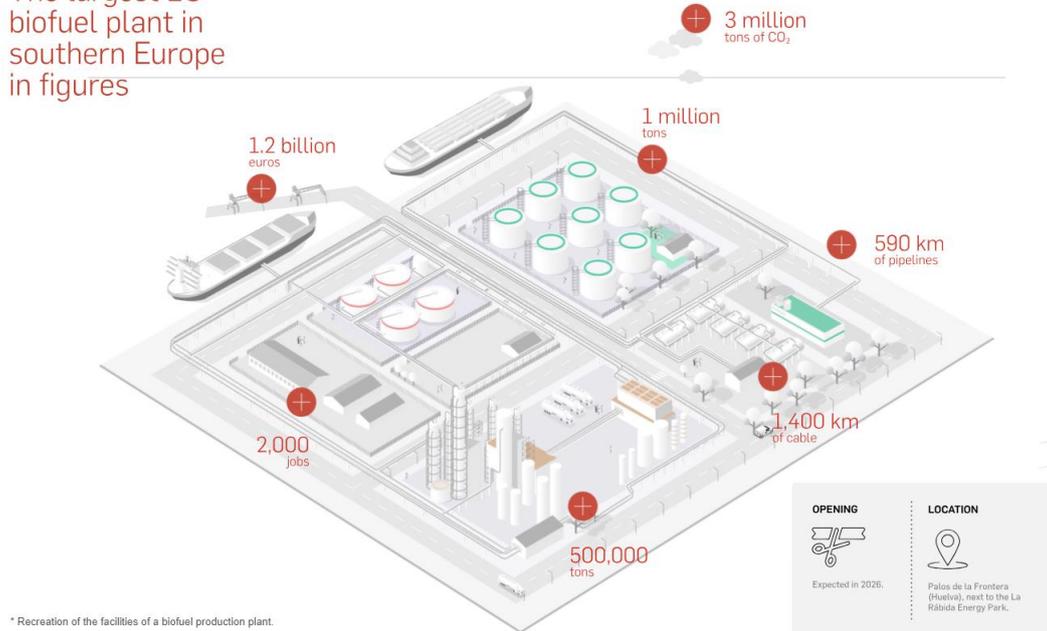
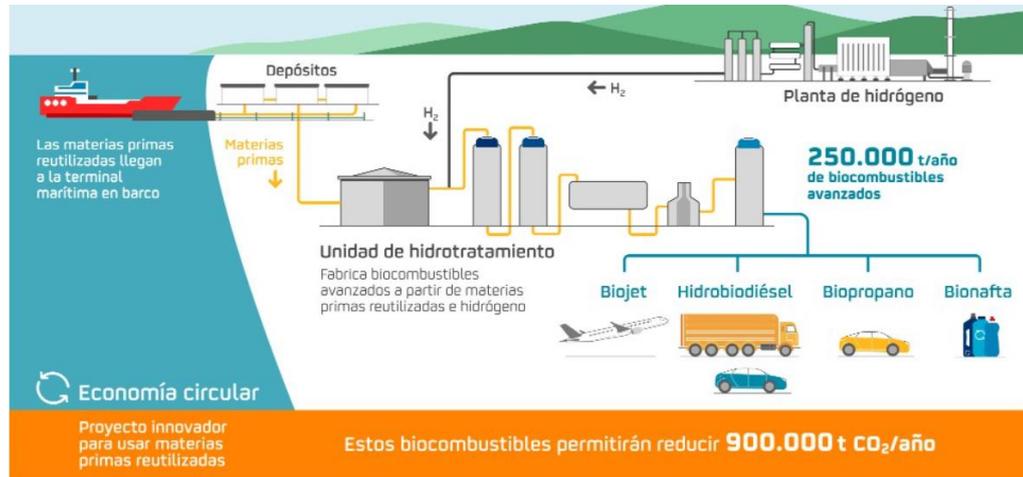


Ilustración 25: Principales datos de la mayor planta de producción de biocombustibles de Europa (Cepsa).

El proyecto de Repsol, situado en el complejo industrial de Cartagena, cuenta con una inversión de 200 millones de euros, creará aproximadamente 1.000 empleos y añade una capacidad de producción de 250.000 toneladas. Se trata de la primera planta en la península dedicada a la producción de combustibles 100% renovables, que permiten reducir las emisiones netas de CO<sub>2</sub> un 90%, consiguiendo evitar la emisión de 900.000 toneladas de CO<sub>2</sub> al año. Reduciendo un 1,2% de las emisiones del transporte. Además, la compañía prevé replicar este modelo en otro complejo industrial en España antes de 2030, favoreciendo una vez más la consecución del objetivo de cero emisiones netas en el año 2050.

En abril de 2024 la instalación empezó a producir los primeros carburantes (Ilustración 26). La planta puede generar combustible de aviación sostenible y diésel renovable para automóviles, camiones, autobuses, barcos o aviones, aprovechando la infraestructura existente de repostaje. Para ello la planta procesará 300.000 toneladas de residuos orgánicos,

como aceite de cocina usado o residuos agroalimentarios, a los que dará una segunda vida fomentando la economía circular.



*Ilustración 26: Esquema explicativo del funcionamiento de la nueva planta de producción de biocombustibles de Repsol en Cartagena (Repsol).*

Se debe recordar que las perspectivas elaboradas toman como base las tasas de crecimiento esperadas para este tipo de combustible del *World Energy Outlook 2023*, elaborado por la Agencia Internacional de la Energía. Los valores históricos de producción, consumo, importaciones y exportaciones las proporciona el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, y han sentado las bases para determinar el comportamiento esperado para los próximos años. Por último, las distintas suposiciones, marcos temporales y escenarios elegidos han sido establecidos en base al marco regulatorio actual en nuestro país y al esperado en base a las directrices marcadas por la Unión Europea.

El análisis elaborado permite afirmar que la capacidad de producción actual es capaz de satisfacer las perspectivas de suministro más optimistas para el año 2030. Además, nuestro país cuenta con una capacidad de producción más del 12% por encima de lo necesario. Si se tiene en cuenta que el proyecto de Repsol entrará en funcionamiento este año, un año por detrás de lo esperado, y el de Cepsa está programado para el año 2026, la capacidad de

producción de biocombustibles disponible en 2030 será un 33% superior a la demanda proyectada (aproximadamente 5,6 millones de m<sup>3</sup> de capacidad de producción).

A pesar de la capacidad que estos dos nuevos proyectos añaden a la red de producción nacional actual, queda todavía una brecha por cubrir para cumplir las expectativas de demanda del año 2050 de entre 550.000 m<sup>3</sup> y 800.000 m<sup>3</sup>. Teniendo en cuenta que la capacidad conjunta de ambos proyectos asciende hasta los 850.000 m<sup>3</sup>, queda espacio todavía para al menos dos grandes proyectos de este nivel en nuestro país.

En términos medioambientales, los dos nuevos proyectos ahorrarán un total de 3,9 millones de toneladas de CO<sub>2</sub>, lo que supone un 5,2% de las emisiones del transporte. Si en los próximos años a esto se suman nuevos proyectos que permitan cubrir los 800.000 m<sup>3</sup> de déficit proyectados para el año 2050, se conseguirán reducir otro 5% las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas al transporte. De esta forma, el avance acordado en el PNIEC 2021-2030 del 32% de reducción de emisiones y, sobre todo, el 55% establecido por la Unión Europea están un paso más cerca.

De cara a los próximos años y a poder satisfacer la diferencia entre la producción y el suministro necesario, Repsol ya está trabajando para presentar otra propuesta antes de 2030, y quien sabe que otra empresa del sector tomará la iniciativa para cubrir el resto de la brecha todavía abierta. Además, teniendo en cuenta el creciente potencial de nuestro país en el sector de la energía renovable, no solo a través de los biocombustibles, sino también de otras fuentes como el hidrógeno, es posible que se abra espacio para que todavía más empresas del sector apuesten por nuestro país como lugar donde ubicar sus centros de producción de biocarburantes.

## **Capítulo 5. ANÁLISIS ECONÓMICO**

El marco regulatorio es sin duda el principal motivo detrás del previsible incremento necesario en el suministro de biocarburantes. El ambicioso objetivo fijado tras el Acuerdo de París con el que limitar el incremento de la temperatura global a 1,5°C, así como los objetivos a nivel europeo y nacional establecidos para el año 2030, han permitido prever en el punto anterior la necesidad de aumentar la capacidad de suministro de estos combustibles en nuestro país.

Sin embargo, las opciones consideradas como forma de descarbonizar cualquier sector, ya sea el transporte como en este caso, la industria, o la climatización de los hogares, deben ser económicamente viables para el consumidor. Teniendo en cuenta que se trata de una nueva tecnología y que trae consigo beneficios climáticos, puede que fiscales, e incluso se podría considerar que de salud, es posible que el consumidor esté dispuesto a asumir un precio algo mayor que el de los combustibles fósiles, pero el precio deberá ser, aun así, competitivo.

El desarrollo del análisis económico pretende establecer cuál será el precio de venta de este tipo de carburantes para los próximos años. Para ello, se ve a desarrollar un modelo económico de una planta de producción similar a la que actualmente está construyendo Cepsa en Palos de la Frontera, con una capacidad máxima de suministro de aproximadamente 500.000.000 de litros (500 kt con una densidad media para el biodiésel de 0,88 g/m<sup>3</sup>). Asumiendo los distintos costes de producción, que van desde las materias primas y la mano de obra, hasta los intereses para financiar la construcción y la amortización, se podrá determinar el precio de venta mínimo de estos combustibles para los próximos años. A priori parece razonable afirmar que a medida que aumente la investigación y el desarrollo tecnológico para producir este tipo de combustibles los costes de producción disminuirán. Sin embargo, es necesario considerar otros factores que puedan afectar a los precios negativamente, como por ejemplo la inestabilidad geopolítica al precio de las materias primas empleadas.

