



COMILLAS

UNIVERSIDAD PONTIFICIA



Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales - ICADE

ANÁLISIS DE UNA ENERGÍA VERDE PARA UN FUTURO ENERGÉTICO SOSTENIBLE EN ESPAÑA: LOS BIOCOMBUSTIBLES

Autor: Javier Gutiérrez Aguilera

Directora: María Guadalupe Esteban Cerezo

Madrid | junio 2024

ÍNDICE

RESUMEN	3
PALABRAS CLAVE	3
ABSTRACT	4
KEYWORDS	4
1. INTRODUCCIÓN	5
2. MARCO TEÓRICO	6
2.1 Panorama energético español, especial foco en las energías renovables	6
2.1.1 CONCEPTUALIZACIÓN	6
2.1.2 APLICACIONES DE BIOCOMBUSTIBLES LÍQUIDOS EN DIFERENTES SECTORES	8
2.1.3 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS BIOCOMBUSTIBLES	9
2.1.4 CONTEXTO ENERGÉTICO ACTUAL EN ESPAÑA	11
2.1.5 EVOLUCIÓN DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES EN EL MIX ENERGÉTICO NACIONAL, EN PARTICULAR, LOS BIOCOMBUSTIBLES	13
2.2 Los biocombustibles en España	15
2.2.1 INTRODUCCIÓN AL CONTEXTO ESPAÑOL.....	15
2.2.2 ANÁLISIS DE LOS FACTORES QUE AFECTAN A LOS BIOCARBURANTES EN EL CONTEXTO ESPAÑOL: PESTEL	16
2.2.3 OPORTUNIDADES ÚNICAS Y AMENAZAS A SU DESARROLLO EN NUESTRO PAÍS: DAFO.....	22
2.3 Perspectiva económica	31
2.3.1 ANÁLISIS DE COSTES Y RENTABILIDAD DE LOS BIOCOMBUSTIBLES: COMPARACIÓN ECONÓMICA CON LOS COMBUSTIBLES FÓSILES.....	31
3. CONCLUSIÓN	33
4. BIBLIOGRAFÍA	39

RESUMEN

En el panorama energético actual, los biocombustibles representan una alternativa prometedora a los combustibles fósiles, ofreciendo una opción más sostenible y menos contaminante, así como una solución intermedia entre el abandono de los mismos y la adopción total de la electricidad como fuente principal de energía. Este trabajo aborda la situación actual de los biocombustibles, su precario desarrollo en España y las razones y los factores que podrían hacer de nuestro país una potencia productora de estos carburantes “verdes”.

Nuestro estudio se centra en la conceptualización y clasificación de los biocombustibles, detallando sus aplicaciones en diversos sectores y evaluando sus ventajas y desventajas frente a otras alternativas. Además, realizaremos un análisis exhaustivo del panorama energético español, con un enfoque especial en las energías renovables y la evolución de los biocombustibles en el mix energético nacional.

Junto a ello, desarrollaremos un análisis PESTEL para identificar los factores políticos, económicos, sociales, tecnológicos, ecológicos y legales que influyen en el desarrollo de los biocombustibles, así como un análisis DAFO para evaluar las oportunidades y amenazas que enfrenta este sector en el contexto energético de nuestro país.

Por último, profundizaremos en la rentabilidad y los costes de los biocombustibles en comparación con los combustibles fósiles, proporcionando una perspectiva económica detallada y presentando unas conclusiones fundamentadas cuyo objetivo final es ofrecer una visión clara y concisa sobre el potencial de los biocarburantes en España y su papel en un futuro energético sostenible.

PALABRAS CLAVE

Biocombustibles, combustibles fósiles, energías renovables, sostenibilidad, España.

ABSTRACT

In today's energy context, biofuels represent a promising alternative to fossil fuels, offering a more sustainable and less polluting option, as well as a trade-off between abandoning fossil fuels and fully adopting electricity as an energy source. This paper addresses the current situation of biofuels, their precarious development in Spain and the reasons and factors that could make our country a producer of these "green" fuels.

Our study focuses on the conceptualization and classification of biofuels, detailing their applications in various sectors and evaluating their advantages and disadvantages compared to other alternatives. In addition, we will carry out an exhaustive analysis of the Spanish energy context, with a special focus on renewable energies and the evolution of biofuels in the national energy mix.

Along with this, we will develop a PESTEL analysis to identify the political, economic, social, technological, ecological and legal factors that influence the development of biofuels, as well as a SWOT analysis to evaluate the opportunities and threats faced by this sector in our country.

Finally, we will go further into the study of the profitability and costs of biofuels compared to fossil fuels, providing a detailed economic perspective and presenting informed conclusions with ultimate goal of providing a clear and concise overview of the potential of biofuels in Spain and their role in a sustainable energy future.

KEYWORDS

Biofuels, fossil fuels, renewable energies, sustainability, Spain.

1. INTRODUCCIÓN

Este Trabajo de Fin de Grado aborda la precaria situación de los biocombustibles en España, profundizando en las razones que han frenado su desarrollo como alternativa a los combustible fósiles, analizando los factores que hacen que este país puede llegar a ser uno de los principales proveedores de materia prima para los biocombustibles y proporcionando propuestas para el desarrollo de este incipiente sector energético.

En un contexto global de progresivo abandono de los combustibles fósiles hacia energías verdes alternativas, los biocombustibles representan una atractiva oportunidad como sustitutivo de los mismos, constituyendo una suerte de punto intermedio entre el cambio total hacia la electricidad como motor de las sociedades y el mantenimiento de unas energías limitadas que dañan nuestro planeta. El profundo desconocimiento de estas interesantes fuentes de energías a nivel global, y particularmente en España, las hacen merecedoras de un análisis que permita a la sociedad conocer una segunda vía alternativa de las energías fósiles, que, a la par que atractivas, pueden llegar a constituir una industria estratégica clave para nuestro país.

Así pues, los objetivos de este trabajo incluyen el análisis del funcionamiento de estas fuentes de energía, la presentación de las razones económicas, políticas y estratégicas que las hacen interesantes sustitutas a las contaminantes energías actuales, y el porqué del atractivo de esta industria para España, así como la elaboración de propuestas para fomentar este sector.

Para ello, la metodología tiene un enfoque puramente cualitativo, realizándose múltiples análisis de las políticas y estrategias energéticas de España, de diversos estudios y trabajos científicos, así como de informes energéticos nacionales e internacionales

Se espera que las reflexiones realizadas en este trabajo no solo queden en el ámbito académico, sino que proporcionen una valiosa información al lector respecto a la existencia de otra energía alternativa a las fósiles, a la par que fomente su popularización en el actual contexto de transformación energética global.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Panorama energético español, especial foco en las energías renovables

2.1.1 CONCEPTUALIZACIÓN

El sector energético constituye un pilar fundamental en todos los estados modernos del mundo, incluye todas las industrias y actividades relacionadas con la producción, distribución y venta de energía en una sociedad, situándose, por lo tanto, como un área fundamental de toda sociedad avanzada. Este sector económico es la base para el desarrollo de la vida cotidiana de los individuos de un Estado, al ser vital para el funcionamiento de los hogares, las industrias, las oficinas, los medios de transporte, las comunicaciones y toda clase de servicios públicos. Podríamos decir sin ningún tipo de reparo, que se trata de la piedra angular de una sociedad.

Tradicionalmente, las energías que impulsaban la vida cotidiana de los individuos eran única y exclusivamente lo que llamamos energías fósiles, es decir, fuentes de energía no renovables provenientes del carbón, el petróleo, el gas natural y sus derivados, cuya combustión produce polución en forma de gases de efecto invernadero y provocan residuos contaminantes. Es por esto último que, a partir de la segunda mitad del siglo XX, especialmente a partir de la década de 1970, se comenzó el desarrollo de lo que llamamos las energías renovables, que son fuentes de energías que obtenidas a partir de recursos naturales que, como su nombre indica, se renuevan, tales como el sol, el viento, el agua o la biomasa. Las características diferenciales de estas últimas fuentes de energía son que se trata de fuentes inagotables, al renovarse continuamente, y el hecho de que su explotación produce una menor contaminación, y, por lo tanto, un menor impacto ambiental.

Tal y como mencionábamos, las energías renovables principales son la energía fotovoltaica, la eólica, la hidroeléctrica, la energía de la biomasa y la energía geotérmica. De entre todas estas energías, pondremos el foco en las energías de la biomasa, que es aquella producida a través de la combustión y gasificación de biomasa, consistiendo esta última en “la fracción biodegradable de los productos, desechos y residuos de origen biológico procedentes de actividades agrarias (incluidas las sustancias de origen vegetal y animal), de la silvicultura y de las industrias conexas, incluidas la pesca y la acuicultura, así como la fracción biodegradable de los residuos industriales y

municipales” (Dir. 2009/28/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, 23 de abril de 2009).

Así pues, los biocombustibles son carburantes líquidos o gaseosos obtenidos a partir de esta biomasa y producidos a partir de procesos químicos y físicos que llevan a la descomposición de las moléculas de estos productos y una fase posterior de refinamiento, como más adelante comentaremos.

En función de la materia prima empleada, así como de los procesos tecnológicos para la transformación de la misma, los biocombustibles pueden clasificarse en tres generaciones: Los biocombustibles de primera generación son aquellos que emplean como materia prima para su producción cultivos agrícolas alimentarios, como el maíz, la caña de azúcar o el aceite de palma. Por su parte, los biocombustibles de segunda generación son aquellos que, con el objetivo de paliar el posible impacto sobre los precios de los cultivos alimentarios que pueden producir su consumo para la producción energética, emplean residuos no comestibles de cultivos alimentarios, o residuos de industrias agroalimentarias e incluso cultivos agroforestales no dedicados a la alimentación humana. Por último, los biocombustibles de tercera generación representan un paso sustancial en la industria al implicar técnicas de biología molecular, dado que emplean como materia prima cultivos bioenergéticos específicamente diseñados y adaptados para facilitar la conversión de su biomasa en biocombustibles (Vargas et al., 2022)

Junto a esta clasificación, también debemos tener en mente que los biocombustibles se agrupan en función de su estado físico en sólidos, líquidos y gaseosos:

Los biocombustibles sólidos son aquellos provenientes de materia vegetal y animal de fuentes diversas, principalmente cultivos agroforestales y agrícolas, siendo estas aún hoy en día la base energética de muchos hogares en países desfavorecidos. Esta clase de biocombustibles se emplean en formas procesadas como los pellets o astillas. Por su parte, los combustibles líquidos se tratan de productos de origen biológico, principalmente aceites y alcoholes, y tienen también su origen en cultivos agrícolas. Estos, a diferencia de los sólidos, se emplean no solo como sustitutivo de las energías fósiles, sino también complementándolas, siendo las formas más comunes de los mismos el bioetanol y el biodiesel. Por último, los biocombustibles gaseosos, a diferencia de los dos grupos anteriores, no se generan de forma artificial por procesos químicos o físicos, sino que naturalmente se generan por la descomposición de materias primas orgánicas,

tanto vegetales como animales, como ocurre con los gases de los pantanos o con los yacimientos de gas natural (De Lucas Herguedas et al., 2012).

