

Capítulo segundo

Ecocombustibles y combustibles sintéticos y su papel ante el panorama actual

Berta Cabello Calvo

Resumen

La actividad humana ha contribuido notablemente al cambio climático. Los esfuerzos actuales, tanto públicos como privados, van encaminados a mitigar los efectos del calentamiento global mediante el desarrollo de tecnologías de energía renovable.

Dentro de estas alternativas, los combustibles renovables son una oportunidad para el desarrollo tecnológico e industrial de Europa y, en particular, de España, ya que, además de contribuir a descarbonizar la economía, mejoran la seguridad energética y fomentan la economía circular y el desarrollo de las zonas rurales.

Los combustibles renovables pueden dividirse en tres grandes grupos. El primero es el de los biocombustibles, que son combustibles que derivan de fuentes orgánicas como la biomasa, aceites vegetales sostenibles y residuos orgánicos. El segundo son los combustibles sintéticos, que se producen a partir del hidrógeno procedente de la electrólisis del agua y la captura de CO₂. El tercero es el hidrógeno renovable que se obtiene a partir de la electrólisis del agua o del reformado de materias primas renovables.

Durante los últimos 20 años se han ido incorporando progresivamente biocombustibles al transporte ligero y pesado, hasta representar el 10% de su energía en 2022 en Europa. Otros sectores, como la aviación o el marítimo, aunque han visto mejoras significativas en sus emisiones vía eficiencia, todavía tienen una incorporación de fuentes renovables despreciable. Será en los próximos diez años cuando deberán desplegarse estas alternativas en dos sectores en los que la electrificación es más compleja y, por sus características, la flota tiene una vida útil muy superior al transporte ligero e incluso al pesado.

Palabras clave

Calentamiento global, biocombustibles, combustibles sintéticos, ruta biológica, hidrogeno renovable, seguridad.

Ecofuels and synthetic fuels and their role in the current panorama

Executive Summary

Human activity has notably contributed to climate change. Current efforts, both public and private, are aimed at mitigating the effects of global warming through the development of renewable energy technologies.

Among these alternatives, renewable fuels are an opportunity for technological and industrial development in Europe and particularly in Spain since, in addition to contributing to decarbonizing the economy, they improve energy security, promoting the circular economy and the development of rural areas.

Renewable fuels can be divided into three main groups. The first one is biofuels –fuels derived from organic sources such as biomass–, sustainable vegetable oils and organic waste. The second is synthetic fuels, which are produced from hydrogen from water electrolysis and CO₂ capture. The third is renewable hydrogen obtained from water electrolysis or the reformation of renewable raw materials.

During the last 20 years, biofuels have been progressively incorporated into light and heavy-duty transport, until they represent 10% of its energy in 2022 in Europe. Other sectors such as aviation or maritime, although they have seen significant improvements in their emissions via efficiency, still have a negligible incorporation of renewable sources. In the next ten years these alternatives must be deployed in two sectors in which electrification is more complex and has a longer lifetime than light and heavy-duty transport.

Keywords

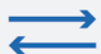
Global warming, biofuels, synthetic fuels, biological route, renewable hydrogen, security.

VALOR DE LOS COMBUSTIBLES RENOVABLES

IMPULSANDO LA DESCARBONIZACIÓN DE LA ECONOMÍA, LA VALORIZACIÓN DE RESIDUOS Y LA CAPTURA DE CARBONO.



DESCARBONIZACIÓN DE SECTORES CLAVE: TRANSPORTE, INDUSTRIA Y MATERIALES...



A TRAVÉS DE PLATAFORMAS DE CIRCULARIDAD Y CAPTURA DE CARBONO



VALORIZANDO CO₂ Y RESIDUOS URBANOS E INDUSTRIALES Y DEL SECTOR PRIMARIO (AGROFORESTALES Y GANADEROS)