## 5.1 CONSTRUCCIÓN DEL MODELO

La rentabilidad en la producción de este tipo de combustibles es muy variable, especialmente teniendo en cuenta la escasa madurez de las tecnologías para su producción y la volatilidad en los precios de la materia prima. Con el fin de que el análisis sea lo más preciso posible, se va a utilizar como referencia para la elaboración el análisis realizado por la *Iowa State University*. En su caso, el modelo realizado evalúa una planta más pequeña, por lo que será necesario adaptar algunos valores para que los resultados sean fiables. Concretamente el modelo realizado por la universidad americana considera una planta con una capacidad de producción de 115 millones de litros de biocombustible, frente a los 500 de la instalación de Cepsa. Esto es aproximadamente un cuarto del tamaño de la planta que la compañía petroquímica tiene en construcción en la provincia de Huelva.

Conocido el tamaño de la planta, el primer paso es determinar el precio para su construcción. Como la propia Cepsa ha anunciado la cantidad invertida, se ha decidido utilizar este valor en lugar de realizar la proporción con respecto a la instalación estadounidense. Además, se ha considerado que el proyecto se financiará a partes iguales entre deuda y capital. Por lo tanto, de los 1.200 millones de euros necesarios, 600 serán solicitados a una entidad financiera que, tras el análisis de las últimas cuentas disponibles de la empresa, se espera que imponga en torno a un 5% de interés.

Para los costes asociados a la mano de obra, el mantenimiento, el transporte, los productos químicos necesarios, el agua y la electricidad sí que se ha tomado como base la planta americana (Tabla 21). También para los gastos incluidos dentro de “Otros”, entre los que se ha considerado un desembolso de dinero en conceptos como por ejemplo marketing.

	Capacidad	Construcción	Mano de obra (pp)	Mantenimiento	Transporte	Materia prima	Químicos	Agua	Electricidad	Otros
<i>Iowa</i>	30,000,000 gallons	47,000,000 \$	4,792 \$	200,000 \$	0.03 \$/l	\$ 7.55 lb/gal	0.087 \$/lb 1.61 lb/gal	2 gal/gal	2 kWh/gal	0.07 \$/gal
	113,562,300 l/año	43,518,519 €	4,437 €	185,185 €	0.02 €/l	€ 0.90 kg/l	0.18 €/kg 0.19 kg/l	2 l/l	0.53 kWh/l	0.02 €/l
<i>Cepsa</i>	500,000,000 l/año	1,200,000,000 €	4,437 €	5,106,383 €	0.02 €/l	0.90 €/kg 0.90 kg/l	0.18 €/kg 0.19 kg/l	2 l/l	0.53 kWh/l	0.02 €/l

4.4 x

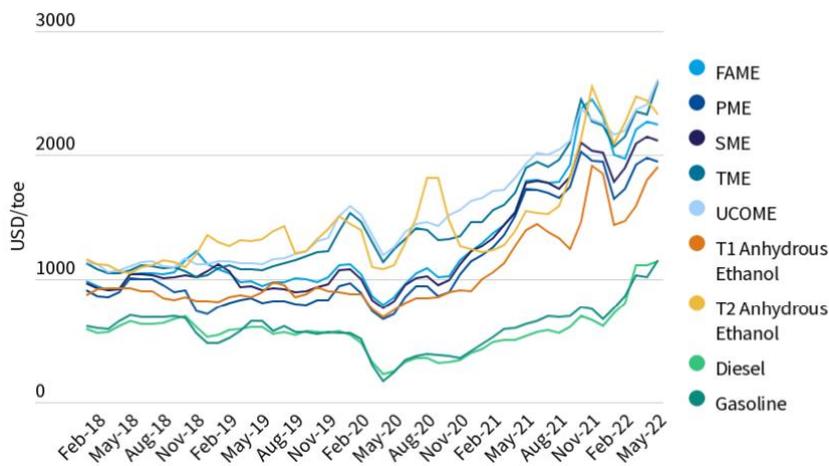
Tabla 21: Coste de la instalación por concepto. Materia prima de 3ª generación (Elaboración propia).

- Mano de obra. El salario mensual medio en la planta americana asciende hasta los 4.792 \$. Aunque este valor pueda parecer elevado a primera vista, debe tenerse en cuenta que no solo se consideran puestos de operación dentro de la instalación, también posiciones de administración o ingeniería. En base a los datos ofrecidos por la propia empresa, se ha considerado que serán necesarios un total de 2.000 trabajadores.
- Mantenimiento. Para los costes asociados a asegurar el buen funcionamiento de la instalación, la Universidad de Iowa estima un coste anual del 0,43% de la inversión inicial. Teniendo en cuenta la considerable diferencia en la inversión para la construcción entre las dos instalaciones, se estima que el coste anual en mantenimiento para esta planta ascienda hasta los 5,1 millones de euros.
- Transporte, químicos, agua, electricidad y otros. Teniendo en cuenta que la utilización de estos recursos para la producción de biocombustible no varía entre un continente y otro, simplemente se ha realizado la conversión entre monedas. Además, se ha adaptado el precio del litro de agua y del kWh de electricidad a valores nacionales, con 0,002 €/l y 0,12 €/kWh respectivamente.
- Materia prima. Se trata del concepto más difícil de estimar. Para ser más preciso y poder analizar diferentes circunstancias, se van a considerar diferentes materias primas correspondientes a las distintas generaciones de producción y las estimaciones de precio elaboradas por la *FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations)*. En cuanto a la materia prima necesaria por litro de producción se ha utilizado la estimación elaborada en el modelo de referencia, que asciende a 0,9 kilogramos de materia prima por litro de biocarburante.
  - Para la primera generación se han considerado residuos agrícolas, con un precio de 50 € por tonelada, y residuos forestales, con un precio de 75 € por tonelada. Por tanto, el precio medio de la materia prima para la producción de biocombustibles de primera generación es de 6 céntimos por kilogramo.
  - Para la producción de biocombustibles de segunda generación se han considerado aceites usados y cosechas energéticas, que incluyen cultivos como la jatropha o la camelina. Sus precios son considerablemente más elevados que los anteriores, con 250 y 300 € por tonelada, pero teniendo en cuenta las restricciones de la UE

a los cultivos alimentarios, resulta esencial considerar estos tipos de materias primas. El precio medio de la materia prima por kilogramo empleado asciende en este caso hasta los 28 céntimos de euro por kilogramo.

- Por último, para la tercera generación se ha considerado como materia prima las microalgas. Con un precio aproximado de 750 € por tonelada, su coste asociado es tres veces mayor al de las materias primas de segunda generación y hasta once veces mayor que para las de primera generación.

Teniendo en cuenta el impacto reciente sobre el precio de las materias primas de la pandemia Covid-19 y la guerra de Ucrania, Ilustración 27, parece razonable incluir un margen en los costes de las mismas para asumir la volatilidad en sus precios. Así, se ha aplicado un 20% de incremento a los valores estimados para las materias primas de las tres generaciones, con lo que los valores finales considerados ascienden a 0,08 €/kg, 0,33 €/kg y 0,90 €/kg respectivamente.



*Ilustración 27: Precios recientes de combustibles y biocombustibles (Transport & Environment). FAME: Fatty Acid Methyl-Esters, PME: Palm Methyl Ester, SME: Soybean Methyl Ester, TME: Tallow Methyl Ester, UCOME: UCOME: Used Cooking Oil Methyl Ester, T1: EU bioethanol imports, T2: EU domestic bioethanol production.*

Conocidos los costes de producción y los gastos de explotación, que en total ascienden al 50% de los gastos totales, es momento de determinar la depreciación, los intereses de la deuda o los impuestos a pagar. Se va a considerar que todos ellos permanecerán constantes durante el transcurso del proyecto.

- Depreciación. El periodo de tiempo establecido abarca 25 años, periodo razonable para poder amortizar una instalación de estas características y que permite que el análisis termine un par de años antes del año 2050, coincidiendo con el horizonte temporal establecido por la Unión Europea. Así, el coste anual de la depreciación asciende hasta los 48 millones de euros, representando entre el 10% y el 13% del gasto anual.
- Intereses. Para determinar los intereses que una entidad financiera aplica a una empresa del calibre de Cepsa, se ha recurrido a las cuentas anuales de la compañía. Aunque el valor no aparece explícitamente, se puede determinar mediante cálculos sencillos. Según el último informe disponible, que hace referencia al primer cuatrimestre del año 2024, el valor asciende a aproximadamente el 4,5% (deuda de 2.340 millones de euros y pago de intereses por valor de 105 millones de euros). Por tanto, parece razonable aplicar un 5% de intereses a la deuda inicial de 600 millones de euros. Con todo, el pago de intereses anual para el proyecto asciende hasta los 30 millones de euros.
- Impuestos. Como en el caso anterior se ha recurrido a los resultados del primer cuatrimestre de 2024 para determinar el porcentaje de impuestos que esta empresa paga por su actividad. Se trata de un valor sorprendentemente alto, que asciende hasta el 31.5%. Como consecuencia, para los últimos años proyectados en los que los ingresos serán mayores y los gastos menores como se explicará a continuación, más de un 40% del gasto anual estará destinado al desembolso fiscal.

Se debe tener en cuenta que el mayor interés por este tipo de carburantes se espera que traiga consigo un mayor gasto en investigación y desarrollo. Como consecuencia, se espera que los costes disminuyan durante los próximos años y para poder tenerlo en cuenta, se van a ir reduciendo progresivamente los gastos de producción previamente considerados. Para poder estimar cual será la reducción se van a tomar como referencia los valores del Centro Nacional de Energías Renovables. Este establece que el coste de producción actual es de

aproximadamente 1.500 € por tonelada equivalente de petróleo y que este valor se irá reduciendo hasta alcanzar los 800 euros, prácticamente la mitad del valor actual. Además, también se espera que durante los próximos 25 años el precio del combustible no se mantenga estable si no que vaya en aumento, como consecuencia de la inflación y de una mayor demanda de este tipo de carburantes. Así, se van a considerar tanto para los costes asociados a la producción como para el precio de las ventas tres periodos distintos: (i) 2024-2030, (ii) 2031-2040 y (iii) 2041-2048.