En este Trabajo de Fin de Grado pondremos el foco en los biocombustibles líquidos, en particular, el biodiesel y el bioetanol, identificando sus aspectos relevantes, analizando su rentabilidad económica y las oportunidades que presentan para el futuro energético global, y en particular, para España.

Así pues, el biodiesel es un combustible basado en aceite vegetal o animal, tanto comestible como no comestible, principalmente extraído de semillas de plantas como la colza, la palma o el girasol y empleado en motores diésel estándares, que puede ser usado tanto solo como de forma combinada con diésel normal para dar un rendimiento más óptimo para el medio ambiente. La principal ventaja del biodiesel radica en su adaptabilidad, al poder emplearse en motores diésel normales, sin requerir prácticamente ninguna adaptación. Lo mismo ocurre con su almacenamiento, dado que no requiere de infraestructuras diferenciadas del diésel ordinario (Esteves Ribeiro, 2014).

El etanol o bioetanol, por su parte, se trata de un carburante biológico obtenido a través de la fermentación de materias vegetales y residuos de la industria agroalimentaria, principalmente azúcar y almidón encontrado en cultivos como la caña de azúcar, cereales o la remolacha, que, al igual que el biodiesel, pueden ser empleados en motores de combustión como sustitutivo o complemento de la gasolina. A diferencia del primero, el bioetanol necesita de motores adaptados, conocidos como motores “Flex fuel”, disponiendo, por lo tanto, de una menor adaptabilidad y mayores demandas de infraestructura (Esteves Ribeiro, 2014).

2.1.2 APLICACIONES DE BIOCOMBUSTIBLES LÍQUIDOS EN DIFERENTES SECTORES

Las aplicaciones de los biocombustibles, al igual que los combustibles fósiles, se expanden a la generación de movimiento, calor o electricidad, siendo de utilidad al sector industrial, al energético, al sector de transportes e incluso al ámbito doméstico. Por su parte, según Álvarez Maciel (2009), las aplicaciones del biodiesel y el bioetanol se centran casi en exclusiva en el sector transportes, donde han encontrado su perfecto encaje al solucionar una demanda de los consumidores y los estados, como es el reducir la contaminación derivada de los medios de transporte actuales, a la par que se han visto

beneficiados por la presión de diversos organismos reguladores e instituciones supranacionales, como la Unión Europea, para reducir la huella de carbono de la creciente cantidad de vehículos alrededor del mundo, lo que se ha traducido en ayudas e inversiones en el sector. Dicho esto, en la actualidad, estos biocombustibles apenas se emplean para otro sector, teniendo el etanol algo de impacto en industrias como la farmacéutica o la agroalimentaria. Ciertamente es, sin embargo, que otros biocombustibles como el biogás, en el que no podremos el foco en esta ocasión, sí que han visto su utilidad extendida a otras áreas, como puede ser la industria de producción eléctrica.

De esta manera, podemos ver como el sector en el que los biocombustibles líquidos tienen un mayor peso es claramente el sector de los transportes, donde además se están invirtiendo todos los esfuerzos actuales. Dentro de este amplio sector, el área donde más peso están alcanzando los biocarburantes es en los automóviles, debido principalmente a la adaptabilidad del biodiesel y a la inversión por parte de compañías multinacionales como Volkswagen Group, Mitsubishi, Toyota o Citroën en los mencionados motores “Flex fuel”, que permiten emplear el bioetanol como carburante. Así, entre el año 2003 y el año 2009 las mencionadas compañías habían vendido cerca de 8 millones de vehículos que empleaban biocombustibles (Álvarez Maciel, 2009)

2.1.3 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS BIOCMBUSTIBLES

Los biocombustibles presentan atractivas ventajas que los hacen merecedores de valoración como fuente alternativa real a los combustibles fósiles, dado que, además de los aspectos positivos que a continuación comentaremos, el hecho de que representen un punto intermedio entre los carburantes fósiles y la energía eléctrica supone que pueden llegar a constituir un cauce realista para abandonar de forma progresiva los primeros y alcanzar una energía limpia con mayor facilidad.

Así pues, una de las principales ventajas del biodiesel y el bioetanol es la significativa reducción de la contaminación, tanto en su uso como en su producción. Los biocombustibles, al provenir de la biomasa, no requieren de procesos químicos que combustionen azufre, como es el caso de muchos combustibles fósiles, reduciendo, por tanto, la emisiones atmosféricas de óxidos sulfúricos, causantes de lluvias ácidas. Más aún, tanto el biodiesel como el bioetanol representan una buena oportunidad de reducir las emisiones de CO₂ por parte de los vehículos, dado que la cantidad que es emitida

por su combustión es la misma que la captada por la materia vegetal empleada para su producción. Así, las emisiones de gases contaminantes de efecto invernadero por la producción y combustión del etanol y el biodiesel se reducen un 12% y un 41%, respectivamente frente a los combustibles fósiles a los que sustituyen (Vargas et al., 2022).

Junto a ello, el hecho de que se trate de energía producida a través de recursos renovables, como son los residuos vegetales, agroforestales o animales, reduce aún más el impacto que estos carburantes tiene sobre nuestro planeta, permitiendo la recuperación de los recursos consumidos en el proceso productivo del mismo.

Por otro lado, al producirse a base de biomasa, permite disminuir la dependencia de los combustibles fósiles como el petróleo o el gas natural, cuyos precios se encuentran en un constante y amplio movimiento, lo que reduce la seguridad energética y merma la independencia de los estados sin estos recursos frente a los estados productores de los mismos. Esto es de suma importancia, como ya ocurrió en la década de 1970 con la crisis del petróleo tras la masiva subida de precios por parte de los países productores y exportadores, lo que desencadenó la mayor crisis económica en occidente desde la posguerra, al doblarse los precios de esta materia en cuestión de escasos meses. Tal fue la situación que, como ya hemos comentado, durante esta década se iniciaron los biocombustibles propiamente dichos (De Lucas Herguedas et al., 2012).

En cuarto lugar, tal y como hemos mencionado, los biocombustibles se producen a través de la biomasa, lo que requiere grandes cantidades de productos agrícolas, de manera que un incremento en la inversión en estas fuentes de energía incrementaría las inversiones recibidas por el medio rural, creando empleo, financiando infraestructuras como caminos, puentes y fábricas, así como desarrollando la tecnología del sector primario. Además, el hecho de que se empleen para su producción materias vegetales o animales residuales, permite aprovechar recursos que, de otra manera, hubieran sido desperdiciados sin expresarse el potencial que tienen.

En cuanto a las desventajas que presentan estos biocombustibles, la primera y más evidente es el menor poder calorífico de los mismos frente a las energías fósiles como la gasolina y el diésel. Así, como muestra Hernández Sobrino (2010), se puede concluir que los biocombustibles producen menos energía que los combustibles fósiles que pretenden sustituir, en concreto, un litro de bioetanol equivale a 0,660 litros de gasolina

de 95 octanos y un litro de biodiesel equivale a 0,89 litros de gasoil. Podemos ver, sin embargo, que esta diferencia en el poder calorífico en el caso del biodiesel no es tan significativa como en el caso del etanol, el cual produce tan solo un 25% más de la energía necesaria para producirlo, frente al 93% del biodiesel.

Otra desventaja significativa supone la materia prima que empelan para producirse, ya que, pese a que como hemos mencionado se trata de materia prima renovable, lo cierto es que al ser vegetal y animal requiere de amplias extensiones de terreno, para lo cual muchos campos actualmente destinados a la producción agrícola de alimentos deberían transformarse en tierras explotadas para la producción de bienes como la caña de azúcar o la colza, empleadas como materias primas para la producción del biodiesel y el bioetanol. Es por ello que muchas tierras podrían llegar a deforestar con tal propósito, produciéndose el efecto inverso al pretendido con la transición energética.

Por último, y como más adelante analizaremos en profundidad, puede llegar a cuestionarse la rentabilidad de los proyectos de biocombustibles por el coste de la recolección, transporte y producción de la materia prima de la que se extrae la biomasa, puesto que, a diferencia del petróleo que se extrae en plantas petrolíferas concentradas en un área limitada, las materias vegetales y animales son cultivos extensivos.

2.1.4 CONTEXTO ENERGÉTICO ACTUAL EN ESPAÑA

La energía, como bien decíamos, constituye el pilar fundamental de todas las sociedades modernas, gracias a ella se impulsa la vida cotidiana de todos los ciudadanos de un país, permitiendo el transporte, las comunicaciones, el funcionamiento de los sistemas de bienestar, la conectividad... Así pues, España, con su peculiar historia y características geográficas, presenta un panorama energético singular. Pero antes de lanzarnos a conocer el contexto energético nacional, debemos echar la vista atrás para poder comprender la situación actual de las energías en España.

Históricamente, España ha sido un país con escasos recursos energéticos, lo que ha sido particularmente notable desde la revolución industrial del siglo XIX, cuando los escasos recursos nacionales de carbón fueron uno de los múltiples impedimentos para el desarrollo industrial de nuestro país. Esta escasez de recursos se prolongó durante finales del siglo XIX y principios del siglo XX, cuando la irrupción del petróleo en las sociedades cambió el panorama energético mundial, viéndose España en una nueva encrucijada al

disponer de escasos yacimientos petrolíferos. Así pues, España ha sido, y es en la actualidad, un país dependiente en gran medida de importaciones de hidrocarburos, teniendo una dependencia energética del exterior superior al 69% del consumo total según Orús (2024), lo que representa una vulnerabilidad económica y estratégica, habiéndose gastado una media de más de 31 mil millones de euros al año en importaciones de petróleo y gas natural en el periodo comprendido entre el año 2014 y 2018 (Peropadre, 2020).

Es fundamental, por lo tanto, hacer una clara distinción entre la energía producida y la consumida en España, dado que nuestro país se autoabastece en un 31%, es decir, que la energía producida en España en proporción a la consumida representa menos de un tercio. Por otro lado, es también necesario que comprendamos que los actuales sistemas energéticos de los países no se componen única y exclusivamente de una sola fuente de energía, sino que consisten en un mix energético. Este concepto, según García Howell (2021), consiste en una combinación de diversas fuentes de energía primaria para satisfacer la demanda de una zona geográfica. Así, una combinación de combustibles fósiles, energías renovables, entre las que se encuentran los biocombustibles, y de energía nuclear, componen el mix energético de un territorio, destinado a la generación de electricidad, el transporte, las comunicaciones, la calefacción...