INNOVACIÓN

GESTIÓN DEL CONOCIMIENTO

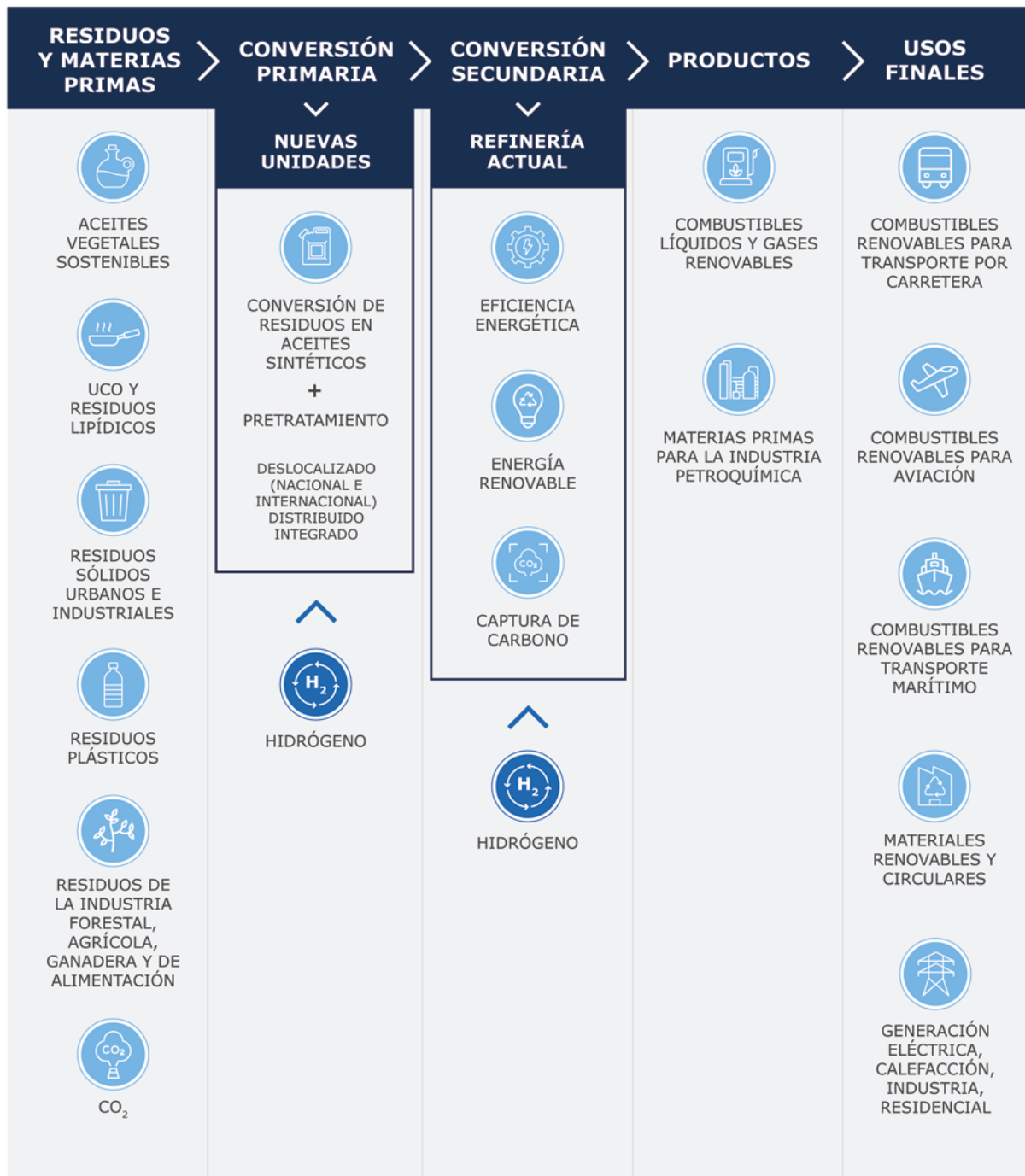


FIT FOR 55: CLIMATE GOALS



CIRCULAR ECONOMY ACTION PLAN

CADENA DE VALOR DE LOS COMBUSTIBLES RENOVABLES



1. Introducción

Puede parecer muy novedosa, pero la idea de los combustibles renovables ya se exploró en el siglo XIX. Curiosamente, estos combustibles se usaban en motores de combustión interna, especialmente en el entorno europeo. En 1890, el ingeniero francés y alemán, Rudolf Diesel, inició una serie de investigaciones con el objetivo de desarrollar un motor que lograra funcionar de manera eficiente a partir de aceites vegetales. Dos años más tarde, Rudolf consiguió finalmente su primera patente de un motor novedoso que, en vez de necesitar chispa, empleaba una mezcla de aire y combustible y, una vez sometidos a compresión, generaban una explosión. En la Exhibición Mundial de París de 1900, Rudolf presentó un motor diésel diseñado para utilizar petróleo, que se probó a propuesta del Gobierno francés, con aceite de cacahuete casi idénticamente a los combustibles fósiles, con el objetivo de dotar a las colonias francesas con autosuficiencia energética y de combustibles para el transporte. Para la época, este motor representaba la opción más eficiente y a la vez más potente y ecológica. Este es un ejemplo de que, aunque la mayoría de los primeros motores de combustión para automóviles de aquel entonces –incluidos el de Karl Benz y los primeros de compresión ideados por Rudolf Diesel– estaban diseñados para combustibles líquidos derivados del crudo, desde muy pronto se exploró la posibilidad de utilizar combustibles de origen vegetal o animal. El mismo Rudolf Diesel¹ fue más allá, al afirmar que, en un futuro, el sol podría seguir proporcionando energía a través de combustibles de origen vegetal, aun cuando se agotasen las reservas de combustibles fósiles.

Sin embargo, el concepto de biocombustibles se abandonó más tarde, debido a la existencia de combustibles fósiles abundantes y baratos, y siempre fue minoritario frente a la abundancia, eficiencia y economía representadas por los combustibles fósiles líquidos. En la época preindustrial, la humanidad dependía de la biomasa para generar luz y calor. Sin embargo, a medida que la población del planeta crecía y se urbanizaba, el sistema energético basado en la biomasa empezó a presentar problemas estructurales. En Inglaterra, por ejemplo, la madera comenzó a escasear de manera preocupante en los siglos XVI y XVII, ya que no solo se usaba como combustible, sino que también constituía

¹ Moon, J. F. (1974). Rudolf Diesel and the Diesel Engine. Madison: Priory Press.

un material de construcción ampliamente utilizado. La población londinense pasó de 60.000 habitantes en el año 1534 a más de 500,000 habitantes en el año 1696, y el precio de la madera aumentó más que cualquier otro producto.

La población pasó de 700.000 habitantes en el año 1750 a más de 4.500.000 en 1901. El transporte en Londres era motivo de insalubridad para la población, ya que, en 1900, se hacía uso de aproximadamente unos 50.000 caballos para el desplazamiento urbano que generaban alrededor de 1.000 toneladas de estiércol al día². Esto sin contar que cada caballo tenía que orinar por las calles de la ciudad, causando olores insoportables.

Los combustibles fósiles cambiaron esa realidad y redujeron a la sociedad de su dependencia de la biomasa, como fuente primaria de energía. Primero, el carbón y, más tarde, el petróleo y el gas natural permitieron un rápido crecimiento y desarrollo de los procesos de la industria, la agricultura, el transporte y la sociedad en general.

El mundo, tal y como lo conocemos hoy, ha cambiado radicalmente en relación al de principios del siglo XIX, antes de que los combustibles fósiles empezaran a usarse a escala. La salud y el bienestar humano han mejorado notablemente lo que ha favorecido un aumento de la población mundial, desde los mil millones de 1800 hasta los casi ocho mil millones actuales. El sistema energético basado en combustibles fósiles es el elemento vital de la economía moderna. Los combustibles fósiles impulsaron la revolución industrial, sacaron a millones de personas de la pobreza y configuraron el mundo moderno tal y como lo conocemos hoy. En lo que se refiere a los combustibles líquidos fósiles, destacaban por ser ideales para el transporte, energéticamente más densos, proporcionando el doble de capacidad energética por unidad que otras fuentes como el carbón. Y lo más importante: eran líquidos, lo que ha permitido el desarrollo del motor de combustión interna como pilar del transporte en la actualidad. Este hecho ha modificado de manera innegable el curso de la historia en diversas ocasiones. Por ejemplo, durante la Primera Guerra Mundial, los ejércitos británico y estadounidense sustituyeron el carbón por combustibles derivados del petróleo permitiendo que sus buques navegaran más rápido que los de los alemanes, que muchos de ellos seguían consumiendo carbón.

² Jackson, L. (2014). *Dirty Old London: The Victorian Fight Against Filth*. Yale University Press.

Sin embargo, a medida que la población crecía, la actividad humana, incluyendo el transporte, también aumentaba. Con la combustión de hidrocarburos fósiles (carbón, gas natural y petróleo) para generar energía y con diferentes fines, aumentaba la presencia del CO₂ en la atmósfera, llegando a ser actualmente el epicentro de la crisis climática y siendo el transporte uno de los mayores contribuyentes de emisiones de gases de efecto invernadero (GHG). Es importante destacar que el sector del automóvil ha realizado esfuerzos gigantes en la reducción de las emisiones durante las últimas décadas. La media de emisiones de CO₂ de los coches nuevos están en continuo descenso, reduciéndose en solo los últimos tres años en 44 g/km. Hoy en día, por ejemplo, la medida de emisiones de CO₂ de los coches nuevos es de 77 g/km recorrido y se espera que siga bajando hasta llegar incluso a los 71 g/km de CO₂ durante el 2023. Esta cifra se aleja de manera considerable de la media del parque automovilístico, que se sitúa en 138 gramos de CO₂ por kilómetro recorrido, siendo un 44% inferior, y pone de manifiesto la necesidad de la renovación del parque. Como consecuencia, en materia de emisiones de gases de efecto invernadero, el transporte por carretera es el responsable del 25% de las emisiones totales de CO₂³. Todo ello obliga a buscar soluciones a fin de hacer frente a esta preocupante situación medioambiental.