- (i) 2024-2030. El precio actual del biocombustible ronda los 1,50 euros por litro y se va a utilizar este valor como precio de venta durante este periodo. Por otro lado, el CENER establecía un coste de producción aproximado para los biocombustibles avanzados en el año 2018 de 1,29 euros por litros. Con todos los valores previamente explicados, el modelo elaborado para la planta de Cepsa estima un precio de 0,92 €/l si se emplea materia prima de primera generación, 1,08 €/l si se emplea materia prima de segunda generación y 1,43 €/l si la materia prima empleada son microalgas de tercera generación (ver Tabla 22, Tabla 23 y Tabla 24). Teniendo en cuenta que ya han pasado seis años desde la previsión elaborada por este centro, la diferencia de 20 céntimos en igualdad de materias primas (2ª generación) parece muy razonable.

Coste Producción	2023	2030	2040
<b>CENER</b>	1.29 €/l	0.99 €/l	0.69 €/l
<b>Modelo Cepsa</b>	0.92 €/l	0.89 €/l	0.83 €/l

*Tabla 22: Coste de producción estimado por el CENER vs. Coste de producción estimado por el modelo elaborado para la planta de Cepsa para materia prima de 1ª generación (Elaboración propia).*

- (ii) 2031-2040. A partir del año 2031, fruto de la inflación y de un necesario incremento en la demanda, parece razonable afirmar que el precio de venta del biocombustible ascienda hasta 1,65 €/l. Al mismo tiempo el CENER estima que los costes de producción se reduzcan hasta aproximadamente el euro por litro. Para poder tenerlo en cuenta en el modelo elaborado, se han reducido los costes de producción y los gastos de explotación

proporcionalmente a la reducción estimada en el coste por litro proporcionada por este centro. Los gastos asociados a la depreciación de la instalación y los intereses permanecen constantes, al igual que el porcentaje de intereses aplicado al resultado de explotación. De esta forma, si el CENER estima un coste de producción de 0,99 €/l para los biocombustibles avanzados, el modelo elaborado proporciona unos resultados de 0,89 €/l, 1,02 €/l y 1,29 €/l en función de la materia prima empleada (ver Tabla 22, Tabla 23 y Tabla 24).

Coste Producción	2023	2030	2040
<b>CENER</b>	1.29 €/l	0.99 €/l	0.69 €/l
<b>Modelo Cepsa</b>	1.08 €/l	1.02 €/l	0.90 €/l

Tabla 23: Coste de producción estimado por el CENER vs. Coste de producción estimado por el modelo elaborado para la planta de Cepsa para materia prima de 2ª generación (Elaboración propia).

- o (iii) 2041-2048. Para el último periodo considerado, y en línea con el periodo anterior, se estima que el precio de venta ascienda hasta 1,80 €/l. Como en el caso anterior, se han ajustado todavía más los costes de producción en línea con las estimaciones realizadas por el CENER. Este centro estima una reducción en los gastos que permita reducir el coste hasta los 0,69 €/l, valor que parece algo optimista, por lo que en este último periodo se ha mantenido un cierto margen. De esta forma, y como en los dos casos anteriores, los costes estimados de producción en función de la materia prima empleada mediante el modelo elaborado para la planta de Cepsa son 0,83 €/l, 0,90€/l y 1,07 €/l (ver Tabla 22, Tabla 23 y Tabla 24).

Coste Producción	2023	2030	2040
<b>CENER</b>	1.29 €/l	0.99 €/l	0.69 €/l
<b>Modelo Cepsa</b>	1.43 €/l	1.29 €/l	1.07 €/l

Tabla 24: Coste de producción estimado por el CENER vs. Coste de producción estimado por el modelo elaborado para la planta de Cepsa para materia prima de 3ª generación (Elaboración propia).

Todos estos valores se han calculado estimando que durante los 25 años de vida de la instalación la planta funcione al 85% de su capacidad máxima, con una producción total anual de 425 millones de litros de biocarburante.

## **5.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS**

Una vez se ha definido el modelo elaborado y se han justificado todos los valores empleados, es momento de analizar los resultados obtenidos. Para facilitar la visión y comprensión de los mismos se adjuntan a continuación una serie de ilustraciones en las que se han incluido solo los últimos años de cada periodo contemplado y el año inicial en el que se realiza la inversión. Se debe tener en cuenta que para el resto de años de cada periodo los valores son iguales que los del año mostrado.

Adicionalmente, se ha calculado el valor presente del proyecto teniendo en cuenta una duración de 25 años. Como tasa de descuento se ha utilizado el WACC, con un valor calculado del 7,71%, para el que se ha considerado la división realizada para la financiación con un 50% de capital y un 50% de deuda. El coste asociado al capital ha sido del 12%, mientras que para la deuda se ha tomado como referencia el 5% derivado de las cuentas de Cepsa como se ha explicado anteriormente. De la misma manera, se ha estimado la tasa impositiva corporativa, con un valor del 31,5%.

En los cinco escenarios considerados el resultado es muy positivo, con valores que oscilan entre los casi 2.000 millones de euros si se utilizase materia prima de 1ª generación hasta 2048, hasta los 867 millones de euros en el caso de que desde el primer momento se empleasen microalgas como materia prima. En todos ellos se puede ver como los gastos que se han asociado a la producción, como la materia prima, la mano de obra o el mantenimiento se van reduciendo según se desarrolla el proyecto. Por el contrario, la depreciación y los intereses de la deuda se mantienen constantes durante los 25 años considerados. Por su parte, el valor asociado al pago de impuestos varía dependiendo de cual sea el resultado del EBT, siendo en cualquier caso una partida elevada dentro de la cuenta.

### 5.2.1 MATERIA PRIMA DE 1ª GENERACIÓN

En este escenario se asume que toda la materia prima empleada durante los 25 años de proyecto sea una mezcla entre residuos agrícolas y forestales. Los resultados son extraordinariamente positivos. Incluso si la duración fuera de solo seis años, si se cumplieren las estimaciones realizadas, la empresa petroquímica conseguiría 80 millones de euros de beneficio (Ilustración 28).

Con el fin de evitar un aumento en el precio de los alimentos, la Unión Europea está imponiendo nuevas restricciones al empleo de este tipo de recursos como materia prima para producir biocombustibles. Como consecuencia, este escenario resulta irreal y en ningún caso podrá darse. Sin embargo, resulta interesante incluirlo en el análisis para entender porque las empresas encargadas de la producción siguen apostando, a la espera de mayores medidas, por la utilización de estos cultivos para la producción. Empleo que, durante los próximos años, se irá reduciendo hasta llegar incluso a desaparecer.

Generación: **1ª G**

(millones de €)	2023	2030	2040	2048
<b>Ventas</b>		€638	€701	€765
<b>COGS</b>		€43	€33	€18
<i>Materia Prima</i>		€29	€22	€12
<i>Químicos</i>		€15	€11	€6
<b>Margen Bruto</b>		€594	€668	€747
<b>Gastos de Explotación</b>		€158	€121	€67
<i>Agua</i>		€2	€1	€1
<i>Electricidad</i>		€27	€21	€11
<i>Mantenimiento</i>		€5	€4	€2
<i>Transporte</i>		€10	€8	€4
<i>Mano de Obra</i>		€106	€82	€45
<i>Otros</i>		€7	€6	€3
<b>Depreciación</b>		€48	€48	€48
<b>EBIT</b>		€388	€499	€632
<i>Intereses</i>		€30	€30	€30
<b>Resultado (Antes de Impuestos)</b>		€358	€469	€602
<i>Impuestos</i>		€113	€148	€190
<b>Resultado (Después de Impuestos)</b>	-€1,200	€245	€321	€412
		Rate 7.71%	7.71%	7.71%
		NPV € 83,661,463	€ 1,288,799,690	€ 1,917,891,247

Ilustración 28: Cuenta de pérdidas y ganancias empleando materia prima de 1ª generación durante los 25 años del proyecto (Elaboración propia).

## 5.2.2 MATERIA PRIMA DE 2ª GENERACIÓN

Este segundo escenario, mucho más realista al considerar la utilización de aceites usados y cosechas energéticas, refleja unos valores mucho más cercanos a lo que se espera de la instalación en Palos de la Frontera. El incremento en el precio de las materias primas trae consigo una reducción del beneficio tal que hasta el año 2031 el proyecto no reportaría beneficios. Aun así, como se puede apreciar en la Ilustración 29, los resultados al cumplirse los 25 años del proyecto son extraordinarios.

Se espera una reducción en el precio de la materia prima de en torno al 50%, fruto de los avances derivados de la investigación y el desarrollo. En cuanto a conceptos como el agua y la energía, en los que también puede apreciarse una reducción en los costes, esta viene dada por sistemas de producción más eficientes, en los que se haga una mejor utilización de estos recursos. Los precios del recurso como tal se espera que se mantengan constantes o incluso sufran una ligera subida.