En lo que respecta a la producción de la energía eléctrica en España, durante el año 2022 se generaron en torno a 276.000 gigavatios-hora, siendo las energías renovables las principales fuentes de producción, en concreto, generaron entorno al 42% en dicho periodo. Además, cabe destacar la fuerte importancia de la energía eólica, que se alza como la principal fuente de energía renovable en nuestro país, representado más del 22% de la producción nacional, seguida muy de cerca por la energía nuclear, con el 20%, que, pese a haber visto reducida su potencia instalada tras el desmantelamiento de las centrales nucleares de José Cabrera y Santa María de Garoña, mantiene una importancia capital para el mix energético nacional (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2022).

Centrándonos ahora en el consumo energético español, podemos apreciar cómo del consumo total de energía primaria en España, el petróleo y el gas natural siguen representado un elevado porcentaje, superior al 67%, lo que muestra claramente que pese a que la producción de energía eléctrica en nuestro país si está muy apoyado en las energías renovables, el consumo de combustibles fósiles en otros sectores sigue siendo

muy elevado. El consumo final de fuentes de energía en España, por su parte, también se apoya en gran medida en productos petrolíferos, que se sitúan en el entorno del 50%, seguida de la electricidad y el gas natural, que superan el 24% y el 18,6% respectivamente (Gómez-Calvet et al., 2021).

Con respecto a la situación de las energías renovables, según el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (2021), las energías renovables representaron un 16.5% del total de la energía primaria consumida en nuestro país, porcentaje que se reduce al 7,7% del consumo final de energía en este mismo periodo. Estos datos muestran una clara diferencia entre la situación de las renovables en el consumo energético primario y el final, cosa que explica el hecho de que en este último se incluyan el consumo no energético final, el consumo energético final, el consumo de la aviación internacional y el del sector de la transformación en los altos hornos (Gómez-Calvet et al., 2021).

Así pues, podemos concluir que el sector energético español se trata de un sector dependiente de las importaciones de combustibles fósiles, principalmente petróleo, gas y sus derivados, pero que, poco a poco, se van viendo sustituidos por unas nuevas fuentes de energía, las renovables.

2.1.5 EVOLUCIÓN DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES EN EL MIX ENERGÉTICO NACIONAL, EN PARTICULAR, LOS BIOCOMBUSTIBLES

La llegada de las energías renovables al mix energético nacional se ha producido de forma progresiva desde la segunda mitad de la década de 1990. Es en 1997, cuando el Libro Blanco de las energías renovables es aprobado por la entonces Comunidad Económica Europea, definiendo un cauce por el cual se produciría la entrada de energías limpias a los sistemas energéticos de los países miembros, entre ellos, España.

España, correspondiendo con la aprobación de dicho libro, aprueba en 1999 el Plan de Fomento de las Energías Renovables (PER) que adapta las indicaciones del Libro Blanco al marco energético español, fijándose un objetivo del 12% de aportación de las renovables a la demanda energética del país para finales de 2010, el 29,4% de la producción eléctrica mediante energías renovables y un 5,75% de utilización de biocarburantes en el sector del transporte. Además de definir estos objetivos, el PER

recoge aquellas energías renovables que se fomentarán, a saber, los biocombustibles, la energía eólica, la hidráulica, la solar; y los residuos sólidos urbanos (Solorio, 2011).

Desde entonces, se aprueban una serie de ayudas a nivel nacional incluyendo el fomento en la inversión en energías renovables, tipos impositivos especiales como el aprobado para los biocarburantes en 2003, e incluso reducciones de trabas para la investigación tecnológica y el comercio internacional. A finales de 2008, ninguno de estos objetivos se había cumplido, España disponía de un consumo de energía primaria renovable del 7,6%, muy inferior al 12% que se había pretendido, la producción eléctrica con energías renovables se situaba en el 20,4% frente al 29,4% programado, y los biocarburantes tan solo representaban un 1,91% del consumo de carburantes en el sector del transporte, frente al 5,75% establecido (Lara, 2008).

La evolución de los últimos años, sin embargo, ha sido completamente distinta, experimentando las energías renovables un episodio de expansión y consolidación como alternativa real a los combustibles fósiles. Así pues, tal y como mencionábamos anteriormente, pese a que el mix energético español sigue estando dominado por el petróleo y sus derivados, lo cierto es que las energías renovables si han alcanzado una relevancia capital en la producción eléctrica nacional, habiendo generado más del 42% del total en el año 2022, siendo la energía eólica la más relevante de entre todas las renovables, produciendo por sí misma un 22% y siendo la segunda fuente de energía más productiva de electricidad tras las centrales de ciclo combinado. Junto a ello, cabe destacar la enorme evolución de las energías renovables en el consumo de energía primaria nacional, habiendo pasado de representar un 7,6% en 2008 al 16,5% en el año 2021, siendo la fuente de energía que más ha crecido en los últimos 14 años (Orús, 2024).

2.2 Los biocombustibles en España

2.2.1 INTRODUCCIÓN AL CONTEXTO ESPAÑOL

Los biocombustibles han experimentado un desarrollo en España que cabría caracterizar como precario frente al que han tenido en otros países de nuestro ambiente y características, siendo esta una de las tareas pendientes de nuestros gobiernos.

En el Libro Blanco aprobado en 1997, la Comisión Europea los mencionaba como una de las formas de sustitución más atractivas de los combustibles fósiles, atractivo que quedó patente en nuestro país al definirse en el Plan de Fomento de las Energías Renovables (PER), tal y como comentábamos anteriormente. En él se estableció el ambicioso objetivo de alcanzar un 5,75% de uso de biocarburantes en nuestro mix energético para el año 2010, cifra que finalmente quedó bastante alejada tal y como hemos observado a lo largo del Trabajo (Lara, 2008).

Pese al escaso desarrollo en nuestro país, el biodiesel y el bioetanol sí han encontrado su hueco en otros estados, particularmente en Estados Unidos y Brasil, que a su vez son sus mayores productores y exportadores, controlando estos dos países casi el 80% de la producción mundial de bioetanol. Por su parte, y más cerca de nuestro territorio, la Unión Europea concentra casi el 87% de la producción mundial de biodiesel, siendo Alemania y Francia las principales potencias fabricantes, en particular la primera con más del 67% (Vargas et al., 2022).

Sin embargo, es cierto que la producción de biocarburantes en España se ha incrementado notablemente en las últimas décadas. Así, frente a las 70 mil toneladas en el año 2001, en el año 2010 su producción ya superaba el millón doscientas mil toneladas, pero desde este año, que supuso el récord histórico. En el 2011 el sector de los biocarburantes en España experimentó una notable caída del 36,5%, recuperándose desde entonces a un ritmo lento pero continuado para, en la actualidad, situarse a niveles cercanos a los vistos en la década pasada, produciéndose en torno a 1 millón y medio de m³ de biocarburantes, frente a los casi 2 millones m³ del 2010 (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2022).

Dicho esto, podemos observar como en España el biodiésel ha tenido una mayor acogida que el bioetanol, tanto en su uso como en su producción. Así pues, la diferencia es palpable observando las cifras de plantas productoras de biocarburantes entre el año 2000 y el 2013. En este primer año se inauguró la primera planta de biocarburantes en España,

una planta de bioetanol en Cartagena impulsada por Abengoa Bioenergía, mientras que en el 2013 existían tan solo 4 plantas de bioetanol frente a 38 plantas de biodiesel en funcionamiento. A partir de esta última fecha, sin embargo, 15 plantas de biodiesel se han visto obligadas a cerrar como consecuencia de la falta de demanda de este biocarburante en nuestro país por razones que serán objeto de análisis en los siguientes puntos, así como por la disminución de consumo internacional y por la posibilidad de importarlo de otros países a menores precios, como Argentina o Brasil (Espejo Marín et al., 2016).

Podemos concluir, por tanto, que la situación actual de los biocombustibles en España es bastante precaria en comparación con los objetivos fijados por las autoridades a principios de siglo, así como las perspectivas de futuro que se tenía de los biocarburantes en nuestro país basadas en el crecimiento obtenido hasta finales de la década de los 2000. Por ello, tanto el bioetanol como el biodiesel tiene en la actualidad un escaso impacto en el mix energético nacional y en el parque móvil español, sumando junto a los vehículos 100% eléctricos en torno a 290.000 vehículos matriculados a fecha de julio de 2023 (Amadoz, 2023).

2.2.2 ANÁLISIS DE LOS FACTORES QUE AFECTAN A LOS BIOCARBURANTES EN EL CONTEXTO ESPAÑOL: PESTEL

Para comprender y profundizar en los factores que afectan a la producción y al uso de los biocarburantes en nuestro país, debemos hacer un profundo análisis que comprenda toda clase de elementos que influyen en ellos, desde cuestiones políticas y legales hasta factores económicos y productivos, pasando por aspectos sociales y medioambientales.

Factores políticos y legales

Las cuestiones políticas y legales afectan directamente a la situación de los biocombustibles en España, siendo asunto de enorme relevancia no solo a nivel nacional, sino también a nivel europeo. Así pues, España, como Estado miembro de la Unión Europea, está vinculado a las Directivas en materia energética aprobadas por la Unión, debiendo trasponerlas a nuestro ordenamiento jurídico. Dentro de la política energética entra en juego una normativa fundamental que ha venido afectando a todos los Estados miembros desde su aprobación a principios de siglo, la Directiva relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables, la cual ha sido reformada en el año 2023, sentando el desarrollo de las fuentes de energías renovables en la Unión, estableciendo

un límite mínimo de uso de las mismas vinculante a todos los miembros, regulando el autoconsumo y fijando unas normas comunes de uso de renovables en electricidad, calefacción, refrigeración y transporte dentro de la UE.