Son muchos los factores que impiden progresar rápidamente en este sentido. Primero, las opciones de descarbonización del transporte no han alcanzado la madurez suficiente como para sustituir totalmente al vehículo convencional. La electrificación y los combustibles renovables son alternativas en desarrollo que requieren un soporte regulatorio y la aceptación del consumidor por razones de coste o de conveniencia de uso. Segundo, la renovación del parque automovilístico no está actualmente incentivada por la incertidumbre que provoca el estado de madurez de las alternativas y la prohibición futura de vehículos de motor de combustión interna con emisiones directas, provocando así el efecto contrario al deseado y envejeciendo el parque. En España, por ejemplo, la edad media de los coches era de 13,5 años a cierre de 2021, superior a la media del continente, que se sitúa en los 11,5 años⁴.

En relación a los combustibles renovables, mientras que durante los últimos 20 años se han ido incorporando, en forma

³ Datos de la OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos).

⁴ ANFAC (Asociación Española de Fabricantes de Automóviles y Camiones).

de biocombustibles, al transporte ligero y pesado, hasta representar el 10% de su energía en 2022 en Europa, otros sectores como la aviación o el marítimo, aunque han visto mejoras significativas en sus emisiones vía eficiencia, todavía tienen una incorporación de fuentes renovables despreciable. Será en los próximos 10 años cuando deberán desplegarse estas alternativas en dos sectores en los que la electrificación es más compleja y, por sus características, la flota tiene una vida útil muy superior al transporte ligero e incluso al pesado.

Por tanto, ante un reto tan importante, el camino más eficiente y con mayor probabilidad de éxito para descarbonizar sectores que son responsables de gran parte de las emisiones, como el transporte, será aquel que concilie las distintas opciones tecnológicas, con dos soluciones para la movilidad: una basada en la electrificación, siempre de energía renovable, y a la vez, otra basada en un motor de combustión que se alimente de combustibles renovables, fuentes que son objeto de análisis del presente capítulo y que también ofrecen cero emisiones netas.

2. Los combustibles renovables

Un combustible es cualquier material capaz de liberar energía cuando se cambia o transforma su estructura química mediante oxidación con desprendimiento de calor. Supone la liberación de una energía de su forma potencial a una forma utilizable, ya sea directamente (energía térmica) o energía mecánica (motores térmicos) dejando como residuo calor, dióxido de carbono y algún otro compuesto químico.

Cabe considerar, por otra parte, que la mayoría de los combustibles, independientemente de su origen y al margen de que sean sólidos, líquidos o gaseosos, están compuestos, básicamente, por carbono (C) e hidrógeno (H). Además de estos componentes principales pueden tener otros como azufre (S), humedad (H₂O), cenizas, etc.

Dentro de la familia de combustibles, los combustibles renovables se obtienen a partir de fuentes renovables como residuos orgánicos, biomasa, hidrógeno renovable y CO₂ capturado. Este tipo de combustibles tienen una composición química muy similar a los tradicionales, siendo su mayor diferencia el mencionado origen.

Estos pueden llegar a reducir entre un 65 y un 110% las emisiones de CO₂ respecto a los combustibles fósiles convencionales,

por lo que tienen potencial para convertirse en una de las soluciones principales de reducción de emisiones en la economía en los próximos años.

Los combustibles renovables se pueden dividir en tres tipos:

- a) *Biocombustibles*. Son combustibles derivados de fuentes orgánicas, como la biomasa, aceites vegetales sostenibles y residuos orgánicos. Con estos, pueden fabricarse biocombustibles tradicionales o biocombustibles avanzados. Los biocombustibles tradicionales son los producidos a partir de azúcares, almidón, cultivos oleaginosos y grasas animales. Los biocombustibles avanzados son aquellos producidos a partir de materias primas lignocelulósicas (residuos forestales, agrícolas y biomasa leñosa), cultivos no alimentarios, residuos urbanos o industriales. Existen ya a día de hoy tecnologías maduras de producción de biocombustibles, como el etanol, el biodiésel o el hidrobiodiésel.
- b) *Combustibles sintéticos*. Se producen a partir del hidrógeno procedente de la electrólisis del agua y la captura de CO₂. Actualmente esta tecnología está en desarrollo, con la primera planta comercial de metanol sintético⁵ y la primera planta demo de e-gasolina puesta en marcha en 2022⁶.
- c) *Hidrógeno renovable*. El hidrógeno renovable, a diferencia del hidrógeno gris, proviene de fuentes renovables. Se obtiene a partir de la electrólisis del agua o del reformado de materias primas renovables. El proceso de electrólisis se basa en separar la molécula de agua en oxígeno e hidrógeno mediante la utilización de una corriente eléctrica de origen renovable. Este hidrógeno se puede emplear en la fabricación de combustibles sintéticos y en el futuro tiene el potencial para cubrir parte de la demanda en el sector de la movilidad, industrial y residencial.

3. Ventajas de los combustibles renovables

La principal y más directa ventaja que tienen los combustibles renovables es que, en su mayoría, son aptos para su utilización

⁵ Commercial scale ETL plant in China — CRI - Carbon Recycling International

⁶ ABC. (2021). Así será la primera planta comercial del mundo para producir combustible neutral en CO₂. Disponible en: https://www.abc.es/motor/reportajes/abci-sera-prime-ra-planta-comercial-mundo-para-producir-combustible-neutral-202109130017_noticia.html

en los motores de los vehículos actuales. La reducción de emisiones que tiene su uso en dichos motores proviene de la captura del CO₂ del aire, realizado durante el proceso de fabricación de dichos combustibles. Según el IPCC, el CO₂ proveniente de la combustión o descomposición de material biogénico de vida corta retirado de donde se cultivó, tendrá un factor de emisión cero⁷.

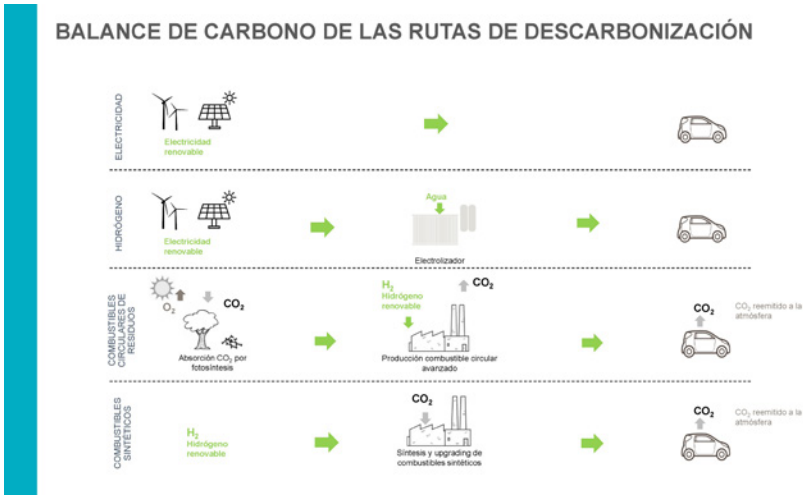


Figura 1. Balance de carbono de las rutas de descarbonización.
Fuente: elaboración propia

El uso de combustibles renovables fomenta por tanto el desarrollo y eficiencia de los motores actuales y la renovación de la flota de vehículos, promoviendo la reducción de emisiones a corto y medio plazo.