Generación: **2ª G**

(millones de €)	2023	2030	2040	2048
<b>Ventas</b>		€638	€701	€765
<b>COGS</b>		€141	€108	€62
<i>Materia Prima</i>		€127	€97	€55
<i>Químicos</i>		€15	€11	€6
<b>Margen Bruto</b>		€496	€593	€703
<b>Gastos de Explotación</b>		€158	€121	€69
<i>Agua</i>		€2	€1	€1
<i>Electricidad</i>		€27	€21	€12
<i>Mantenimiento</i>		€5	€4	€2
<i>Transporte</i>		€10	€8	€5
<i>Mano de Obra</i>		€106	€82	€46
<i>Otros</i>		€7	€6	€3
<b>Depreciación</b>		€48	€48	€48
<b>EBIT</b>		€290	€424	€587
<i>Intereses</i>		€30	€30	€30
<b>Resultado (Antes de Impuestos)</b>		€260	€394	€557
<i>Impuestos</i>		€82	€124	€175
<b>Resultado (Después de Impuestos)</b>	-€1,200	€178	€270	€381
		Rate 7.71%	7.71%	7.71%
		NPV (€ 244,185,335)	€ 767,766,235	€ 1,349,476,755

Ilustración 29: Cuenta de pérdidas y ganancias empleando materia prima de 2ª generación durante los 25 años del proyecto (Elaboración propia).

### 5.2.3 MATERIA PRIMA DE 3ª GENERACIÓN

Si se considera la utilización de las microalgas como materia prima, y a pesar de tener en cuenta una reducción considerable de su precio durante los próximos años, los resultados son más ajustados (Ilustración 30). A diferencia de los dos escenarios anteriores, en este caso el proyecto estaría obligado a prolongarse al menos durante el tiempo estimado si quiere reportar un beneficio para la compañía.

Así, en el año 2048 el valor presente ascendería hasta prácticamente los 74 millones de euros. Resulta llamativo el incremento en el pago de la tasa impositiva según se desarrolla el proyecto. Durante los primeros años, en los que prácticamente no se genera beneficio, el pago es de apenas 13 millones de euros. A medida que se desarrolla el proyecto, aumentan los precios de venta y se reducen los costes de producción, este valor se multiplica por diez hasta superar los 140 millones de euros.

Generación:		3ª G			
(millones de €)		2023	2030	2040	2048
<b>Ventas</b>			€638	€701	€765
<b>COGS</b>			€361	€276	€164
<i>Materia Prima</i>			€346	€265	€158
<i>Químicos</i>			€15	€11	€7
<b>Margen Bruto</b>			€277	€425	€601
<b>Gastos de Explotación</b>			€158	€121	€72
<i>Agua</i>			€2	€1	€1
<i>Electricidad</i>			€27	€21	€12
<i>Mantenimiento</i>			€5	€4	€2
<i>Transporte</i>			€10	€8	€5
<i>Mano de Obra</i>			€106	€82	€49
<i>Otros</i>			€7	€6	€3
<b>Depreciación</b>			€48	€48	€48
<b>EBIT</b>			€71	€256	€481
<i>Intereses</i>			€30	€30	€30
<b>Resultado (Antes de Impuestos)</b>			€41	€226	€451
<i>Impuestos</i>			€13	€71	€142
<b>Resultado (Después de Impuestos)</b>	-€1,200		€28	€155	€309
		Rate	7.71%	7.71%	7.71%
		NPV	(€ 977,019,354)	(€ 396,896,782)	€ 73,959,606

Ilustración 30: Cuenta de pérdidas y ganancias empleando materia prima de 3ª generación durante los 25 años del proyecto (Elaboración propia).

## 5.2.4 OTROS ESCENARIOS CONSIDERADOS

Adicionalmente, se ha decidido analizar otros dos escenarios en los que no solo se tengan en cuenta las crecientes limitaciones a las materias primas de primera generación y el impacto del desarrollo tecnológico en los costes de producción de este tipo de combustibles, sino también un avance progresivo en las materias primas empleadas durante el periodo de tiempo analizado.

Así, la Ilustración 31 recoge un cuarto escenario en el que se emplea materia prima de segunda generación hasta 2040, momento a partir del cual se empiezan a emplear microalgas para la producción de los biocombustibles. Otra vez los escenarios son extraordinarios, superando los 1.000 millones de beneficio neto en 25 años. Además, como era de esperar, los resultados para los años 2030 y 2040 coinciden con el tercer escenario planteado.

(millones de €)	2023	2030	2040	2048
<b>Ventas</b>		€638	€701	€765
<b>COGS</b>		€141	€108	€157
<i>Materia Prima</i>		€127	€97	€151
<i>Químicos</i>		€15	€11	€6
<b>Margen Bruto</b>		€496	€593	€608
<b>Gastos de Explotación</b>		€158	€121	€69
<i>Agua</i>		€2	€1	€1
<i>Electricidad</i>		€27	€21	€12
<i>Mantenimiento</i>		€5	€4	€2
<i>Transporte</i>		€10	€8	€5
<i>Mano de Obra</i>		€106	€82	€46
<i>Otros</i>		€7	€6	€3
<b>Depreciación</b>		€48	€48	€48
<b>EBIT</b>		€290	€424	€491
<i>Intereses</i>		€30	€30	€30
<b>Resultado (Antes de Impuestos)</b>		€260	€394	€461
<i>Impuestos</i>		€82	€124	€145
<b>Resultado (Después de Impuestos)</b>	-€1,200	€178	€270	€316
		Rate 7.71%	7.71%	7.71%
		NPV (€ 244,185,335.02)	€ 767,766,235.04	€ 1,249,817,639.82

Ilustración 31: Cuenta de pérdidas y ganancias empleando materia prima de 2ª generación hasta 2040 y de 3ª generación desde 2041 hasta 2048 (Elaboración propia).

El escenario recogido en la Ilustración 32 va un paso más lejos y resulta también más optimista, considerando que los aceites usados y los residuos energéticos se empleen solo hasta el año 2030. A partir de este momento y hasta el final del proyecto las microalgas serían la materia prima empleada en la producción. Con todo ello, una vez más los resultados económicos son favorables, siendo positivos a partir del año 2040 y reportando un beneficio neto cercano a los 870 millones de euros en el año 2048.

Es posible que este escenario se considere excesivamente optimista, y que incluso haya quienes piensen que pudiendo utilizar los aceites usados no es necesario recurrir a las microalgas. Sin embargo, la cantidad de aceites disponible para la producción de biocombustibles no es tan extensa y podría limitar la capacidad de producción. Por su parte, la utilización residuos energéticos esta atada a la disponibilidad de terrenos en los que llevar a cabo su crecimiento, sustituyendo los actuales cultivos alimenticios o ganaderos.

(millones de €)	2023	2030	2040	2048
<b>Ventas</b>		€638	€701	€765
<b>COGS</b>		€141	€276	€124
<i>Materia Prima</i>		€127	€265	€119
<i>Químicos</i>		€15	€11	€5
<b>Margen Bruto</b>		€496	€425	€641
<b>Gastos de Explotación</b>		€158	€121	€54
<i>Agua</i>		€2	€1	€1
<i>Electricidad</i>		€27	€21	€9
<i>Mantenimiento</i>		€5	€4	€2
<i>Transporte</i>		€10	€8	€4
<i>Mano de Obra</i>		€106	€82	€37
<i>Otros</i>		€7	€6	€3
<b>Depreciación</b>		€48	€48	€48
<b>EBIT</b>		€290	€256	€539
<i>Intereses</i>		€30	€30	€30
<b>Resultado (Antes de Impuestos)</b>		€260	€226	€509
<i>Impuestos</i>		€82	€71	€160
<b>Resultado (Después de Impuestos)</b>	-€1,200	€178	€155	€349
		Rate 7.71%	7.71%	7.71%
		NPV (€ 244,185,335.02)	€ 335,937,236.92	€ 867,634,173.87

Ilustración 32: Cuenta de pérdidas y ganancias empleando materia prima de 2ª generación hasta 2030 y de 3ª generación desde 2031 hasta 2048 (Elaboración propia).

Todos los escenarios considerados no son solo económicamente viables si no que reportan beneficios extraordinarios. Los precios de venta establecidos durante los distintos periodos no parecen, para nada, demasiado elevados. Es más, teniendo en cuenta la inflación actual y la situación geopolítica tanto en Rusia como en Oriente Próximo, es posible que los carburantes sufran subidas mayores de las estimadas. En cuanto a los costes de producción, las reducciones previstas son algo optimistas, pero en todos los escenarios se han hecho siguiendo los pronósticos elaborados por el Centro Nacional de Energías Renovables y se ha mantenido un cierto margen asociado a la volatilidad de los precios en el largo plazo.

Los costes de mantenimiento, transporte o mano de obra siguen la línea establecida por la Universidad de Iowa. En cuanto al número de empleados y la inversión inicial, se han tomado los valores que la propia Cepsa ha presentado, por lo que no hay lugar a duda. Los intereses y la tasa de impuestos, aunque no aparezcan directamente en sus resultados anuales, se han tomado también de los documentos publicados por la propia empresa petroquímica.

Con todo ello, parece razonable afirmar que económicamente los biocombustibles son una opción muy atractiva y viable, tanto desde el punto de vista del consumidor como desde el del productor. Los márgenes calculados para una planta como la de Huelva permiten que las empresas productoras como Cepsa cuenten con un colchón que les permita asumir el incremento en el precio de las materias primas en caso de ser necesario. Además, este margen les permite sustituir las materias primas tradicionalmente empleadas para la producción de combustibles de 1ª generación, por aquellas que les dan la certificación de biocombustibles avanzados, o incluso, por microalgas.

Desde el punto de vista del consumidor, los biocombustibles también son una opción a tener en cuenta. Las modificaciones necesarias a realizar en los vehículos son nulas, la diferencia en el coste con respecto a los combustibles fósiles tradicionales es prácticamente inexistente y son más baratos que otras opciones renovables como el hidrógeno. Sin embargo, aunque el precio por litro de combustible sea prácticamente idéntico que para los carburantes tradicionales, donde el consumidor final notará la diferencia es en la autonomía de cada depósito debido al menor poder calorífico de estos combustibles.