De esta manera, la Directiva ha establecido un objetivo vinculante del 45% de energías renovables empleadas en la UE para el año 2030, fijando, además, límites particulares para cada sector que afectan de lleno a los biocarburantes:

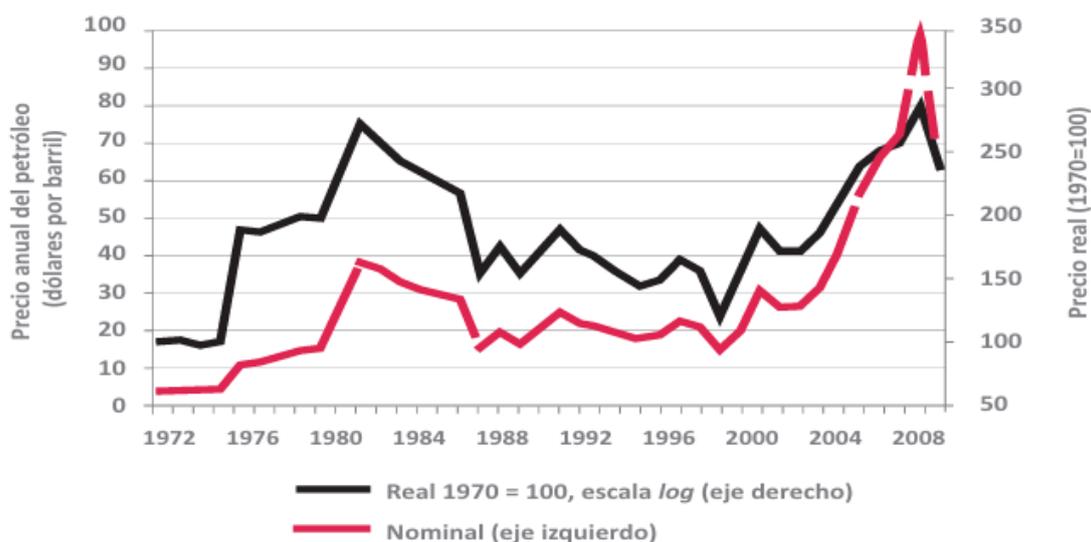
- “Para el sector del transporte los países miembros tienen dos opciones:
 - a) Establecer una meta obligatoria para disminuir en un 14,5% los gases de efecto invernadero provenientes del sector del transporte mediante el uso de energías renovables para el año 2030.
 - b) Asegurar que al menos el 29% de la energía utilizada en el transporte provenga de fuentes renovables para el año 2030, como parte obligatoria del consumo final de energía en este sector.
- Para el sector industrial:
 - a) Un incremento indicativo medio anual del 1.6% en el consumo de energías renovables.
 - b) Que el 42% del hidrógeno utilizado en la industria provenga de combustibles renovables no biológicos para el año 2030, aumentando al 60% para el 2035.
- Para los sectores de la calefacción, refrigeración y de la construcción:
 - a) Un objetivo indicativo para que al menos el 49% de la energía utilizada en edificios provenga de fuentes renovables para el año 2030.
 - b) Un aumento gradual en los objetivos nacionales para las energías renovables en calefacción y refrigeración, con un incremento anual del 0.8% hasta 2026, seguido de un aumento del 1.1% anual desde 2026 hasta 2030”. (Parlamento Europeo, 2018)

Así pues, podemos ver como esta normativa tiene una incidencia fundamental en las energías renovables en su conjunto, en tanto en cuanto estas deberán incrementarse y desarrollarse enormemente para alcanzar los ambiciosos objetivos de la UE, cuya finalidad ulterior es alcanzar la neutralidad climática en el año 2050. Es por ello que la inversión en estas fuentes energéticas va a dispararse aún más en los años que viene,

posibilitando una gran expansión de los biocombustibles, lo que representa una importante oportunidad para su desarrollo en nuestro país.

Factores Económicos

Por su parte, entre los factores económicos que condicionan y afectan a los biocombustibles destacan las fluctuaciones en el precio del petróleo, en tanto que un incremento del precio de los combustibles fósiles provenientes de dicha materia prima, suele traer aparejada la búsqueda de alternativas a los mismos. Así pues, aquellos periodos en los que se han experimentado fuertes incrementos en su precio, han sido los momentos en los que los biocarburantes han visto el camino para su desarrollo algo más allanado. Como hemos venido mencionando, en la década de 1970 con la crisis del petróleo de 1973, los biocombustibles se erigieron como una de las fuentes de energía alternativas en la que comenzó a invertirse y desarrollarse, dándose la misma situación en la segunda mitad de la década de los 2000, con las subidas masivas de los precios del petróleo, tal y como podemos apreciar en el siguiente gráfico (Guerrero et al., 2010).

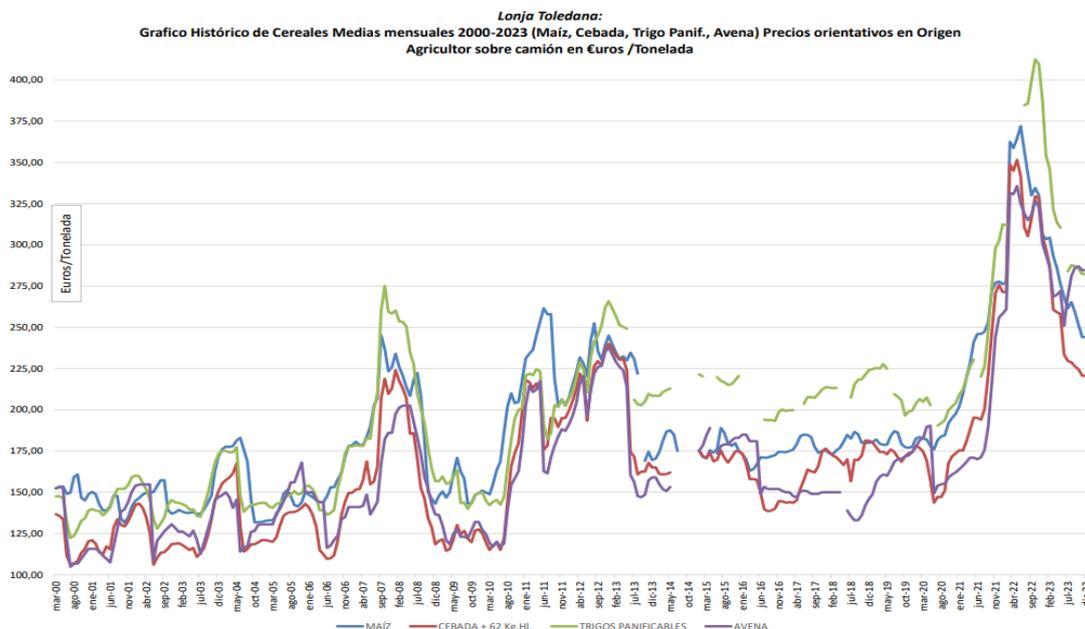


Fuente: Biocombustibles líquidos: situación actual y oportunidades de futuro para España. *Fundación IDEAS*.

España, como país importador de petróleo, es enormemente vulnerable a las variaciones de su precio, lo cual explica que de forma simultánea al aumento de los precios del petróleo de los 2000, los biocombustibles experimentasen su mejor periodo de inversión y desarrollo en nuestro país, tal y como hemos analizado anteriormente. De esta manera, el empleo de estas fuentes de energías puede resultar atractivo para reducir el gasto en

importaciones petrolíferas y de sus derivados que, tal y como hemos visto, en el periodo comprendido entre los años 2014 y 2018 supusieron una media anual de más de 31 mil millones de euros, mejorando nuestra balanza comercial de forma significativa (Peropadre, 2020). Por otro lado, su uso puede llevar a reducir uno de los grandes desafíos a los que se enfrenta España en materia energética, la dependencia externa, que en la actualidad representa entorno al 69% del consumo total de energía (Orús, 2024).

Otro de los factores económicos que afecta de lleno a los biocombustibles y que paralelamente se trata de una de las mayores amenazas que está experimentado el sector, es el aumento de los precios de los alimentos. Como hemos venido comentado a lo largo del trabajo, los biocombustibles se sirven de biomasa para su producción, lo que implica que un aumento de la producción de estas fuentes de energía llevará a un incremento de la demanda de productos de la biomasa, entre los cuales se encuentran alimentos esenciales como el trigo o el maíz. Esta cuestión económica se hizo más relevante en la década de los 2000, cuando se produjo una crisis alimentaria en los países menos desarrollados, particularmente acentuada entre los años 2007 y 2008. En estos años no solo se produjo un incremento del precio del petróleo y sus derivados, tal y como hemos visto anteriormente, sino que el resto de las materias primas y alimentos también sufrieron estas subidas (Vivero Pol y Porras Gómez, 2009).



Fuente: Federación Empresarial Toledana

Diversos estudios han analizado el impacto del incremento de los biocombustibles en los aumentos de los costes de los alimentos, existiendo evidencias de otros factores explicativos, particularmente las malas cosechas, lo que indica que los biocarburantes tienen un impacto limitado en este. Además, algunos estudios que han tratado de determinar la relación entre el desarrollo de los biocombustibles y los precios de los alimentos, han llegado a la conclusión de que esta relación se manifiesta principalmente a través del precio del petróleo. Así, el incremento en el precio del petróleo eleva los costes de los fertilizantes y el transporte, contribuyendo a la volatilidad del mercado y a la especulación financiera con materias primas, lo cual a su vez impulsa la producción de biocombustibles (Vivero Pol y Porras Gómez, 2009). Más aún, durante el primer auge de producción de bioetanol en EE. UU., los precios del maíz se mantuvieron estables y los del trigo incluso disminuyeron con el incremento del uso de biodiésel en la Unión Europea a principios de la década de los 2000.

Por otro lado, un factor destacado que si ha demostrado ser responsable, al menos en parte, del incremento de los precios de los cereales ha sido el aumento global en el consumo de carne, especialmente en países como China e India, lo que ha incrementado a su vez la demanda de cereales para piensos. Así pues, podemos concluir que el incremento y el desarrollo de los biocombustibles no ha sido, al menos por el momento, un elemento diferencial que haya causado subidas en los precios de los alimentos, pero es cierto que la preocupación existente en los estados por el incremento del consumo de biomasa como consecuencia del desarrollo de los biocombustibles es otro de los factores que afectan de lleno al desarrollo de esta energía (Guerrero et al., 2010).

Factores Sociales

Respecto a las cuestiones sociales, la tendencia hacia la búsqueda de la sostenibilidad impacta de manera definitiva en el futuro de los biocarburantes. La creciente demanda de alternativas “verdes” a las energías fósiles se ha extendido más allá del transporte, representando una atractiva oportunidad para el desarrollo de estas fuentes de energía. Es cierto, sin embargo, que a esta creciente corriente social se le une las mencionadas preocupaciones por el impacto de los biocombustibles en la seguridad alimentaria, dado que ciertos biocarburantes de primera generación utilizan cultivos alimentarios, lo que puede ocasionar subidas de los precios de materias tan básicas como el trigo o el maíz,

así como un incremento en la demanda de tierras para poder cultivar las materias orgánicas que pasarán a convertirse en biomasa (Vivero Pol y Porras Gómez, 2009).

La implementación de biocombustibles también tiene importantes beneficios para la sociedad de forma directa, particularmente la contribución al desarrollo de las zonas rurales al crear empleos en las áreas de cultivo de biomasa y en las plantas de producción, y al requerir el aumento de infraestructuras en estos territorios e impulsar la inversión. Esto puede ser interesante en regiones con altas tasas de población rural, que además generalmente suelen tener niveles de desempleo más elevados, como es el caso de ciertos territorios de nuestro país.

Factores tecnológicos

Los factores tecnológicos que impactan sobre los biocombustibles son múltiples y diversos, teniendo particular incidencia el fuerte desarrollo que están experimentando las tecnologías de gasificación y fermentación de la biomasa. La gasificación permite convertir materia orgánica en gas, que puede ser utilizado para producir biocombustibles líquidos a través de procesos de síntesis química. La fermentación, por otro lado, utiliza microorganismos para convertir los azúcares presentes en ciertas clases de biomasa en etanol u otros alcoholes que pueden ser utilizados como biocarburantes, representando una de las más atractivas innovaciones en el panorama energético actual (Vivero Pol y Porras Gómez, 2009).