Es importante destacar que el hecho de que los combustibles renovables sean aptos para los vehículos actuales conlleva que se pueda utilizar la infraestructura existente tanto para su producción como para su distribución, lo que supone otra ventaja importante, ya que contribuye a preservar el empleo industrial.

Adicionalmente, la producción de combustibles renovables en instalaciones existentes puede migrar las mismas a utilizar materias primas de carácter local, lo que tiene el potencial de impulsar la economía circular, la seguridad de suministro y diversificar la matriz energética. Además, al emplear en muchos casos residuos

⁷ 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Corrected as of June 2019. Volume 1, chapter 1, p. 6

del sector primario su producción supone una oportunidad para el mundo rural.

Otra ventaja importante, anteriormente mencionada, es que tienen el potencial de reducir entre un 65 y un 110% las emisiones de CO₂ que emiten los combustibles convencionales, por lo que pueden ser la solución más clara para aquellos sectores difíciles de electrificar, como el transporte pesado, la aviación y el marino, así como ciertas industrias como el acero o las cementeras, y una solución complementaria y rápida para sectores electrificables.

Relacionado con el punto anterior, cabe destacar que el combustible que se suministró en 2022 en las estaciones de servicio contiene ya un 10% en energía de combustibles renovables⁸ y se espera que en los próximos años se vaya incrementando su incorporación por el impulso regulatorio y por la demanda de clientes con objetivos de reducción de emisiones de sus operaciones.

Por último, es importante subrayar que dada la dificultad que conlleva una cadena de valor tan compleja, esta es auditada por organismos certificadores independientes para asegurar la trazabilidad y sostenibilidad de todo el proceso y garantizar la reducción de emisiones.

4. Cambio climático, alternativas

Desde hace algunas décadas, la sociedad está cada vez más concienciada sobre las consecuencias del cambio climático en la Tierra y las causas que lo han provocado relacionadas con la acción humana. Desde el siglo XIX, debido a las nuevas formas de producción y consumo, se ha podido comprobar un incremento en el efecto invernadero, lo que ha conllevado un calentamiento global. A pesar de que su mitigación supone un gran reto se considera que aún hay margen para revertir la situación.

Los últimos 150 años han supuesto un modelo de desarrollo basado en una economía lineal. La economía lineal es el modelo tradicional, donde para fabricar productos se extraen materias primas, se produce y luego se desecha, sin tener en cuenta la huella ambiental y sus consecuencias.

⁸ *Repsol Global*. A la vanguardia en el desarrollo de biocombustibles. Disponible en: <https://www.repsol.com/es/energia-innovacion/technology-lab/reduccion-emisiones/biocombustibles/index.cshtml>

A lo largo de este periodo se han emitido unas cantidades muy elevadas de gases de efecto invernadero (GEI), como por ejemplo el dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso y determinados compuestos fluorados, como consecuencia del uso de combustibles fósiles para la creciente actividad industrial, que han conllevado un aumento de las temperaturas en la tierra.

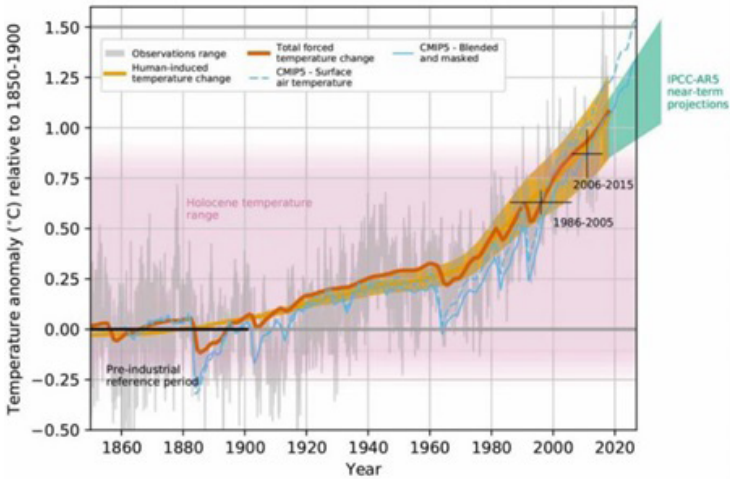


Figura 2. Temperatura relativa a 1850-1900.
Fuente: Global warming of 1.5 °C. IPCC special report (2018)

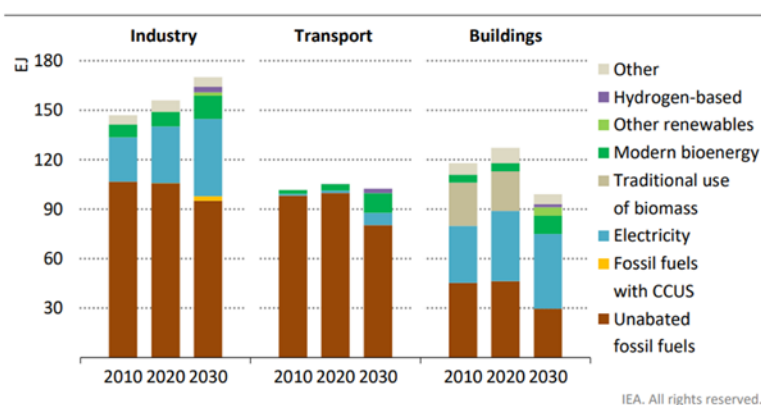
De continuar esta tendencia, el calentamiento global puede tener consecuencias catastróficas para nuestro planeta, lo que hace necesario que se tomen medidas urgentes. Estas medidas pasan porque tanto las empresas, como los países e, incluso, los propios ciudadanos den pasos para reducir las emisiones a la atmósfera.

Cabe destacar que la principal y más rápida alternativa pasa por reducir el consumo de energía mediante un uso racional de la misma y mediante la mejora de la eficiencia energética de los diferentes procesos implicados. Una vez minimizado el consumo es cuando las alternativas renovables deben aportar a la reducción de emisiones. En este sentido, se hace necesario medir las emisiones en todo el ciclo de vida y no solo en su uso.