## Capítulo 6. CONCLUSIONES

El extraordinario aumento de las temperaturas, las cada vez más habituales inclemencias climáticas o los crecientes problemas respiratorios en la población han llevado a gobiernos de todo el mundo a decretar nuevas legislaciones y normativas que fomentan el cuidado del medioambiente y la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero. En este contexto, la Unión Europea aprueba en el año 2021 la Ley Europea del Clima con el objetivo de alcanzar la neutralidad climática en el año 2050. Además, establece como eslabón intermedio la reducción de al menos un 55% en las emisiones netas de gases de efecto invernadero para el año 2030 con respecto a 1990. En línea con los objetivos establecidos desde Europa, España formula en 2020 su Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC) 2021-2030, en el que se recogen los objetivos fijados a nivel nacional y las medidas que se van a llevar a cabo para lograrlo.

Con un consumo del 43% de la demanda energética total, el sector transporte supone un 27% de las emisiones de CO<sub>2</sub> emitidas en nuestro país según el CENER. La descarbonización de este sector parece por tanto algo fundamental, y entre las medidas recogidas en el PNIEC destaca la implantación de un 28% de energía renovable en el transporte a través de la electrificación y los biocarburantes. Para ello, y a pesar de las constantes críticas tanto a la autonomía real de los vehículos como a la infraestructura de los puntos de carga, la electrificación de los vehículos ligeros es necesaria. Sin embargo, existen otros sectores de la industria del transporte donde la electrificación no es una opción debido a la menor densidad energética y a las limitaciones de las baterías. Así, el transporte pesado por carretera, el transporte aéreo y el transporte marítimo, y en ocasiones los vehículos ligeros, se van a ver obligados a recurrir a los biocarburantes para reducir sus emisiones. Esto hace que se espere un incremento exponencial en la demanda de este tipo de combustibles. Para poder garantizar el suministro tras el incremento potencial esperado es necesario que la red nacional cuente con capacidad de producción suficiente.

En la actualidad nuestro país cuenta con las instalaciones necesarias para producir 4.800.000 m<sup>3</sup> de biocombustibles. Los escenarios elaborados tras el análisis de la demanda de los últimos años, el estudio de la línea de tendencia actual y los pronósticos realizados a nivel global por Agencia Internacional de la Energía han permitido estimar una demanda para el año 2030 de entre 3.900.000 y 4.600.000 m<sup>3</sup>, y para el año 2050 de entre 5.700.000 y 6.500.000 m<sup>3</sup>. Por lo tanto, la demanda estimada en el corto plazo podrá ser suministrada con la infraestructura actual. Además, se debe tener en cuenta que, en línea con la tendencia global (Ilustración 33), en nuestro país se están construyendo dos grandes proyectos que sumarán a la red una capacidad conjunta de 850.000 m<sup>3</sup>. Una vez que estas dos nuevas instalaciones entren en funcionamiento la brecha que aún quedará por cubrir ascenderá, aproximadamente, hasta los 800.000 m<sup>3</sup>. Es decir, lo equivalente a otros dos grandes proyectos similares a los que actualmente están desarrollando Cepsa y Repsol.

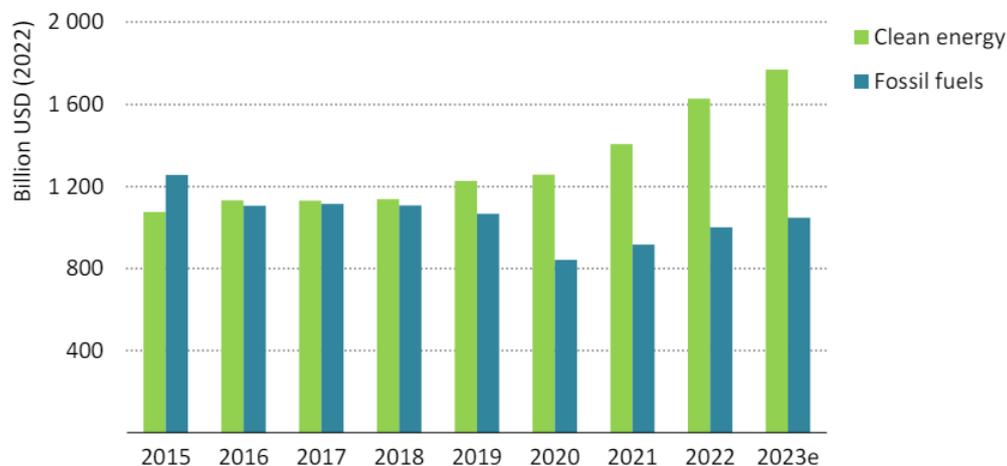


Ilustración 33: Inversión global en energía (IEA – WEO 2023).

Cabe destacar que no solo es necesario fomentar la construcción de nuevas instalaciones que permitan garantizar el suministro. Nuevas directrices, impulsadas de nuevo por la Unión Europea, obligan a las empresas petroquímicas a evitar la utilización de los cultivos alimenticios como materia prima para la producción de biocarburantes. El objetivo es evitar que una mayor demanda de estos cultivos con la finalidad de producir carburantes traiga

consigo un incremento en el precio de los alimentos. Sin embargo, esto ha hecho que los productores asiáticos se beneficien de la situación y exporten sus biocarburantes al viejo continente. Aprovechándose del menor precio de venta ligado a un coste menor en las materias primas, han obligado a las productoras nacionales a echar el cierre. Por tanto, antes de atraer a productores a construir nuevas plantas en nuestro país, es necesario que se elabore una normativa a nivel internacional que garantice que todo el biocombustible utilizado haya sido producido siguiendo las mismas normativas.

Como se ha mencionado anteriormente, los biocombustibles no son la única opción posible para hacer frente a las crecientes restricciones, aunque cuentan con dos grandes ventajas con respecto al resto de vectores energéticos, ya que por un lado pueden ser utilizados sin modificar, o modificando solo ligeramente, los motores de combustión actuales, y por otro, pueden utilizar la infraestructura actual de gasolineras para su distribución. Se debe tener en cuenta también el impacto monetario sobre el bolsillo del consumidor. En términos económicos su precio por litro es muy similar al de los combustibles tradicionales. El modelo elaborado estima unos precios por litro de entre 1,50 € en 2024 y 1,80 € en 2048. Sin embargo, debe tenerse en cuenta un parámetro fundamental, que es su menor poder calorífico. Esto impactará negativamente a la autonomía del vehículo, obligando al usuario a repostar un mayor número de veces y haciendo, por tanto, un desembolso mayor en comparación con los vehículos de combustión tradicionales.

Además, como con cualquier producto, debe tenerse en cuenta si es o no rentable para el productor. A pesar de que las perspectivas de mercado son prometedoras, los costes asociados a una tecnología tan prematura son altos y los precios de las materias primas empleadas tienen una volatilidad muy elevada, recientemente asociada tanto a la pandemia Covid-19 como a la guerra entre Ucrania y Rusia. Sin embargo, tras la elaboración de un modelo económico para una planta similar a la que está llevando a cabo actualmente Cepsa en Palos de la Frontera, se puede afirmar que los márgenes son suficientemente altos como para asumir ambos términos. En cualquier caso, la empresa petroquímica productora contará con un beneficio económico extraordinario teniendo en cuenta que el incremento en la demanda dará lugar a estudios e investigaciones que desarrollen todavía más los procesos de

producción, permitiendo así reducir los costes asociados. Así, y aun empleando como materias primas las microalgas más costosas, se puede obtener un valor presente neto que asciende hasta los 74 millones de euros si el proyecto se extiende durante 25 años.

Se puede concluir por tanto que los biocombustibles son una opción prometedora para alcanzar los objetivos de descarbonización establecidos por la Unión Europea. La necesidad de descarbonizar el transporte pesado, unido a su fácil aplicación en los motores de combustión tradicionales y a la red de distribución actual lo convierten en el candidato idóneo. Además, económicamente no tienen un impacto negativo sobre el consumidor más lejos de su menor contenido energético, al tener un precio muy similar al de los combustibles fósiles habituales. Desde el punto de vista de la producción, los márgenes son más que suficientes para poder cubrir el mayor coste de producción asociado al menor desarrollo tecnológico asociado y la elevada volatilidad en el precio de las materias primas empleadas.

A nivel nacional, debe tenerse en cuenta que las instalaciones actuales permiten cubrir la demanda en el corto plazo, pero para poder alcanzar los objetivos establecidos para el año 2050 será necesario aumentar la capacidad de producción. Por último, la gran cantidad de residuos agrícolas generados en nuestro país lo sitúan en una posición estratégica para beneficiarse del potencial de estos combustibles, fomentando además la economía local y la repoblación de las zonas rurales.