Por otro lado, tiene enorme incidencia el creciente desarrollo de los biocombustibles de segunda y tercera generación, que, como ya mencionamos, en lugar de emplear materia alimenticia usa para la creación de los biocarburantes residuos agrícolas y algas, superando los problemas relativos al empleo de alimentos esenciales para la generación de combustibles y todos los efectos que ello conlleva. En relación a esto, la biotecnología y la ingeniería genética están desarrollando nuevas posibilidades para la producción de biocombustibles de alto rendimiento a partir de materias primas no comestibles. Destaca entre ellas la modificación genética de microorganismos, que está logrando mejorar la eficiencia de la materia orgánica a la hora de proceder a su conversión en biomasa, de manera que, con la misma cantidad de recursos, puede ser posible llegar a obtener más combustible. Así pues, todos estos avances son de enorme relevancia a la hora de hacer frente a las debilidades que presentan en la actualidad este tipo de energías, al ser capaces de reducir la dependencia de cultivos alimenticios, disminuir la cantidad de terreno

necesario para la producción de los mismos y mejorar la sostenibilidad de los biocarburantes (Vargas et al., 2022).

Factores Ecológicos

El impacto medioambiental es el factor clave en la evaluación de los biocombustibles, dado que, si bien es cierto que estos carburantes tienen el potencial de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en comparación con los combustibles fósiles, es crucial tener en mente todo el ciclo de vida de los biocombustibles para conocer su verdadero impacto ecológico. Debemos recordar, por tanto, que el proceso de “creación” de esta energía comienza con la extracción de materias primas de las tierras de cultivo o de los residuos orgánicos y termina con la combustión final del biocarburante para la generación de energía.

Así pues, como mencionábamos, los biocombustibles pueden reducir las emisiones de CO₂ a la atmósfera y disminuir uso masivo de los combustibles fósiles, pero, por otro lado, la producción intensiva de cultivos para biocombustibles podría llevar a la deforestación, la pérdida de biodiversidad y el uso excesivo de agua y fertilizantes químicos (Vivero Pol y Porras Gómez, 2009).

En España, la *Directiva europea 2018/2001 relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables* trata de hacer frente a este problema, sentando los criterios de sostenibilidad que deben cumplir los biocombustibles para ser considerados como energías verdes por parte de los Estados miembros. Entre estos criterios destacan la reducción neta de emisiones de gases de efecto invernadero de los biocarburantes a lo largo de todo su proceso de desarrollo y la protección de áreas con alto valor de biodiversidad.

2.2.3 OPORTUNIDADES ÚNICAS Y AMENAZAS A SU DESARROLLO EN NUESTRO PAÍS: DAFO

Como objetivo fundamental del Trabajo nos hemos marcado el concluir si España resulta un país atractivo o no para el desarrollo y la potenciación de los biocombustibles como fuentes de energía alternativas a los carburantes fósiles. Para ello, resulta imprescindible el conocer que fortalezas y oportunidades presenta nuestro país, así como que elementos constituyen amenazas y debilidades del mismo.

Fortalezas

1. Recursos Naturales Abundantes

España, frente a la creencia general, cuenta con una gran disponibilidad de recursos naturales, desde minerales hasta recursos forestales, pasando por amplias capacidades agrícolas. Es esta gran capacidad de cultivo y generación de residuos agrícolas y forestales la que resulta de enorme importancia para nuestra materia, en tanto que pueden ser utilizados para la producción de biocombustibles de segunda generación.

Así pues, España tiene una amplia superficie agrícola, con aproximadamente 23 millones de hectáreas dedicadas a la agricultura (MAPA, 2020). De estas, alrededor de 17 millones de hectáreas son tierras arables y cultivos permanentes, lo que proporciona una base sólida para la producción de biomasa. Además, en 2019, se estimó que alrededor de 1,5 millones de hectáreas de tierras agrícolas estaban en barbecho o no cultivadas, lo que representan una oportunidad para el cultivo de biomasa sin desplazar la producción de alimentos, y junto a ellas existen amplias zonas que no son aptas para la agricultura alimenticia pero que pueden ser utilizadas para cultivos energéticos útiles para la generación de biomasa.

Por otro lado, en el año 2020, nuestro país generó aproximadamente 6,5 millones de toneladas de residuos agrícolas, la mayoría de ellos de cultivo herbáceos como el trigo, los cuáles son quemados o desechados y de los que una gran parte podría ser utilizada para la producción de biocombustibles (GDA, 2023)

2. Apoyo Gubernamental y Políticas Favorables

El gobierno español y la Unión Europea han implementado políticas de apoyo a los biocombustibles que establecen objetivos claros para la reducción de emisiones y el aumento del uso de biocombustibles en el sector del transporte. Además de los ya mencionados a lo largo de este Trabajo, debemos destacar *el Real Decreto 1085/2015 de fomento de los biocarburantes*, que regula y fomenta la utilización de biocarburantes y establece objetivos anuales de incorporación de los mismos, garantizando un mercado para estos productos y proporcionando un marco de seguridad para los inversores en estas fuentes energía, elemento clave como posteriormente veremos (Ministerio de Industria, Energía y Turismo, 2015).

Por otro lado, debemos destacar los incentivos fiscales y las subvenciones específicas para la investigación y desarrollo en biocombustibles, en particular resulta interesante el hecho de que el biodiésel y el bioetanol están exentos del Impuesto Especial sobre Hidrocarburos, lo que reduce su costo final y mejora su competitividad frente a los combustibles fósiles.

3. Infraestructura y Capacidades de Investigación

España cuenta con una sólida infraestructura de transporte para los hidrocarburos, disponiendo de más de 4000 kilómetros de oleoductos que conectan los centros de producción y las refinerías con los centros de consumo. Además, nuestro país dispone de una amplia y sólida infraestructura portuaria, disponiendo de los recursos necesarios para la carga y descarga de hidrocarburos en puertos como Algeciras, Tarragona o Bilbao que a su vez conectan con la mencionada red de oleoductos, aportando una estructura holística muy desarrollada (Barrios, 2023). Todo ello resulta interesante a la luz de lo afirmado por del Campo Colmenar, Pérez-Vega y Gil Barnó (2021), quienes afirman que una de las fortalezas de los biocarburantes avanzados es su capacidad de emplearse y aprovecharse mediante las infraestructuras logísticas existentes, sin requerir grandes cambios, constituyendo esta estructura la base necesaria para la expansión masiva de los biocombustibles.

Además, España dispone de capacidades de investigación avanzadas en el sector de los biocombustibles, con reputadas instituciones como como el Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (INIA) y la Plataforma Tecnológica Española de Biocarburantes (BIOPLAT), situándose estas a la vanguardia en el desarrollo de nuevas tecnologías de biocombustibles.

Oportunidades

1. Innovaciones y aprovechamientos tecnológicos

Las principales oportunidades que se presentan para nuestro país están en los ya mencionados biocombustibles de segunda y tercera generación. Estos biocarburantes, entre los que destacan las algas y los residuos agrícolas, presentan una oportunidad única para hacer frente a una de las debilidades de estas fuentes de energía, el conflicto con los cultivos alimenticios. Así pues, el empleo de algas, que tienen la ventaja de que crecen en condiciones no aptas para la agricultura convencional, y de residuos de la agricultura,

que suponen más de 6 millones de toneladas en España como hemos visto, sitúan a nuestro país en una buena posición para desarrollar estas fuentes de energía.

Paralelamente, el hecho de disponer de más de 1,5 millones de hectáreas de tierras no cultivadas o en barbecho, permite la siembra de cultivos energéticos como la colza o la remolacha o el girasol cuya utilidad para la generación de biodiésel y bioetanol es enorme, aprovechándose las tierras desocupadas a la par que se generan ingresos adicionales para los agricultores (Nava-García & Doldán-García, 2014).

2. Creciente demanda de energías renovables

La creciente demanda de fuentes de energía renovable y sostenible ofrece una oportunidad significativa para el crecimiento del sector de los biocombustibles en España. Los objetivos de descarbonización y las metas de energía renovable establecidas por la UE son un impulso enorme. Como ya hemos venido analizando, la Unión Europea ha establecido un objetivo común vinculante para todos los estados miembros de que al menos el 45% de la energía utilizada en la Unión sea de origen renovable para el año 2030, y que esa cifra sea de un 29% para el sector del transporte, como mínimo.

Esta situación crea el entorno perfecto para el desarrollo de toda clase de energía “verde”, entre ellas los biocombustibles, en tanto que todos los estados se han centrado en el fomento del empleo de las mismas mediante subvenciones y exenciones, como las ya analizadas en España, e incluso se han impuesto gravámenes al uso de los combustibles fósiles, como el Impuesto Especial de Hidrocarburos en nuestro país.

3. Desarrollo rural y creación de Empleo y riqueza

La producción de biocombustibles puede contribuir al desarrollo rural y la creación de empleo en áreas agrícolas y forestales que tradicionalmente tienen mayores tasas de desempleo. Esto es especialmente relevante en territorios que tienen elevadas tasas de paro como Andalucía, con un 17,6%, y Extremadura, con un 16,29%, a fecha de 2023, donde, paralelamente, la cantidad de tierras de cultivo es superior. De esta manera, según un informe de Analistas Financieros Internacionales (AFI), el sector de la biomasa podría generar 32,945 empleos directos, indirectos e inducidos y aportar 2,732 millones de euros al Valor Añadido Bruto (VAB) de la economía española, además de más de 1000 millones de euros para el erario público en concepto de impuestos y tributos (De Gregorio, 2019).

Así pues, el desarrollo de infraestructura y cultivos para su empleo como biomasa de los biocombustibles representa una atractiva oportunidad para paliar los problemas de desempleo en muchos territorios de España, a la par que permitiría el desarrollo de mejores y modernas infraestructuras en las tierras rurales. Junto a ello, el establecer los centros de producción de biomasa en estas tierras permitiría diversificar la economía rural, muy dependiente de la agricultura y la ganadería tradicional, y crear puestos de trabajo de mayor valor añadido en estas comunidades (De Gregorio, 2019).

4. Aprovechamiento de residuos agrícolas y alimenticios

Como hemos venido comentando, España genera una cantidad significativa de residuos agrícolas y alimenticios, en concreto más de 6 y 7,7 millones de toneladas correspondientemente. El desarrollo de los biocombustibles de segunda y tercera generación, que usan estos como fuente para la creación de la biomasa necesaria para la generación de los biocarburantes, representa una importante oportunidad para aprovechar estos recursos que, de otra manera, son quemados o desechados sin aportar ningún beneficio e incluso contaminando las tierras y los mares.

Por otro lado, la valorización de la biomasa también ayuda a evitar riesgos medioambientales como los incendios forestales y las emisiones de metano de los residuos ganaderos y los vertederos, contribuyendo las instalaciones de biomasa existentes en España a evitar un coste equivalente a 334 millones de euros en emisiones de CO₂ y 150 millones de euros en costos de extinción de incendios (De Gregorio, 2019).