Dentro de las alternativas renovables, existen varias tecnologías, todas ellas en distintos estados de desarrollo y complementarias entre sí. El reto de alcanzar la neutralidad climática es tan enorme que debemos contar con todas ellas para tener éxito, dado que en el camino de desarrollo nos encontraremos con lími-

tes o desventajas que no hagan posible que una sola alternativa sea la solución.

Podríamos resumir las alternativas en tres: electrificación (principalmente renovable, pero también nuclear), combustibles renovables y captura y uso de carbono. Existen multitud de escenarios que simulan la neutralidad climática y, aunque hay múltiples opciones para llegar al objetivo, casi todas las fuentes coinciden en que no hay una tecnología claramente ganadora, sino que la combinación de varias será la que nos lleve al éxito.



Electrification and the adoption of low emissions fuels accelerate in the 2020s

Notes: EJ = exajoules. CCUS from ammonia production is excluded from this figure as it applies to process

Figura 3. Consumo de energía final por fuente energética y sector hasta 2030 en el «escenario» Net Zero Emissions by 2050. Fuente: World Energy Outlook 2021. Agencia Internacional de la Energía

Para fomentar el desarrollo de estas alternativas, una de las iniciativas que los países han comenzado a implantar es la fiscalidad energética. Esto consiste en introducir impuestos sobre las actividades contaminantes como medida de protección ambiental. Otras iniciativas que han comenzado a implantar es incentivar la innovación en energías limpias y nuevos vectores energéticos además de establecer un precio del carbono.

Las empresas, por su parte, están apostando por soluciones climáticas sostenibles, como puede ser el desarrollo de nuevas tecnologías que ayuden en la descarbonización, además de acometer iniciativas que buscan la compensación de emisiones, como por ejemplo proteger los bosques o la utilización de biocombustibles.

Para conseguir la neutralidad climática, un sector clave es el transporte. En España, las emisiones de gases de efecto invernadero

(GEI) en el año 2019 supusieron 323,2 millones de toneladas, de las cuales el sector transporte supuso más 135 millones de toneladas⁹.

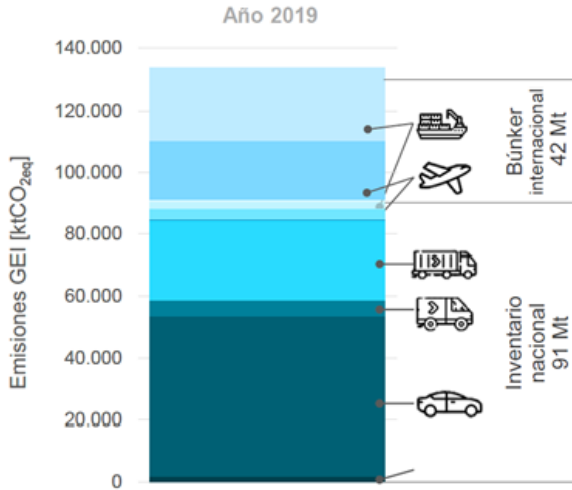


Figura 4 Emisiones GEI del sector transporte 2019. Fuente MITERD (2021). Informe de inventario nacional gases de efecto invernadero (serie 1990-2019)

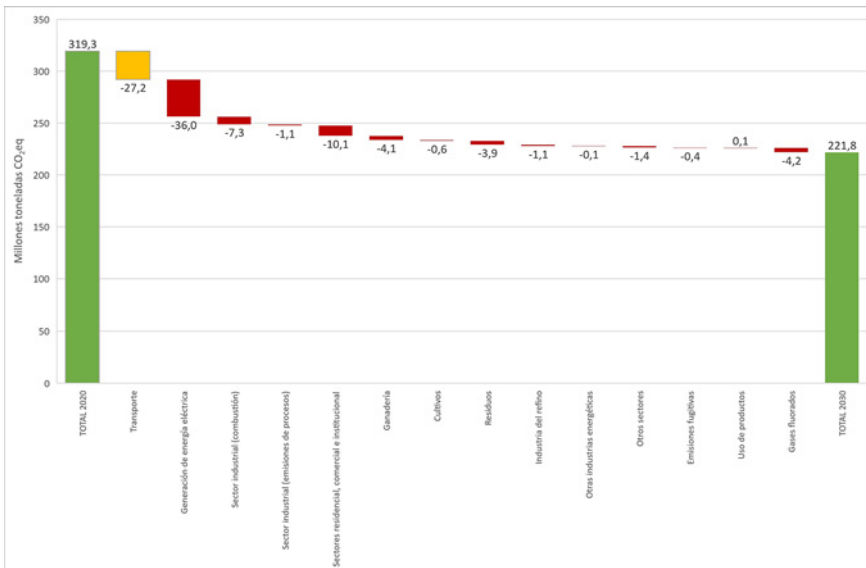


Figura 5. Propuesta de reducción emisiones a 2030. Fuente: PNIEC

⁹ Instituto Nacional de Estadística. Cuentas medioambientales. Cuenta de Emisiones a la Atmósfera. Avance 2019 y año 2018.

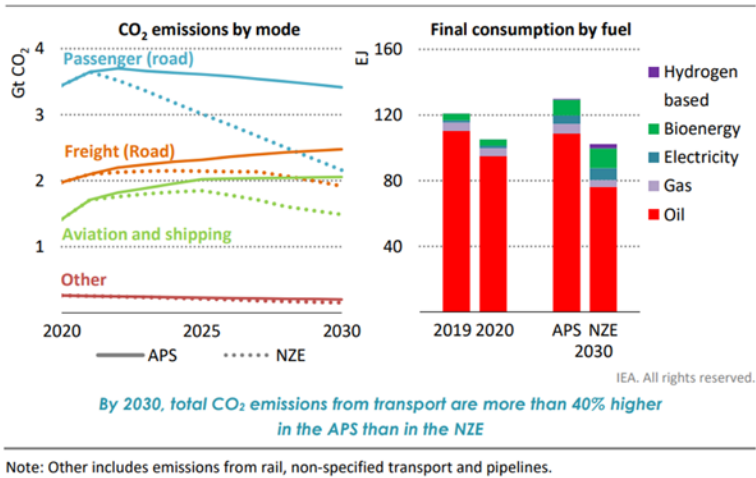


Figura 6. Emisiones de CO₂ y consumo final de energía en el transporte. Escenarios Announced Pledges y Net Zero Emissions by 2050. Fuente: World Energy Outlook 2021. Agencia Internacional de la Energía

La Ley de Cambio Climático y Transición Energética y el Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC) establecen una reducción de las emisiones en 2030 vs 1990 del 23%. Según el PNIEC, «Las medidas contempladas permiten pasar de los 340,2 millones de toneladas de CO₂ equivalente (MtCO₂-eq) emitidos en 2017 a 226 MtCO₂-eq en 2030 (lo que supondría una reducción de un 21%)».

El sector del transporte es el segundo sector, detrás de la generación eléctrica, que tendrá que contribuir de mayor manera a esta reducción de emisiones.