## Capítulo 7. BIBLIOGRAFÍA

- [1] AEH2. (s.f.). "Asociación Española del Hidrógeno". Recuperado de <https://aeh2.org>
- [2] Agencia Internacional de Energía (AIE). (2023). "World Energy Outlook 2023". Recuperado de <https://iea.blob.core.windows.net/assets/86ede39e-4436-42d7-ba2a-edf61467e070/WorldEnergyOutlook2023.pdf>
- [3] Agencia Internacional de Energía Renovable (IRENA). (s.f.). "Biocombustibles". Recuperado de <https://www.irena.org/es/galleries/presentations/2016/feb/biofuels>
- [4] Álvarez-Méndez, C. (s.f.). "Políticas de Biocombustibles en España". Economía Informa, (359). Recuperado de <http://www.economia.unam.mx/publicaciones/econinforma/pdfs/359/04carlosalvarez.pdf>
- [5] APPA. (s.f.). "APPA - Asociación de Empresas de Energías Renovables". Recuperado de <https://www.appa.es/appa-biocarburantes/>
- [6] Asociación de Empresas de Energías Renovables (APPA). (s.f.). "Biocarburantes". Recuperado de <https://www.appa.es/biocarburantes/>
- [7] Asociación Española de Biocarburantes (AEBIO). (s.f.). "Biocombustibles". Recuperado de <https://aebiom.org/>
- [8] Asociación Española de Empresas de Pellets (AEFCC). (s.f.). "El Gobierno mantiene para 2023 la reducción de IVA al 5% de la leña y el pellet". Recuperado de <https://www.aefcc.es/el-gobierno-mantiene-para-2023-la-reduccion-de-iva-al-5-de-la-leña-y-el-pellet/>
- [9] Asociación Española de Valorización Energética de la Biomasa (AVEBIOM). (s.f.). "Más de 165 fábricas de biocombustibles sólidos en España". Recuperado de <https://www.avebiom.org/index.php/biomasanews/pellets-y-otros-biocombustibles/mas-de-165-fabricas-de-biocombustibles-solidos-en-Espana>
- [10] Asociación Española del Hidrógeno (AEH2). (s.f.). Recuperado de <https://aeh2.org>

- [11] BBVA. (s.f.). "¿Qué es el biogás, cómo se obtiene y para qué se utiliza?". Recuperado de <https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/que-es-el-biogas-como-se-obtiene-y-para-que-se-utiliza/>
- [12] BBVA. (s.f.). "¿Qué son los biocombustibles? Una alternativa sostenible". Recuperado de <https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/que-son-los-biocombustibles-una-alternativa-sostenible/>
- [13] Bolsa de Cereales. (s.f.). Precios internacionales. Recuperado de <https://www.bolsadecereales.com/precios-internacionales>
- [14] Businesseurope. (2021, marzo 24). "Alternative fuels for aviation and maritime". Recuperado de [https://www.businesseurope.eu/sites/buseur/files/media/position\\_papers/iaco/2021-03-24\\_pp\\_alternative\\_fuels\\_aviation\\_and\\_maritime.pdf#:~:URL%3A%20https%3A%2F%2Fwww.businesseurope.eu%2Fsites%2Fbuseur%2Ffiles%2Fmedia%2Fposition\\_papers%2Fiaco%2F2021](https://www.businesseurope.eu/sites/buseur/files/media/position_papers/iaco/2021-03-24_pp_alternative_fuels_aviation_and_maritime.pdf#:~:URL%3A%20https%3A%2F%2Fwww.businesseurope.eu%2Fsites%2Fbuseur%2Ffiles%2Fmedia%2Fposition_papers%2Fiaco%2F2021)
- [15] Centro de Investigación de Energía Solar y Hidrógeno (CIESOL). (s.f.). "Biocombustibles". Recuperado de <https://www.ciesol.es/es/biocombustibles.html>
- [16] Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR). (s.f.). "Biodiesel a partir de microalgas: Aspectos clave y perspectivas". Recuperado de <https://www.ciba.org.mx/index.php/CIBA/article/view/50/209>
- [17] Centro Nacional de Energías Renovables (CENER). (2021, junio). "Biogás: El aprovechamiento energético de los residuos orgánicos". Recuperado de <https://www.cener.com/wp-content/uploads/2021/06/Articulo-CENER-en-INDUSTRIA-QUIMICA.pdf>
- [18] CEPSA. (s.f.). "Biocombustibles". Recuperado de <https://www.cepsa.com/es/negocios/commercial-cleanenergies/biocombustibles>
- [19] CEPSA. (s.f.). "Biocombustibles". Recuperado de <https://www.cepsa.com/stfls/corporativo/FICHEROS/biocombustibles-presskit.pdf>
- [20] Cepsa. (s.f.). "Biofuels at Cepsa". Recuperado de <https://www.cepsa.com/en/businesses/commercial-clean-energies/biofuels/biofuels-at-cepsa>

- [21] Cepsa. (s.f.). "Cepsa y Bio-Oils construyen la mayor planta de biocombustibles 2G". Recuperado de <https://www.cepsa.com/es/prensa/cepsa-y-bio-oils-construyen-la-mayor-planta-de-biocombustibles-2g>
- [22] Cepsa. Información económica trimestral. Recuperado de <https://www.cepsa.com/es/inversores/informacion-economica-trimestral>
- [23] CEUPE. (s.f.). "¿Qué es la transesterificación?". Recuperado de <https://www.ceupe.com/blog/que-es-la-transesterificacion.html>
- [24] Cinco Días (El País). (2023, junio 28). "Claves del nuevo PNIEC: 46 nuevas medidas, inversiones por 294.000 millones y 522.000 empleos adicionales para 2030". Recuperado de <https://cincodias.elpais.com/companias/2023-06-28/claves-del-nuevo-pniec-46-nuevas-medidas-inversiones-por-294000-millones-y-522000-empleos-adicionales-para-2030.html>
- [25] Clickgasoil. La media de precios de Biodiesel. Recuperado de <https://www.clickgasoil.com/c/precio-biodiesel#:~:text=La%20media%20de%20precios%20de,euros%20el%20litro%20de%20Biodiesel.>
- [26] CNE. Tarificación hidrocarburos. Recuperado de <https://www.cne.cl/tarificacion/hidrocarburos/>
- [27] CNMC. Estadística de biocarburantes. Recuperado de <https://www.cnmc.es/estadistica/estadistica-de-biocarburantes>
- [28] Comisión Europea - Energía. (2023, junio 5). "Secondary legislation clarifies contribution of biofuels to renewables target in transport". Recuperado de [https://energy.ec.europa.eu/news/secondary-legislation-clarifies-contribution-biofuels-renewables-target-transport-2023-06-05\\_en](https://energy.ec.europa.eu/news/secondary-legislation-clarifies-contribution-biofuels-renewables-target-transport-2023-06-05_en)
- [29] Comisión Europea. (s.f.). "EU Emissions Trading System (EU ETS)". Recuperado de [https://climate.ec.europa.eu/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets/what-eu-ets\\_en](https://climate.ec.europa.eu/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets/what-eu-ets_en)
- [30] Comisión Europea. (s.f.). "European Climate Law". Recuperado de [https://climate.ec.europa.eu/eu-action/european-climate-law\\_es](https://climate.ec.europa.eu/eu-action/european-climate-law_es)

- [31] Comisión Europea. (s.f.). "Preguntas y respuestas: Fit for 55". Recuperado de [https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/es/qanda\\_20\\_336](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/es/qanda_20_336)
- [32] Comparadorluz. Precio KWh. Recuperado de <https://comparadorluz.com/tarifas/precio-kwh>
- [33] Comunidad de Madrid. (14 de diciembre de 2022). Díaz Ayuso anuncia que en 2023 las tarifas del agua en la Comunidad de Madrid seguirán congeladas por octavo año consecutivo. Recuperado de <https://www.comunidad.madrid/noticias/2022/12/14/diaz-ayuso-anuncia-2023-tarifas-agua-comunidad-madrid-seguiran-congeladas-octavo-ano-consecutivo>
- [34] Consejo de la Unión Europea. (s.f.). "Fit for 55". Recuperado de <https://www.consilium.europa.eu/es/policies/green-deal/fit-for-55/#what>
- [35] Consejo de la Unión Europea. (s.f.). "Fit for 55: Cómo la UE convertirá los objetivos climáticos en ley". Recuperado de <https://www.consilium.europa.eu/es/infographics/fit-for-55-how-the-eu-will-turn-climate-goals-into-law/>
- [36] Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC). (s.f.). "El Acuerdo de París". Recuperado de <https://unfccc.int/es/acerca-de-las-ndc/el-acuerdo-de-paris#:~:El%20Acuerdo%20de%20Par%C3%ADs%20es,4%20de%20noviembre%20de%202016>
- [37] Cordis. (s.f.). Cost-effective widespread biofuels production. Recuperado de <https://cordis.europa.eu/article/id/435649-cost-effective-widespread-biofuels-production/es>
- [38] Ecologistas en Acción. (2019, diciembre). "Informe Bioenergía en España". Recuperado de <https://www.ecologistasenaccion.org/wp-content/uploads/2019/12/informe-bioenergia-en-espana.pdf>
- [39] e-ficiencia. (s.f.). "El Gobierno mantiene el IVA reducido para pellets en 2023". Recuperado de <https://e-ficiencia.com/gobierno-mantiene-iva-reducido-para-pellets-2023/>

- [40] El Economista. (2023, marzo 23). "Porsche, Repsol o el interés en producir combustibles sintéticos". Recuperado de <https://www.eleconomista.es/motor/noticias/12189750/03/23/Porsche-Repsol-o-el-interes-en-producir-combustibles-sinteticos.html>
- [41] El Economista. (2024, enero 24). "El primer gran buque con metanol verde empezará a navegar en febrero". Recuperado de <https://www.eleconomista.es/energia/noticias/12638111/01/24/el-primer-gran-buque-con-metanol-verde-empezara-a-navegar-en-febrero.html>
- [42] El Español. (2024, febrero 4). "España liderará la producción de hidrógeno verde en Europa". Recuperado de [https://www.elespanol.com/invertia/empresas/energia/20240204/espana-liderara-produccion-hidrogeno-verde-europa-creacion-empleo-vinculado-actividad/830167020\\_0.html](https://www.elespanol.com/invertia/empresas/energia/20240204/espana-liderara-produccion-hidrogeno-verde-europa-creacion-empleo-vinculado-actividad/830167020_0.html)
- [43] El País - Motor. (s.f.). "El Gobierno mantiene su objetivo sobre los vehículos eléctricos". Recuperado de <https://motor.elpais.com/coches-electricos/el-gobierno-mantiene-su-objetivo-sobre-los-vehiculos-electricos/>
- [44] El País. (2022, octubre 24). "Solo el 13% de las ciudades cumplirá su obligación de tener zonas de bajas emisiones antes de 2023". Recuperado de <https://elpais.com/clima-y-medio-ambiente/2022-10-24/solo-el-13-de-las-ciudades-cumplira-su-obligacion-de-tener-zonas-de-bajas-emisiones-antes-de-2023.html#>
- [45] El Periódico de la Energía. (s.f.). "Examen a los PNIEC: la UE no alcanzará el objetivo de energías renovables para 2030". Recuperado de <https://elperiodicodelaenergia.com/examen-a-los-pniec-la-ue-no-alcanzara-el-objetivo-de-energias-renovables-para-2030/>
- [46] El Periódico de la Energía. (s.f.). "Los biocarburantes consumidos en España en 2022, récord de ahorro medio de emisiones de GEI". Recuperado de <https://elperiodicodelaenergia.com/biocarburantes-consumidos-espana-2022-record-ahorro-medio-emisiones-gei/>
- [47] El Periódico Extremadura. (12 de junio de 2006). Producir un litro de biodiesel cuesta alrededor de un euro. Recuperado de