Debilidades

1. Infratilización de los recursos disponibles

La infratilización de los recursos disponibles de biomasa para los biocombustibles en España representa una seria debilidad tanto en términos económicos como ambientales. España es una potencia europea en recursos biomásicos, siendo el tercer país europeo en recursos de biomasa forestal, solo por detrás de Suecia y Finlandia, al contar con una superficie forestal de 27,664,674 hectáreas, lo que representa el 57% del total de la superficie. Junto a ello, España es el principal productor de aceite de oliva del mundo, con 1,401,600 toneladas en el año 2016, y el mayor criador de ganado porcino en Europa, además de ser uno de los principales países exportadores hortícolas de Europa (De Gregorio, 2019).

A pesar de esta situación favorable, España se encuentra a la cola en el ranking europeo de aprovechamiento de los recursos forestales y agrícolas para la generación de energía mediante el consumo de esta biomasa, lo que representa una seria debilidad a la par que una interesante oportunidad para la penetración de los biocombustibles en nuestro país como fuente de energía alternativa a los combustibles fósiles.

2. Competencia con cultivos alimentarios

Otra de las debilidades presentes en España, como hemos venido comentando a lo largo de este Trabajo, es el conflicto existente entre la producción de cultivos alimentarios y cultivos energéticos, en tanto que a priori ambos se producen en las mismas tierras, lo que llevaría a que un incremento de los segundos afectase de lleno a la producción de los primeros. Este fenómeno puede tener implicaciones tanto económicas como sociales, afectando a la seguridad alimentaria y los precios de los alimentos, dado que la misma o mayor demanda y menor oferta de alimentos llevaría a una subida de los precios y arrastraría a los agricultores a la producción de aquellos cultivos más rentables (Vivero Pol y Porras Gómez, 2009).

En España, la producción de cultivos alimentarios juega un papel crucial en la economía y la sociedad, con aproximadamente 23 millones de hectáreas dedicadas a su cultivo, de las cuales 17 millones son tierras arables y cultivos permanentes, como ya hemos visto (MAPA, 2020). Estas tierras se utilizan predominantemente para la producción de cereales, frutas y hortalizas, surgiendo también un problema cuando estos mismo cultivos alimentarios son empleados en la producción de energía. La competencia por la tierra, así como por otros recursos limitados como el agua y los fertilizantes, en un país con una enorme producción agrícola como es España representa una seria debilidad para el desarrollo de estas nuevas fuentes de energía.

Amenazas

1. Elevados costes de producción

Los altos costes de producción de biocombustibles representan una amenaza significativa para su desarrollo como fuente alternativa a los combustibles fósiles en España. En particular, el principal problema relativo a los costes se localiza en la producción de biocombustibles de segunda generación, dado que presentan costes de inversión muy elevados y por lo tanto su capacidad para ser rentables es bastante ajustada. Se estima que

establecer una planta de producción con una capacidad de entre 50 y 150 millones de litros de biocombustible de segunda generación por año puede costar entre 125 y 250 millones de dólares, lo cual es hasta diez veces más caro que una planta de biodiésel de primera generación (Guerrero et al., 2010).

Además, según los mismos autores, otro problema esencial son los costes de suministro de biomasa, también variarán considerablemente dependiendo de la ubicación y el volumen requerido. El coste del suministro de esta materia puede representar entre el 10% y el 25% de los costes totales, pero en algunas ubicaciones más complejas puede llegar al 65%. En el caso de los biocombustibles de segunda generación, los costes de inversión representan entre el 40% y el 50% del coste total, mientras que los costes de suministro de biomasa oscilan entre el 35% y el 42%

El coste de producción también depende de la eficiencia y la complejidad de la planta de producción, así como del precio del barril de petróleo, que influye en los costes de transporte y de fertilizantes, como más tarde veremos. Además, el proceso de producción de biocombustibles avanzados, que tienen la ventaja de que pueden aprovechar la infraestructura y las tecnologías ya existentes para los combustibles fósiles, todavía se encuentra en una fase de altos costes y nula rentabilidad.

2. Fluctuaciones en los precios del petróleo

Como mencionábamos anteriormente, otra de las grandes amenazas para el futuro de los biocombustibles son las permanentes fluctuaciones en los precios del petróleo. Estas fluctuaciones tienen un impacto directo en la competitividad de los biocombustibles frente a los combustibles fósiles tradicionales, afectando tanto a los costes de producción como a la estabilidad del mercado. Así pues, los incrementos en el precio de esta materia prima provocan un incremento en los costes de los fertilizantes y del transporte de las mercancías agrícolas, lo que a su vez aumenta los costes de la biomasa, y por lo tanto incrementan el gasto en el que hay que incurrir para la producción de los biocombustibles. Por otro lado, como hemos podido analizar a lo largo del Trabajo, la evolución de los precios del petróleo ha influido directamente en los períodos de auge y declive de la industria de los biocombustibles. Así, las crisis del petróleo de los años setenta y la década de los 2000 provocaron incrementos significativos en sus precios, lo que incentivo la búsqueda de fuentes alternativas de energía, incluyendo los biocombustibles. Sin embargo, el vínculo entre ambos combustibles también implica que cuando los precios

del petróleo disminuyen, la competitividad de los biocombustibles se ve perjudicada, requiriendo de políticas de promoción públicas y subsidios para mantenerse viables en el mercado. Junto a todo ello, las predicciones indican que el precio del petróleo seguirá en una senda ascendente debido a una combinación de mayor demanda, escasez y crecientes costes de extracción (Guerrero et al., 2010).

3. Desarrollo de otras energías renovables alternativas

El desarrollo de otras energías renovables alternativas en España, como la solar y la eólica, representa una amenaza significativa para el crecimiento del sector de los biocombustibles. En nuestro país, la capacidad instalada de energía solar y eólica ha crecido significativamente en los últimos años debido a los avances tecnológicos y al apoyo de las Administraciones Públicas. La energía solar fotovoltaica, en particular, ha visto una reducción en sus costes de producción, lo que ha llevado a un enorme aumento en su adopción por parte de los particulares en sus propios hogares.

Según datos del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, la capacidad instalada de energía solar fotovoltaica alcanzó los 8.623 MW en 2020, mientras que la capacidad eólica se situó en 27.259 MW (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2020). Esta expansión, como decíamos, ha sido impulsada por políticas de apoyo, como las subastas de renovables y los incentivos fiscales, que han favorecido la inversión en estas tecnologías en detrimento de los biocarburantes (Del Campo Colmenar et al., 2021). Estas energías renovables alternativas también presentan ventajas en términos de eficiencia y costes, en particular la energía solar y la eólica, que no requieren de las mismas infraestructuras de suministro y distribución de materias primas que los biocombustibles, lo que reduce significativamente sus costes operativos. El rápido desarrollo y la adopción de estas tecnologías renovables han llevado a un aumento de la competencia en el mercado energético, desplazando a los biocombustibles a la hora de llevar a cabo inversiones públicas y privadas, situación que se ve aún más ahondada por el hecho de que los biocombustibles de segunda generación, como hemos venido comentando, aún enfrentan altos costes de producción.

Además de todo ello, la regulación europea ha establecido cuotas y límites para el uso de biocombustibles convencionales, promoviendo en cambio los biocombustibles avanzados y otras energías renovables. La *Directiva europea 2018/2001 relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables* establece que “la energía procedente de

biocombustibles convencionales solo podrá contribuir como máximo al 7% del total empleado en el transporte por carretera y ferrocarril en 2030”, lo que limita significativamente su crecimiento y favorece a otras fuentes de energía renovable como las ya mencionadas (Del Campo Colmenar et al., 2021).

2.3 Perspectiva económica

2.3.1 ANÁLISIS DE COSTES Y RENTABILIDAD DE LOS BIOCOMBUSTIBLES: COMPARACIÓN ECONÓMICA CON LOS COMBUSTIBLES FÓSILES

Con el objetivo de poder analizar la viabilidad de los biocombustibles como fuentes de energía alternativas a los tradicionales combustibles fósiles, debemos indagar acerca de los costes y las rentabilidades de los mismos, en tanto que la perspectiva económica resulta un elemento esencial para comprender si estos constituyen una alternativa viable para la sociedad. Así pues, el análisis de los costes y las rentabilidades de los biocombustibles frente a los carburantes fósiles requiere un examen detallado de varios factores económicos y técnicos:

En primer lugar, los costes de producción constituyen el elemento capital en el que debemos centrar nuestro análisis, en tanto que de ellos dependerá la rentabilidad que podrá obtenerse de los mismos. Respecto a los costes de producción de los biocombustibles, podemos afirmar que en la mayoría de las ocasiones son considerablemente más altos que los de los combustibles fósiles, aunque estos varían en función de la materia prima, la tecnología de conversión utilizada y el ámbito geográfico en el que se produzcan. En la Unión Europea, el coste de producción del biodiésel a partir de aceites vegetales se estima en, aproximadamente, 835 dólares por tonelada, mientras que en Estados Unidos producir bioetanol a partir de maíz tiene un coste de unos 646 dólares por tonelada (Guerrero et al., 2010).

Por su parte, los combustibles fósiles, como el diésel y la gasolina, tienen costes de producción significativamente más bajos, por ejemplo, el coste medio de producción del diésel entre los años 2018 y 2019 fue de 540 dólares por tonelada equivalente de petróleo, y para la gasolina fue de 556 dólares en ese mismo periodo (Vivero Pol y Porras Gómez, 2009). Esta disparidad en los costes de producción tiene una doble explicación, por un lado y como factor clave, la madurez tecnológica de la industria del petróleo y sus derivados hace que el proceso de extracción y conversión en carburantes sea mucho más barato y esté mucho más desarrollado que el de los biocombustibles, además de contar los carburantes fósiles con amplias redes de infraestructuras de distribución y comercialización, desde miles de kilómetros de gaseoductos (4000 km en nuestro país) hasta cientos de industrias de refinería. Por otro lado, las economías de escala alcanzadas

en la industria de los combustibles fósiles, en contraste con la relativa novedad y la menor escala de producción de los biocombustibles, supone una clara ventaja para estas energías, en tanto que los costes fijos de explotación por unidad se ven abarataados por la producción creciente de las mismas.

En segundo lugar, tal y como ya hemos mencionado a lo largo del Trabajo, la rentabilidad de los biocombustibles depende en gran medida del precio del petróleo, así es que cuando los precios del petróleo son altos, los biocombustibles se vuelven más competitivos. Por ejemplo, el bioetanol de caña de azúcar de Brasil es rentable cuando el precio del barril de petróleo supera los 35 dólares, en Estados Unidos el bioetanol de maíz se vuelve competitivo con un precio del petróleo por encima de los 55 dólares, mientras que en la Unión Europea, el biodiésel es viable con precios del petróleo superiores a los 80 dólares por barril (Guerrero et al., 2010).