Al igual que en la economía en general, en el transporte también debemos contar con todas las alternativas tecnológicas para conseguir la reducción de emisiones esperada.

5. La oportunidad de los combustibles renovables para la transformación industrial

Las industrias del refino y petroquímica, pilares fundamentales del desarrollo económico y social europeo durante el siglo XX, no son ajenas a los desafíos del siglo XXI. Actualmente, la capacidad de refino del continente europeo, aunque algo mermada por la fuerte competencia de importaciones de productos, la falta de apoyo a esta industria por parte de las instituciones europeas, la

caída de la demanda durante la pandemia y la transición hacia nuevas tecnologías de movilidad, sigue siendo un elemento fundamental que asegura la autonomía económica al poder suministrar a Europa con combustibles y otros productos producidos con crudo de todas partes del mundo. También representa una combinación de experiencia y capacidad industrial, segura, eficiente, fiable y respetuosa con el medio ambiente, que cada vez peligrará más en Europa a pesar de los esfuerzos de los Gobiernos y las instituciones comunes.

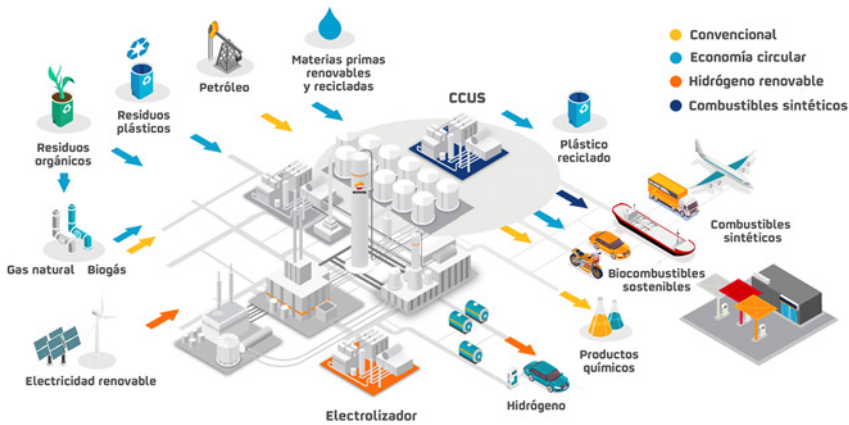


Figura 7. La transformación industrial. Fuente: elaboración propia

Sin embargo, la industria del refino y petroquímica no es meramente un asunto del pasado y del presente, sino también del futuro. La Unión Europea se ha impuesto objetivos de descarbonización netos del 55% para 2030 y del 100% para 2050. Este gran reto solo podrá ser afrontado con el esfuerzo y la colaboración de todas las industrias y tecnologías a su servicio, entre las cuales el refino podrá jugar un papel clave en descarbonizar no solo sus propios procesos industriales, sino también los de sus clientes, incluyendo el transporte terrestre, aéreo y marítimo, los hogares y otras industrias, así como la fabricación de materiales tan claves en la economía como los plásticos. En particular, la Asociación Industrial de Productores de Combustible Europeos, FuelsEurope, considera posible una reducción de emisiones del sector del transporte equivalente al remplazo de 50 millones de vehículos de combustión actuales por vehículos eléctricos, llegando a la neutralidad de carbono en 2050 para vehículos de carretera, y a una reducción de emisiones de gases de efecto invernadero del 50% en los sectores del transporte aéreo y marítimo.

Muchas tecnologías deberán contribuir para hacer esta propuesta realidad, como la captura y almacenamiento de carbono, el avance comercial de hidrógeno y la creciente electrificación de la flota de transporte por carretera, y entre ellas el sector del refino apuesta por los combustibles renovables. A través de la transformación industrial de las refinerías europeas para producir estos nuevos productos se podrá seguir supliendo la demanda de energía para la movilidad europea y mundial por combustibles, con mayor densidad energética y más fáciles de almacenar, proporcionando por lo tanto seguridad de suministro en caso de fluctuaciones en la generación eléctrica y producidos con materia prima local como residuos (orgánicos o forestales) o cultivos.

Como cualquier cambio profundo de un modelo económico, la transformación sería gradual y acompañaría al proceso de descarbonización general guiado por los compromisos de la UE. Una inversión de entre 30 y 40 mil millones de euros entre 2020 y 2030 permitiría la producción de hasta 30 MTep de combustibles renovables en 2035, y una inversión total de entre 400 y 650 mil millones de euros, entre 2020 y 2050, resultaría una producción de hasta 150 Mtep de combustibles renovables. Según las predicciones de la industria, esto se traduciría en una reducción de 100 Mt de CO₂ al año para 2035, equivalente a la introducción de 50 millones de vehículos eléctricos, como se ha mencionado anteriormente. Por su parte, la producción y consumo de 150 MTep de combustibles renovables en 2050 resultaría en un ahorro de 400 MtCO₂ al año, equivalente a casi un 15% de las emisiones totales de CO₂ de la UE en 2019 según ClimateWatch. Estas inversiones se destinarían principalmente a la construcción de plantas industriales modernas para la producción de biocombustibles y combustibles sintéticos y, en menor medida, a la adecuación de redes logísticas para los nuevos productos, lo que no sería demasiado complicado, ya que se pueden almacenar como si fueran combustibles fósiles líquidos.

Una mayor utilización de vehículos eléctricos generará una demanda cada vez mayor sobre la producción eléctrica del continente, mientras que muchas otras formas de transporte, como el terrestre pesado, la aviación o los barcos, no podrán abandonar el uso de los combustibles líquidos durante por lo menos las próximas décadas. En esta coyuntura, teniendo en cuenta que la producción eléctrica en gran parte de Europa seguirá dependiendo de los combustibles fósiles, es evidente que lograr los objetivos de descarbonización será imposible sin el impacto decisivo

que podrán tener los combustibles renovables. Por suerte, esta tecnología ha sido desarrollada durante mucho tiempo, con éxito probado, y representa una oportunidad tangible que no podemos permitirnos desaprovechar.

Existen varios ejemplos que demuestran el éxito creciente de esta propuesta. El proyecto FORGE Hydrocarbons, financiado por Shell, ha conseguido producir lubricantes y aceites usados en combustible para aeronaves con emisiones 10 veces menores que los combustibles convencionales. Además, estos proyectos no son meramente experimentos a pequeña escala, sino verdaderas apuestas por el futuro de compañías con dilatada experiencia en el sector. Prueba de ello es la inversión por parte de Repsol de 100 millones de euros para la construcción de una planta demo de producción de combustibles sintéticos en Bilbao, o la inversión de 200 millones de euros de la misma compañía, en 2022, para la construcción de la primera planta de biocombustibles avanzados en España, en su Complejo Industrial de Cartagena.