<https://www.elperiodicoextremadura.com/lo-ultimo/2006/06/12/producir-litro-biodiesel-cuesta-alrededor-45449189.html>

- [48] Elyse Energy. (s.f.). "Fischer-Tropsch". Recuperado de <https://elyse.energy/es/nuestras-tecnolog%C3%ADas/fischer-tropsch>
- [49] Ember. (s.f.). "Ember Climate". Recuperado de <https://ember-climate.org/>
- [50] Energía y Pericia (EPE). (2023, mayo 18). "La producción de biocombustibles se acelera a la espera de regulación". Recuperado de <https://www.epe.es/es/activos/20230518/produccion-biocombustibles-acelera-espera-regulacion-87556382>
- [51] Energías Renovables. (2023, mayo 29). "Las plantas de biodiésel en España están preparadas para el futuro". Recuperado de <https://www.energias-renovables.com/bioenergia/las-plantas-de-biodiesel-en-espana-estan-20230529>
- [52] Energías Renovables. (s.f.). "Así han crecido los objetivos del nuevo PNIEC". Recuperado de <https://www.energias-renovables.com/panorama/asi-han-crecido-los-objetivos-del-nuevo-20230719>
- [53] Energías Renovables. (s.f.). "Los biocarburantes alcanzaron el récord de ahorro". Recuperado de <https://www.energias-renovables.com/bioenergia/los-biocarburantes-alcanzaron-el-record-de-ahorro-20240314>
- [54] EUR-Lex. (2023). "Regulation (EU) 2023/1640 of the European Parliament and of the Council of 18 September 2023 on the contribution of biofuels to the renewable energy targets for the Union, amending Directive (EU) 2018/2001 of the European Parliament and of the Council and repealing Regulation (EU) No 1307/2013 of the European Parliament and of the Council". Recuperado de <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32023R1640>
- [55] European Technology and Innovation Platform Bioenergy (ETIP Bioenergy). (s.f.). "Biobutanol". Recuperado de <https://www.etipbioenergy.eu/value-chains/products-end-use/products/biobutanol>
- [56] European Waste-to-Advanced Biofuels Association (EWABA). (2023). "Annual Report 2023". Recuperado de

- [https://www.ewaba.eu/uploads/resources/EWABA\\_annual\\_reporta4\\_2023\\_publicversion.pdf](https://www.ewaba.eu/uploads/resources/EWABA_annual_reporta4_2023_publicversion.pdf)
- [57] European Waste-to-Advanced Biofuels Association (EWABA). (s.f.). Recuperado de <https://www.ewaba.eu/>
- [58] Eurostat. (s.f.). "Data Explorer". Recuperado de [https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/nrg\\_inf\\_lbpc/default/table?lang=en](https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/nrg_inf_lbpc/default/table?lang=en)
- [59] Expansión. (2024, mayo 27). "Los biocarburantes más sostenibles, una solución para el transporte limpio". Recuperado de <https://www.expansion.com/empresas/motor/2024/05/27/6650bae7468aeb3d258b4590.html>
- [60] Extension Iowa State University. (s.f.). Economics of biodiesel production. Recuperado de <https://www.extension.iastate.edu/agdm/energy/html/d1-15.html>
- [61] Farmdocdaily. (2023). The biodiesel profitability squeeze. Recuperado de <https://farmdocdaily.illinois.edu/2023/05/the-biodiesel-profitability-squeeze.html>
- [62] Farmdocdaily. (marzo de 2024). Biodiesel prices and profits again. Recuperado de <https://farmdocdaily.illinois.edu/2024/03/biodiesel-prices-and-profits-again.html>
- [63] Farmdocdaily. (noviembre de 2023). The biodiesel profitability squeeze that wasn't. Recuperado de <https://farmdocdaily.illinois.edu/2023/11/the-biodiesel-profitability-squeeze-that-wasnt.html>
- [64] Ferrovial. (s.f.). "Biogás". Recuperado de <https://www.ferrovial.com/es/recursos/biogas/>
- [65] Ford Motor Company. (s.f.). "The Model T". Recuperado de <https://corporate.ford.com/articles/history/the-model-t.html>
- [66] Goodyear. (s.f.). "Biocombustibles". Recuperado de [https://kilometrosquecuentan.goodyear.eu/biocombustibles/](https://kilometrosque cuentan.goodyear.eu/biocombustibles/)
- [67] Grand View Research. (s.f.). "Biodiesel Market Size, Share & Trends Analysis Report By Feedstock (Vegetable Oil, Animal Fat), By Application, By Region, And Segment Forecasts, 2020 - 2027". Recuperado de <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/biodiesel-market>

- [68] Grant Thornton. (s.f.). "España tiene uno de los parques automovilísticos más envejecidos de Europa y necesita llegar en 2030 a 5 millones de vehículos eléctricos". Recuperado de <https://www.grantthornton.es/sala-de-prensa/2022/espana-tiene-uno-de-los-parques-automovilisticos-mas-envejecidos-de-europa-y-necesita-llegar-en-2030-a-5-millones-de-vehiculos-electricos/>
- [69] H2 Business News. (s.f.). "Estos son los biocombustibles más utilizados en la actualidad". Recuperado de <https://h2businessnews.com/estos-son-los-biocombustibles-mas-utilizados-en-la-actualidad/>
- [70] H2 Business News. Nuevo estudio: Los biocombustibles son 130% más costosos que los combustibles fósiles. Recuperado de <https://h2businessnews.com/nuevo-estudio-los-biocombustibles-son-130-mas-costosos-que-los-combustibles-fosiles/>
- [71] Híbridos y Eléctricos. (s.f.). "El Gobierno fija un objetivo para España de 5 millones de coches eléctricos en 2030". Recuperado de [https://www.hibridosyelectricos.com/coches/gobierno-fija-objetivo-espana-millones-coches-electricos-2030\\_31351\\_102.html](https://www.hibridosyelectricos.com/coches/gobierno-fija-objetivo-espana-millones-coches-electricos-2030_31351_102.html)
- [72] Iberdrola. (s.f.). "Impacts of Climate Change". Recuperado de <https://www.iberdrola.com/sustainability/impacts-of-climate-change>
- [73] Iberdrola. (s.f.). "Puertollano, la planta de hidrógeno verde". Recuperado de <https://www.iberdrola.com/conocenos/nuestra-actividad/hidrogeno-verde/puertollano-planta-hidrogeno-verde>
- [74] Instituto de Biotecnología, UNAM. (s.f.). "Producción de biodiésel a partir de microalgas". Recuperado de [https://biotecmov.ibt.unam.mx/numeros/27/PDFs/bm\\_27\\_4.pdf](https://biotecmov.ibt.unam.mx/numeros/27/PDFs/bm_27_4.pdf)
- [75] Instituto Nacional de Estadística (INE). (s.f.). "Base de Datos". Recuperado de [https://www.ine.es/jaxi/Datos.htm?tpx=31411#\\_tabs-tabla](https://www.ine.es/jaxi/Datos.htm?tpx=31411#_tabs-tabla)
- [76] Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE). (s.f.). "Biocombustibles". Recuperado de <https://www.idae.es/biocombustibles>
- [77] Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE). (s.f.). "El MITECO abre una convocatoria de ayudas de 150 millones para instalaciones de

- biogás". Recuperado de <https://www.idae.es/noticias/el-miteco-abre-una-convocatoria-de-ayudas-de-150-millones-para-instalaciones-de-biogas>
- [78] Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE). (s.f.). "Biocarburantes". Recuperado de <https://www.idae.es/biocarburantes>
- [79] Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE). (s.f.). "Biocarburantes". Recuperado de <https://www.idae.es/biocarburantes>
- [80] Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE). (s.f.). "Biogás". Recuperado de <https://www.idae.es/tecnologias/energias-renovables/uso-termico/biogas>
- [81] Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE). (s.f.). "El Biogás en España". Recuperado de [https://www.idae.es/sites/default/files/documentos/publicaciones\\_idae/documentos\\_11227\\_e16\\_biogas\\_db43a675.pdf](https://www.idae.es/sites/default/files/documentos/publicaciones_idae/documentos_11227_e16_biogas_db43a675.pdf)
- [82] International Energy Agency (IEA). (s.f.). "Net Zero Emissions by 2050". Recuperado de <https://www.iea.org/reports/global-energy-and-climate-model/net-zero-emissions-by-2050-scenario-nze>
- [83] Irena. (s.f.). Transportation costs: Biodiesel. Recuperado de <https://www.irena.org/Energy-Transition/Technology/Transportation-costs/Biodiesel>
- [84] ITEC. (s.f.). "Todos contra el cambio climático: los ODS y el objetivo 2050". Recuperado de <https://itec.es/infoitec/sostenibilidad/todos-contra-el-cambio-climatico-los-ods-y-el-objetivo-2050/>
- [85] La Vanguardia. (2022, diciembre 27). "Estas son las nuevas ciudades con zonas de bajas emisiones en 2023". Recuperado de <https://www.lavanguardia.com/motor/movilidad/20221227/8652460/nuevas-ciudades-zonas-bajas-em>
- [86] Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO). (s.f.). "La Unión Europea". Recuperado de <https://www.miteco.gob.es/en/cambio-climatico/temas/el-proceso-internacional-de-lucha-contra-el-cambio-climatico/la-union-europea.html>