Por último, las políticas de apoyo y los subsidios públicos son esenciales para la viabilidad económica de los biocombustibles y para su competitividad frente a los carburantes fósiles. En la Unión Europea, la ya mencionada Directiva 2018/2001 establece metas para el uso de energía renovable en el transporte, incluyendo una cuota mínima de biocarburantes avanzados de al menos un 3,5% para 2030. Estas políticas buscan no solo reducir las emisiones, sino también fomentar el desarrollo tecnológico y la inversión en infraestructuras para la producción de biocombustibles, abaratando así los costes fijos relativos a su producción, permitiendo el desarrollo de esta industria mediante su protección pública hasta un punto donde sea competitiva por ella misma con los combustibles fósiles (Vivero Pol y Porras Gómez, 2009). Por su parte, en Estados Unidos los subsidios al etanol y los apoyos fiscales para el biodiésel han sido instrumentos clave para el desarrollo del mercado de biocombustibles, ayudando a compensar los mayores costes de producción y fomentando la inversión en nuevas tecnologías y plantas de producción, al igual que ocurre en la Unión Europea (Guerrero et al., 2010).

Así pues, aunque los costes de producción de los biocombustibles son generalmente más altos que los de los combustibles fósiles, su rentabilidad puede mejorar significativamente con los altos precios del petróleo que se esperan para las siguientes décadas, tal y como analizamos previamente, así como con el establecimiento de políticas de apoyo y fomento para esta incipiente industria.

3. CONCLUSIÓN

Tras este análisis a través del cual hemos podido conocer desde el panorama energético español y la situación de las energías renovables a nivel nacional, hasta los biocombustibles y los factores que influyen en ellos como fuente alternativa de energía verde, es hora de cerrar el Trabajo extrayendo conclusiones fundamentadas acerca de las cuestiones que nos han impulsado a desarrollarlo. Para ello, con las conclusiones vamos a responder a los tres objetivos fundamentales que nos marcamos al inicio del Trabajo, a saber:

- ¿Son los biocombustibles una fuente de energía viable para el futuro?
- ¿Pueden ser los biocombustibles una alternativa real a los combustibles fósiles?
- ¿Puede España convertirse en una potencia productora de biocombustibles?

¿Son los biocombustibles una fuente de energía viable para el futuro?

Como hemos podido analizar a lo largo del Trabajo, los biocombustibles tienen el potencial de convertirse en una fuente de energía viable para el futuro, siempre y cuando aborden adecuadamente los desafíos actuales y aprovechen las oportunidades existentes con la progresiva reducción del uso del petróleo y sus derivados. Como hemos visto, la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero es uno de los principales beneficios de los biocombustibles, disminuyendo las emisiones de CO₂ a la atmósfera en un 12% en el caso del bioetanol y un 41% en el caso del biodiésel, lo que los convierte en una opción atractiva en la lucha contra el cambio climático que tanta importancia ha venido cobrando durante las últimas décadas y cuya relevancia solo crecerá durante los años venideros.

El desarrollo tecnológico es crucial para la viabilidad futura de los biocombustibles, en tanto que los avances en la producción de biocombustibles de segunda y tercera generación, que utilizan materias primas no alimentarias y técnicas avanzadas de biotecnología, lidian con el problema y la principal crítica que se ha hecho a los mismos, el uso de cultivos alimentarios como el maíz o la caña de azúcar para la generación de energía. Así pues, frente a los críticos que argumentaban que el fomento de los biocombustibles incrementaría los precios de los alimentos y reduciría el espacio disponible para el cultivo de alimentos para la sociedad, los biocarburantes de segunda y tercera generación han surgido como la vía a través de la cual estos van a desarrollarse en

los próximos años, abandonando progresivamente los de primera generación, a la par que se reducen significativamente los costes de producción y mejoran la eficiencia en su explotación. Además, la investigación en biotecnología y modificación genética promete aumentar la eficiencia de la conversión de biomasa en biocombustibles, incrementando su poder calorífico hasta tratar de igualar el de la gasolina o el gasoil en las décadas venideras.

Como comentábamos, la demanda global de fuentes de energía renovable y sostenible sigue creciendo, impulsada por políticas de descarbonización y metas de energía renovable establecidas por organizaciones internacionales y gobiernos. La Unión Europea, como hemos analizado, ha establecido un objetivo de que al menos un 45% de la energía utilizada en la UE sea de origen renovable para 2030, lo que incluye una cuota significativa para los biocombustibles avanzados. Estos objetivos crean un entorno muy favorable para el desarrollo y la adopción de biocombustibles en detrimento de los carburantes fósiles, y sin duda constituyen una de las principales razones por las cuales, desde mi punto de vista, los biocarburantes van a convertirse en una de las grandes energías verdes

Sin embargo, es cierto que los biocombustibles deberán enfrentar la competencia de otras energías renovables, como la solar y la eólica, que han experimentado una significativa reducción en sus costes de producción y un aumento en su capacidad instalada, como ya hemos venido comentando. Estas energías no requieren la misma infraestructura de suministro de materias primas que los biocombustibles, lo que reduce sus costes operativos y aumenta su atractivo, y además han gozado de fuerte políticas de apoyo a nivel global, lo que ha favorecido su desarrollo en detrimento de los biocombustibles.

Así pues, a mi juicio, los biocombustibles son una fuente de energía más que viable para el futuro, siempre y cuando se superen los retos actuales y se desarrollen abandonando el uso de biomasa alimenticia, en tanto que la combinación de apoyo político, avances tecnológicos y la significativa reducción de emisiones, les hacen merecedores de tener la consideración de una de las grandes energías verdes a través de las cuales alcanzar un futuro energético sostenible. De esta manera, la transición hacia un mix energético verde debe integrar los biocombustibles como una pieza clave y no puede obviar la interesante solución intermedia que ofrecen entre los combustibles fósiles y la energía totalmente eléctrica.

¿Pueden ser los biocombustibles una alternativa real a los combustibles fósiles?

Relacionada con la cuestión anterior, uno de los objetivos de este Trabajo es concluir si los biocarburantes, más allá de ser una alternativa energética verde para el futuro, constituyen una opción real frente a los combustibles fósiles tradicionales.

Desde una perspectiva ambiental, los biocombustibles ofrecen beneficios significativos frente a los carburantes tradicionales, en tanto que el uso de estos carburante provenientes de la biomasa emite una significativa cantidad inferior de gases de efecto invernadero comparados con los combustibles fósiles. Así, el biodiésel reduce las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) en aproximadamente un 41%, y el etanol reduce estas emisiones en un 12%. Además, los biocombustibles, como hemos podido analizar, no contienen azufre, lo que reduce la emisión de óxidos de azufre que contribuyen a la lluvia ácida, así es que, en términos ambientales, estos representan una alternativa interesante a los carburantes fósiles.

Desde una perspectiva técnica, los biocombustibles pueden integrarse relativamente bien en las infraestructuras existentes de combustibles fósiles, especialmente el biodiésel, que puede utilizarse en motores diésel estándar sin necesidad de modificaciones significativas y además pueden distribuirse mediante la red existente de oleoductos, que en nuestro país suma más de 4000 kilómetros. Esto permite que los biocarburantes representen una transición más intermedia y menos costosa hacia el uso de energías verdes que la electricidad, que requiere de fuertes inversiones en infraestructuras de toda clase, desaprovechando al completo las ya existentes.

No obstante, la perspectiva económica resulta mucho más compleja para los biocombustibles, dado que los costes de producción de los mismos suelen ser mucho más altos que los de los combustibles fósiles. En concreto, la producción de biodiésel en la Unión Europea cuesta aproximadamente 835 dólares por tonelada y la de bioetanol en Estados Unidos cuesta alrededor de 646 dólares por tonelada, lo que, frente a los 540 y 556 dólares por tonelada que cuesta producir el diésel y la gasolina respectivamente, supone un aumento muy importante en los costes.

Además, la competitividad de los biocombustibles está también fuertemente ligada al precio del petróleo, dado que cuando los precios del petróleo son altos, los biocombustibles se vuelven más competitivos económicamente, pero cuando estos son más bajos, los biocarburantes requieren de fuerte subsidios e incentivos públicos para

desarrollarse. Tal y como hemos visto, para que en la Unión Europea el biodiésel sea viable, los precios del petróleo deben ser superiores a los 80 dólares por barril, lo que supone que estas fuentes de energía son enormemente sensibles a las variaciones de los precios del petróleo en los mercados internacionales, al menos por el momento. De esta manera, para que la brecha de viabilidad se vaya reduciendo, es necesario el desarrollo tecnológico de los biocombustibles de segunda y tercera generación, así como la obtención de economías de escala que hagan aún más rentables los mismos frente a los carburantes fósiles

Podemos concluir, por tanto, que los biocombustibles no representan una alternativa viable a los combustibles fósiles en la actualidad, dado que, aunque desde una perspectiva ambiental y técnica sí son una opción real, económicamente no son competitivos con los carburantes fósiles y se encuentran sumamente influenciados por sus precios. La razón principal es que estos aún necesitan de un periodo de desarrollo tecnológico e industrial que les haga alcanzar la madurez y las economías de escala de las que disponen los combustibles tradicionales, así como las cadenas de suministro y distribución existentes para los mismos. Es por ello que para que los biocombustibles sean una alternativa verdaderamente viable a los combustibles fósiles en el largo plazo, es necesario continuar apoyando desde las instituciones públicas el desarrollo tecnológico de los mismos.

¿Puede España convertirse en una potencia productora de biocombustibles?

Por su parte, España tiene el potencial de convertirse en una potencia en la producción y la exportación de biocombustibles debido a varias circunstancias y factores favorables, en particular, nuestro país cuenta con abundantes recursos naturales, una extensa superficie agrícola y una gran capacidad para generar residuos agrícolas y forestales, lo que proporciona una base sólida para la producción de biomasa. Así pues, España cuenta con, aproximadamente, 23 millones de hectáreas dedicadas a la agricultura, de las cuales 17 millones son tierras arables y cultivos permanentes que han venido generando elevadas cantidades de residuos que pueden ser empleados por la industria de los biocombustibles como biomasa.

Junto a ello, el hecho de que el gobierno español y la Unión Europea hayan implementado políticas de apoyo y fomento de los biocombustibles resulta fundamental para situar a nuestro país en una posición favorable para el desarrollo de esta incipiente industria, como bien hemos venido comentando. De esta manera, en nuestro país se ha establecido un

marco regulatorio que, más allá de establecer las normativas de producción y explotación, ha promovido su uso, estableciendo objetivos anuales de incorporación y proporcionando un marco de seguridad para los inversores. Además, los biocombustibles en España están exentos del Impuesto Especial sobre Hidrocarburos, lo que reduce su coste final y mejora su competitividad frente a los combustibles fósiles, punto esencial para su expansión.