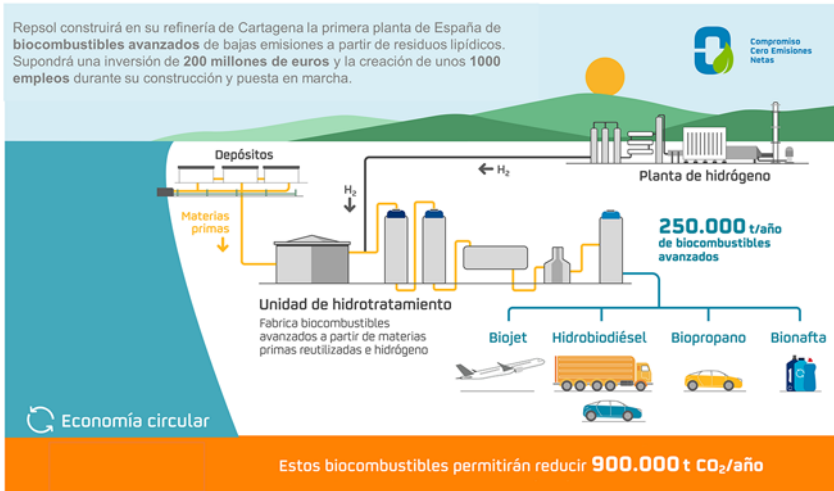


Figura 8. Infografía del proyecto de biocombustibles avanzados en Cartagena. Fuente: Repsol

Debe señalarse que, tecnológicamente, el sector está preparado para llevar a cabo esta estrategia y contribuir decisivamente a la descarbonización de la economía europea y española. Un factor decisivo para conseguir esta ambición será también la elaboración de un marco regulatorio, de diálogo con legisladores y reguladores, para garantizar la seguridad jurídica y de inversión

necesarias para llevar a cabo las inversiones requeridas. Los tres vértices fundamentales que debería amparar tal marco serían los siguientes:

- Creación de un mercado de combustibles renovables que favorezca a aquellos que tengan una huella de carbono menor, reflejando la reducción de emisiones conseguida por esta tecnología.
- Soporte a los inversores a través de acceso a fondos privados y públicos, un esquema fiscal que estimule la inversión y su reconocimiento en la legislación sobre finanzas sostenibles.
- La elaboración de criterios de sostenibilidad científicos, serios y estables para las materias primas utilizadas, además de seguridad jurídica sobre la demanda de esta tecnología y su utilización.

Con unas condiciones justas, los combustibles renovables podrán jugar un papel decisivo en el gran esfuerzo climático que estamos llevando a cabo, mientras aseguran la autonomía estratégica y prosperidad económica de Europa, además de su capacidad industrial.

En resumen, en el sector de los hidrocarburos, las actuales plantas de refino y petroquímica se transformarán, reduciendo el uso de petróleo y gas como materias primas, remplazándolas por biomasa y residuos orgánicos y de otra naturaleza para producir biocombustibles avanzados, combustibles sintéticos, hidrógeno y nuevos materiales con materias primas recicladas. Es una visión de transformación industrial, que dará continuidad a instalaciones industriales y empleos en el sector energético y en otros sectores relacionados, como el de automoción y componentes, asociados al motor de combustión interna.

6. Apoyo a la economía circular

La economía circular se define como un sistema económico y social que busca el crecimiento sostenible en el tiempo mediante la producción de bienes y servicios, reduciendo el consumo y el desperdicio de materias primas, agua y fuentes de energía y aumentando el aprovechamiento de residuos.

El objetivo de la economía circular es, por tanto, aprovechar al máximo los recursos materiales de los que disponemos alargando el ciclo de vida de los productos. De este modo se huye del actual

sistema lineal de usar y tirar, y se apuesta por otro respetuoso con el medio ambiente y basado en la prevención, la reutilización, la reparación y el reciclaje.

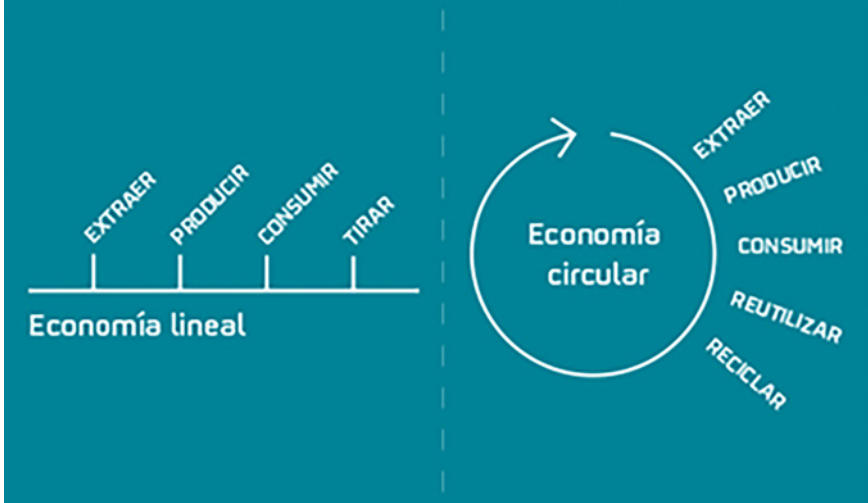


Figura 9. Economía circular. Fuente: Repsol

Actualmente se ha pasado de un modelo basado en las 3R (reducir, reutilizar, reciclar) a las 7R necesarias para alcanzar la economía circular:

- a) *Rediseñará.* Consiste en diseñar los productos teniendo en cuenta al medio ambiente, es decir, con base en el ecodiseño. Al diseñar de esta manera se consigue que su proceso de fabricación consuma menos materias primas, se alargue su vida útil y genere menos residuos.
- b) *Reducirá.* Cambiar los hábitos de consumo hacia un modelo más sostenible. Si reducimos el consumo se evita la generación de residuos, el gasto de materias primas y, por lo tanto, se reduce el impacto en el medio ambiente.
- c) *Reutilizará.* Dar una segunda vida a los diferentes recursos para evitar la producción masiva y el gasto innecesario de materias primas.
- d) *Reparará.* Darle un impulso a la reparación de los productos, en lugar de tirarlos, no solamente puede ser más barato sino que además contribuye al ahorro de materias primas y energía y evita la generación de residuos.

- e) *Renovar*á. De esta manera se pueden actualizar objetos antiguos y se pueden volver a utilizar para su labor original, minimizando la utilización de nuevas materias primas.
- f) *Recuperar*á. Consiste en dar nuevos usos a materiales que se iban a desechar para reintroducirlos en el proceso productivo.
- g) *Reciclar*á. Consiste en reintroducir residuos que ya han sido usados en los procesos de producción de manera que sirvan como materia prima para otros productos nuevos. Esta debería ser la última opción, después de haber probado todas las anteriores.

La dependencia de nuevos materiales y recursos fósiles que tiene la economía global en la actualidad incrementa la huella de carbono, el impacto medioambiental de los productos y, además, puede degradar áreas protegidas.