- [87] Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO). (2023, junio). "El Gobierno incrementa la ambición del Plan Nacional Integrado de Energía y Clima". Recuperado de [https://www.miteco.gob.es/eu/prensa/ultimas-noticias/2023/06/el\\_gobierno\\_incrementalaambiciondelplannacionalintegradoeenergi.html](https://www.miteco.gob.es/eu/prensa/ultimas-noticias/2023/06/el_gobierno_incrementalaambiciondelplannacionalintegradoeenergi.html)
- [88] Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO). (s.f.). "Biocarburantes". Recuperado de <https://www.miteco.gob.es/es/energia/hidrocarburos-nuevos-combustibles/biocarburantes.html>
- [89] Morales, M., Gómez, A., & Torres, E. (2017). "Manual de Biorrefinerías en España". Sustainable and Renewable Energy Sources. Recuperado de [https://www.suschemes.org/docum/pb/2017/publicaciones/Manual\\_de\\_Biorrefinerias\\_en\\_Espana\\_feb\\_2017.pdf](https://www.suschemes.org/docum/pb/2017/publicaciones/Manual_de_Biorrefinerias_en_Espana_feb_2017.pdf)
- [90] National Geographic. (s.f.). "¿Qué son los biocombustibles?". Recuperado de <https://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/que-son-los-biocombustibles>
- [91] Noticias Jurídicas. (s.f.). "Aprobada la Ley de Cambio Climático y Transición Energética". Recuperado de <https://noticias.juridicas.com/actualidad/noticias/16300-aprobada-la-ley-de-cambio-climatico-y-transicion-energetica/>
- [92] Organización de las Naciones Unidas (ONU). (s.f.). "Objetivos de Desarrollo Sostenible". Recuperado de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
- [93] Our World in Data. (s.f.). "Global Energy". Recuperado de <https://ourworldindata.org/global-energy-200-years>
- [94] Real Academia Española. (s.f.). "Definición de biocombustible". Recuperado de <https://dle.rae.es/biocombustible#>
- [95] Repsol. (2024). "Repsol comienza la producción a gran escala de combustibles renovables en Cartagena". Recuperado de <https://www.repsol.com/es/sala-prensa/notas-prensa/2024/repsolcomienza-produccion-gran>
- [96] Repsol. (s.f.). "Biodiesel". Recuperado de <https://www.repsol.com/es/energia-futuro/movilidad->

- [sostenible/biodiesel/index.cshtml#:~=Se%20elabora%20a%20partir%20del,primas%20destinadas%20a%20producir%20biodi%C3%A9sel](#)
- [97] Repsol. (s.f.). "Bioetanol". Recuperado de <https://www.repsol.com/es/energia-futuro/movilidad-sostenible/bioetanol/index.cshtml>
- [98] Repsol. (s.f.). "Biogás". Recuperado de <https://www.repsol.com/es/energia-futuro/movilidad-sostenible/biogas/index.cshtml#:~=El%20biog%C3%A1s%20es%20un%20tipo,posible%20obtener%20este%20biocombustible%20avanzado>
- [99] Repsol. (s.f.). "Biometano". Recuperado de <https://www.repsol.com/es/energia-futuro/movilidadsostenible/biometano/index.cshtml>
- [100] Repsol. (s.f.). "Biometano". Recuperado de <https://www.repsol.com/es/energia-futuro/movilidad-sostenible/biometano/index.cshtml>
- [101] Repsol. (s.f.). "Biometano". Recuperado de <https://www.repsol.com/es/energia-futuro/movilidad-sostenible/biometano/index.cshtml>
- [102] Repsol. (s.f.). "Combustibles sintéticos". Recuperado de <https://www.repsol.com/es/tecnologiadigitalizacion/technologylab/movilidadsostenible/combustiblesinteticos/index.cshtml#:~=Los%20combustibles%20sint%C3%A9ticos%20se%20crean,de%20residuos%20animales%20y%20vegetales>
- [103] Repsol. (s.f.). "Parada 2021". Recuperado de <https://cartagena.repsol.es/es/actualidad/parada20211/index.cshtml>
- [104] Repsol. (s.f.). "Parada 2021". Recuperado de <https://cartagena.repsol.es/es/actualidad/parada-20211/index.cshtml>
- [105] Repsol. (s.f.). "Reducción de Emisiones". Recuperado de <https://www.repsol.com/es/tecnologiadigitalizacion/technology-lab/reduccion-emisiones/index.cshtml>
- [106] Revista Campo. (s.f.). "En España hay 163 centros de fabricación de biocombustibles sólidos". Recuperado de <https://www.revistacampo.es/portada-app/en-espana-hay-163-centros-de-fabricacion-de-biocombustibles-solidos/>

- [107] Revista Campo. (s.f.). "En España hay 163 centros de fabricación de biocombustibles sólidos". Recuperado de <https://www.revistacampo.es/portada-app/en-espana-hay-163-centros-de-fabricacion-de-biocombustibles-solidos/>
- [108] Revista de Investigación en Química. (s.f.). "Biocombustibles: una alternativa renovable para la movilidad sostenible". Recuperado de <https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/quim/article/download/11784/10542/41096#:~:Los%20biocombustibles%20de%20primera%20generación%20son%20producidos%20a%20partir%20de.países%20y%20con%20tecnologías%20convencionales>
- [109] Revista de Investigación para Jóvenes. (s.f.). "El Biobutanol como biocombustible". Recuperado de [https://revistas.unlp.edu.ar/InvJov/article/view/3882#:~:El%20Biobutanol%20es%20un%20biocombustible,butanol%20Detanol%20\(ABE\)](https://revistas.unlp.edu.ar/InvJov/article/view/3882#:~:El%20Biobutanol%20es%20un%20biocombustible,butanol%20Detanol%20(ABE))
- [110] Secretaría del Convenio Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. (s.f.). "El Acuerdo de París". Recuperado de <https://unfccc.int/es/acerca-de-las-ndc/el-acuerdo-de-paris>
- [111] Sedigas. (2023). "Informe sobre el potencial del biometano en España 2023". Recuperado de <https://estudio-biometano.sedigas.es/wp-content/uploads/2023/01/sedigas-informe-potencial-biometano-2023-resumen-ejecutivo.pdf>
- [112] Tecpa. (s.f.). "Biocombustibles". Recuperado de <https://www.tecpa.es/biocombustibles/>
- [113] Transport & Environment. (junio de 2022). Billions wasted on biofuels. Recuperado de [https://www.transportenvironment.org/uploads/files/202206\\_Billions\\_wasted\\_on\\_biofuels\\_TE.pdf](https://www.transportenvironment.org/uploads/files/202206_Billions_wasted_on_biofuels_TE.pdf)
- [114] Tribunal de Cuentas Europeo. (2023). "Informe Especial 29/2023: Energía en la Unión Europea: una transformación sostenible en proceso". Recuperado de [https://www.eca.europa.eu/ECAPublications/SR-2023-29/SR-2023-29\\_ES.pdf](https://www.eca.europa.eu/ECAPublications/SR-2023-29/SR-2023-29_ES.pdf)

- [115] Tribunal de Cuentas Europeo. (s.f.). "Publicaciones". Recuperado de <https://www.eca.europa.eu/es/publications?ref=SR-2023-29>
- [116] Universidad Pablo de Olavide. (s.f.). "Número 35". Recuperado de <https://www.upo.es/cms1/export/sites/upo/moleqla/documentos/Numero35/Destacado-1.pdf>
- [117] Wikipedia. (s.f.). "Fermentación". Recuperado de <https://es.wikipedia.org/wiki/Fermentaci%C3%B3n>
- [118] Wikipedia. (s.f.). "Proceso Fischer-Tropsch". Recuperado de [https://es.wikipedia.org/wiki/Proceso\\_Fischer-Tropsch](https://es.wikipedia.org/wiki/Proceso_Fischer-Tropsch)
- [119] Wikipedia. (s.f.). "Transesterificación". Recuperado de <https://es.wikipedia.org/wiki/Transesterificaci%C3%B3n>

## ANEXO I - ODS

Entre las principales aportaciones medioambientales y sociales de los biocarburantes, destacan los siguientes puntos:

- Reducción de emisiones de gases de efecto invernadero en el transporte. Los biocarburantes tienen el potencial de desempeñar un papel crucial, especialmente en la descarbonización del transporte aéreo. La iniciativa ‘*RefuelEU Aviation*’ pretende alcanzar un uso del 2% en 2025, del 5% en 2030 y del 63% en 2050 en la UE.
- Mejora de la calidad del aire urbano. El biodiésel puede reducir hasta un 50% las emisiones de partículas y hasta un 70% las emisiones de hidrocarburos no quemados, lo que beneficia la salud pública y el medio ambiente en las áreas urbanas.
- Conservación de ecosistemas valiosos. La Directiva de Energías Renovables (DER) establece que las materias primas utilizadas para la producción de biocarburantes en la Unión Europea no deben provenir de tierras con altas reservas de carbono o con un alto valor en biodiversidad, lo que promueve la protección de los ecosistemas.
- Aprovechamiento de residuos potencialmente contaminantes. Los biocarburantes pueden elaborarse a partir de materias primas residuales, como los aceites de cocina usados y las grasas residuales, lo que permite su reutilización y evita su descarte en el medio ambiente, contribuyendo así a la gestión sostenible de los residuos.

Las referencias desde el punto de vista medioambiental expuestas en los cuatro puntos anteriores, así como los aspectos económicos reflejados durante la introducción y estado de la cuestión de este documento, sostienen el alineamiento que el desarrollo y utilización de biocombustibles presentan con los siguientes Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030:

- **ODS 7** - Energía asequible y no contaminante
- **ODS 8** - Trabajo decente y crecimiento económico
- **ODS 12** - Producción y consumo responsables
- **ODS 13** - Acción por el clima



Ilustración 34: Principales ODS alineados con el proyecto (Naciones Unidas).