Por otro lado, el hecho de que nuestro país cuente con una sólida red de oleoductos y una infraestructura portuaria bien desarrollada, lo que facilita la logística necesaria para el transporte y distribución de biocombustibles, sitúa a España en una posición muy ventajosa frente a otros Estados de nuestro entorno para comerciar con estos carburantes, otorgando una ventaja competitiva muy interesante. Además, España tiene capacidades de investigación avanzadas en el sector de los biocombustibles, con instituciones como el Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (INIA) y la Plataforma Tecnológica Española de Biocarburantes (BIOPLAT), lo cual es imprescindible para la viabilidad a largo plazo y la competencia con los combustibles fósiles.

Sin embargo, también debemos mencionar que España enfrenta desafíos importantes para la producción de estos carburantes, en concreto, la competencia con otros cultivos alimentarios y la posible deforestación para la producción de biomasa para los biocombustibles de primera generación, puede afectar negativamente a la seguridad alimentaria y aumentar los precios de los alimentos en nuestro país, elemento clave que debemos tomar en consideración. Además, otro desafío que enfrenta nuestro país es el alto coste de producción de biocombustibles de segunda generación, que, pese a lidiar con el primer problema, supone otra amenaza al costar el mantenimiento de una industria de estas características entre 125 y 250 millones de dólares por año, lo cual es hasta diez veces más caro que una planta de biodiésel de primera generación.

En conclusión, podemos afirmar que España dispone de la capacidad para convertirse en una potencia productora de biocombustibles a nivel europeo y global gracias a los abundantes recursos naturales y agrícolas que pueden ser empleados por la industria de los biocarburantes, por su situación política y legal de fomento y desarrollo de energías renovables alternativas, así como por el desarrollo tecnológico que existe en nuestro país en materia energética. Desde mi punto de vista, nuestro país se trata de un gigante dormido con respecto a esta industria que se ha visto ensombrecida por el desarrollo de

la energía solar y eólica, y opino que, con el apoyo adecuado y la gestión estratégica correcta, España puede aprovechar sus ventajas y superar los desafíos para convertirse en un líder en el sector de los biocombustibles.

4. BIBLIOGRAFÍA

Álvarez Maciel, C. (2009). Biocombustibles: desarrollo histórico-tecnológico, mercados actuales y comercio internacional. *Economía Informa, Universidad Nacional Autónoma de México*, 359, 63-89. <http://www.economia.unam.mx/publicaciones/econinforma/pdfs/359/04carlosalvarez.pdf>

Amadoz, S. (2023, 26 mayo). ¿Cuántos coches hay en España y cuántos son eléctricos? *El Motor*. <https://motor.elpais.com/actualidad/cuantos-coches-hay-en-espana-y-cuantos-son-electricos/>

Barrios, A. M. (2023, 7 diciembre). La logística de los carburantes en España. *El Periódico de la Energía*. <https://elperiodicodelaenergia.com/la-logistica-de-los-carburantes-en-espana/>

De Gregorio, M. (2019). Biomasa en España. Generación de valor añadido y análisis prospectivo. En Instituto de Estudios Fiscales. Secretaría de Estado de Presupuestos y Gastos. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7256733>

De Lucas Herguedas, A. I., Del Peso Taranco, C., Rodríguez García, E., & Prieto Paniagua, P. (2012). Biomasa, biocombustibles y sostenibilidad. En Researchgate (ISBN: 978-84-931891-5-0). Centro Tecnológico Agrario y Agroalimentario. https://www.researchgate.net/profile/Ana-De-Lucas/publication/260383181_Biomasa_biocombustibles_y_sostenibilidad/links/54201c510cf241a65a1b01e5/Biomasa-biocombustibles-y-sostenibilidad.pdf

Del Campo Colmenar, I., Pérez-Vega, R., & Gil Barnó, J. (2021). Estado de desarrollo, mercado y potencial de los biocombustibles avanzados en España. *Industria Química*, 91, 66-71. <https://www.industriaquimica.es/articulos/20210607/estado-desarrollo-mercado-potencial-biocombustibles-avanzados-espana>

Espejo Marín, C., Millán, D., & García-Marín, R. (2016, noviembre). Contribución al estudio del sector de los biocarburantes en España. *Scripta Nova Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales*. https://www.researchgate.net/publication/312166894_Contribucion_al_estudio_del_sector_de_los_biocarburantes_en_Espana

Esteves Ribeiro, B. (2014, junio). La dimensión social en la evaluación de tecnologías: el caso del etanol utilizado como biocombustible. *GEDOS*. https://gredos.usal.es/bitstream/handle/10366/125487/IUECT_EstevesRibeiro_Dimensi%C3%B3n.pdf?sequence=1&isAllowed=y

García Howell, D. (2021). ¿Estamos avanzando en la transición energética en América Latina?: análisis y consideraciones. *Boletín Política Comercial y Ambiental*, 13, 2-20. <https://www.kas.de/documents/273477/5442457/Estamos+avanzando+en+la+transici%C3%B3n+energ%C3%A9tica+de+Am%C3%A9rica+Latina.pdf/393ae197-2735-5902-1648-fc7881a4ca37?version=1.0&t=1611057850584>

GDA. (2023, 12 junio). *Residuos Agrícolas y Ganaderas | Clasificación y Consecuencias / GDA*. La Plataforma Del Amianto De España. <https://gestiondelamianto.com/residuos-agricolas-y-ganaderas/>

Gómez-Calvet, R., Martínez-Duart, J. M., & Gómez-Calvet, A. R. (2021). Comportamiento del sector eléctrico español en 2019 y su relación con la transición energética 2030. *Papeles de Energía*, 15, 7-25. <https://www.funcas.es/wp-content/uploads/2021/12/Roberto-G%C3%B3mez-Calvet-Jos%C3%A9-Manuel-Mart%C3%ADnez-Duart-y-Ana-Rosa-G%C3%B3mez-Calvet.pdf>

Guerrero, R., Marrero, G., Martínez-Duart, J. M., & Puch, L. A. (2010). *Biocombustibles líquidos: Situación actual y oportunidades de futuro para España* (Vol. 19). Fundación Ideas.

Hernández Sobrino, F. (2010). *Análisis técnico, económico y medioambiental de los potenciales sustitutos de los hidrocarburos en el mercado español de los combustibles para automoción* / *Archivo Digital UPM*. <https://oa.upm.es/4657/>

Lara García, F. J. (2008). Análisis del sector de las energías renovables en España estudio comparativo a nivel europeo. *Economía Industrial*, 380, ISSN 0422-2784. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3704709>

Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (2018). *Desperdicio de alimentos de los hogares en España*. https://www.mapa.gob.es/es/alimentacion/temas/desperdicio/19informe_desperdicio_2018_tcm30-620749.pdf

Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA). (2020). *Encuesta sobre Superficies y Rendimientos Cultivos (ESYRCE). Encuesta de Marco de Áreas de España*. (2020). <https://www.mapa.gob.es/es/estadistica/temas/estadisticas-agrarias/agricultura/esyrce/>

Ministerio de Industria, Energía y Turismo. (2015). Real Decreto 1085/2015, de 4 de diciembre, de fomento de los biocarburantes. BOE-A-2015-13219. <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2015-13208>

Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (2021). Balance energético de España 1990-2021. <https://www.miteco.gob.es/es/energia/estrategia-normativa/balances/balances.html>

Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico. (2019). *Libro de la Energía en España 2019. Balance energético de España*. <https://www.miteco.gob.es/es/energia/estrategia-normativa/balances/balances.html>

Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (2020). *Plan Nacional Integrado de Energía y Clima 2021-2030 (PNIEC)*. <https://www.miteco.gob.es/es/prensa/pniec.html>

Nava-García, F. J., & Doldán-García, X. R. (2014). Cultivos energéticos. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*, 11, 25-34. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5197618>

Orús, A. (2024). *El sector energético en España*. (2024, 4 enero). Statista. <https://es.statista.com/temas/7651/el-sector-energetico-en-espana/#topicOverview>

Parlamento Europeo. (2018). Directiva (UE) 2018/2001 sobre el fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables. *Diario Oficial de la Unión Europea*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=CELEX%3A32018L2001>

Parlamento Europeo. (2009). *Directiva - 2009/28 - EN - EUR-Lex*. (2009, 23 abril). <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=celex%3A32009L0028>

Peropadre, C. (2020). *La prohibición de la exploración, investigación y explotación de hidrocarburos en España ¿Es esto un ejemplo de la sociedad del conocimiento?* Tierra Y Tecnología. <https://www.icog.es/TyT/index.php/2020/07/la-prohibicion-de-la-exploracion-investigacion-y-explotacion-de-hidrocarburos-en-espana-es-esto-un-ejemplo-de-la-sociedad-del-conocimiento/>

Solorio, I. (2011). La europeización de la política energética en España: ¿qué sendero para las renovables? *Revista Española de Ciencia Política*, (26), 105-123. <https://recyt.fecyt.es/index.php/recp/article/view/37525>

Vargas, V. M. T., Mayorga, D. F. B., Álvarez, M. P. F., & Espinoza, J. P. C. (2022). Los biocombustibles como alternativa de energía a partir de recursos renovables y/o desechos. *Polo del Conocimiento: Revista científico-profesional*, 7 (7), 386-407.

Vivero Pol, J. L., & Porras Gómez, C. (2009). Los biocombustibles en el marco de la crisis alimentaria, energética y ambiental. reflexiones y propuestas para España. En *Fundación Alternativas* (ISBN: 978-84-92424-53-5). Observatorio de Política Exterior Española. <https://fundacionalternativas.org/publicaciones/los-biocombustibles-en-el-marco-de-la-crisis-alimentaria-energetica-y-ambiental-reflexiones-y-propuestas-para-espana/>

Declaración de Uso de Herramientas de Inteligencia Artificial Generativa en Trabajos Fin de Grado

Por la presente, yo, Javier Gutiérrez Aguilera, estudiante de Administración y dirección de empresas y Derecho (E3) de la Universidad Pontificia Comillas, al presentar mi Trabajo Fin de Grado titulado “Análisis de una energía verde para un futuro energético sostenible en España: los biocombustibles”, declaro que he utilizado la herramienta de Inteligencia Artificial Generativa ChatGPT u otras similares de IAG de código sólo en el contexto de las actividades descritas a continuación:

1. **Referencias:** Usado conjuntamente con otras herramientas, como Science, para identificar referencias preliminares que luego he contrastado y validado.
2. **Traductor:** Para traducir textos de un lenguaje a otro.

Afirmo que toda la información y contenido presentados en este trabajo son producto de mi investigación y esfuerzo individual, excepto donde se ha indicado lo contrario y se han dado los créditos correspondientes (he incluido las referencias adecuadas en el TFG y he explicitado para que se ha usado ChatGPT u otras herramientas similares). Soy consciente de las implicaciones académicas y éticas de presentar un trabajo no original y acepto las consecuencias de cualquier violación a esta declaración.

Fecha: 03/06/2024

Firma: Javier Gutiérrez Aguilera