Nuestro modelo económico actual se caracteriza por ser poco circular. Las diferentes industrias extraen materiales de la tierra, los usan para fabricar productos y, posteriormente, terminan como deshechos o residuos. Según el último informe *Circularity Gap Report*, la circularidad mundial es de apenas el 8,6% en el reciclaje y reutilización de todos los recursos consumidos a nivel mundial¹⁰. Dicho en otras palabras, la capacidad de recuperación y reciclaje no logra igualar las tasas actuales de consumo. El ser humano sigue extrayendo materiales para construir infraestructuras, alojamientos, maquinarias de todo tipo y productos, a fin de hacer frente a las necesidades de una población que no deja de crecer. El mismo informe estima que el uso de los recursos naturales aumentará de 100 a 184 mil millones de toneladas para 2050. Por lo tanto, la población mundial continúa creciendo rápidamente, aumentando la demanda de materias primas, mientras que los suministros disminuyen y se hace imperativo que para el año 2050 la economía funcione en gran medida con materiales reutilizables. Es decir, una economía circular, donde no habrá considerables desperdicios, ya que los recursos se reutilizarán una y otra vez, y donde se emplearán cada vez más recursos de origen renovable.

Un dato importante a tener en cuenta: según las estimaciones de la Agencia Internacional de Energía (AIE), para alcanzar la meta de cero emisiones globales para 2050 y contener el aumento de la temperatura en 1,5 °C para fines de siglo, será necesario que

¹⁰ Circularity Gap Report 2022.

la cantidad de minerales extraídos sea seis veces mayor que la actual, en las próximas dos décadas.

Una economía circular puede ser un instrumento poderoso para abordar la crisis actual sobre el clima, la biodiversidad y la contaminación. Al mantener los recursos en el circuito por más tiempo, se logra evitar la emisión de gases de efecto invernadero causados por la energía necesaria para fabricar nuevos productos. También conducirá a una reducción de la pérdida de hábitat, lo que mejorará la biodiversidad. Finalmente, menos desperdicios y residuos significarán menos contaminación. Se requiere, por tanto, la utilización de tecnologías que usen materias primas diferentes de las utilizadas hasta el momento. En concreto, se debe fomentar aquella economía circular para producir combustibles renovables y materiales procedentes de residuos orgánicos y biomasa, en la que varias compañías del sector de la energía son punteras y ya están realizando inversiones importantes.

Los biocombustibles producidos a partir de residuos pueden apoyar el suministro energético del futuro con el objetivo de conseguir la seguridad energética sostenible. Además, tiene el potencial de ser un sector en el que se generen empleos con el desarrollo de nuevas cadenas logísticas e instalaciones de transformación primaria de los residuos en productos intermedios que puedan procesarse en instalaciones petroquímicas, asegurando así también la viabilidad de las mismas a largo plazo.

7. Los biocombustibles

Los biocombustibles son combustibles renovables provenientes de materias primas biológicas y han demostrado ser buenos sustitutos de productos derivados del petróleo en algunos sectores, particularmente el del transporte. Los biocombustibles juegan un papel particularmente importante en la descarbonización de este sector, al proporcionar una solución disponible y real, baja en emisiones, para las tecnologías de movilidad existentes, tales como los vehículos ligeros a corto plazo y los camiones, barcos y aviones con pocas soluciones alternativas a largo plazo. La demanda de biocombustibles a nivel mundial alcanzó 4 EJ en 2021 (159.200 millones de litros). Sin embargo, se requiere un aumento significativo en la producción de biocombustibles para encaminarse hacia el Escenario de Cero Emisiones Netas para 2050 (AIE) y lograr las reducciones de emisiones asociadas. Para 2030, bajo el Escenario de Cero Emisiones Netas, la producción de biocombus-

tibles alcanza los 15 EJ, lo que requiere un crecimiento promedio de alrededor del 16% por año. El uso de materias primas avanzadas también debe expandirse: los biocombustibles producidos a partir de desechos y recursos residuales deben satisfacer el 45% de la demanda total de biocombustibles para 2030¹¹.

Existen tres rutas diferentes para la producción de biocombustibles y se diferencian según el tipo de materia prima utilizada.

7.1. Ruta lipídica

Esta es la ruta que utiliza como materia prima para la producción de biocombustibles los aceites vegetales, aceites usados de cocina o residuos de origen lipídico de la industria agroalimentaria. Existen dos tipos de tecnologías disponibles para esta ruta:

1. Hidrogenación. Este es un proceso convencional en las refinerías que se utiliza para eliminar el azufre de los componentes del gasóleo y queroseno, así como estabilizar algunos hidrocarburos olefínicos (con dobles enlaces). El proceso se lleva a cabo mezclando hidrógeno con el gasóleo o el queroseno, y haciéndolo reaccionar con ayuda de catalizadores. Actualmente, las unidades de desulfuración existentes en las refinerías admiten cantidades variables de componentes lipídicos mezcladas con la carga mineral, de forma que el producto resultante se compone de gasóleo de origen mineral y de hidrobiodiésel de origen renovable, que tiene propiedades equivalentes a las del gasóleo mineral. Mediante diversas modificaciones o con el diseño y construcción de unidades diseñadas *ad hoc*, estas unidades pueden procesar el 100% de materia prima renovable lipídica.
2. Transesterificación. La transesterificación o alcoholisis es la reacción de un aceite o grasa (componentes lipídicos) con un alcohol en presencia de un catalizador para generar ésteres y glicerol. Permite aprovechar aceites (incluso usados previamente) para generar ésteres aprovechables, como es el caso del biodiésel.

Mediante las tecnologías previamente descritas, se pueden obtener los siguientes productos:

¹¹ Agencia Internacional de la Energía.

- Hydrogenated Vegetable Oil (HVO). Diésel renovable o hidrobiodiésel. Destinado al transporte ligero, pesado y marítimo. Obtenido mediante hidrogenación. Sin límite de mezcla, dadas sus propiedades equivalentes a un gasóleo parafínico convencional según la norma del diésel parafínico UNE-EN 15940:2016.
- FAME (Fatty Acid Methyl Esters) Biodiésel. Destinado al transporte ligero, pesado y marítimo. Obtenido mediante transesterificación.
- Hydroprocessed Esters and Fatty Acid - Sustainable Aviation Fuel (SAF-HEFA). Combustible de avión renovable. Obtenido mediante hidrogenación.
- Bio propano (BioC3). Propano de origen renovable. Utilizado en transporte, en la industria petroquímica y la producción de hidrógeno. Obtenido mediante hidrogenación.
- Bionafta. Nafta de origen renovable. Utilizada en la industria petroquímica y la producción de hidrógeno. Obtenido mediante hidrogenación.

7.2. Ruta biológica

Esta es la ruta que utiliza como materia prima la fracción orgánica de residuos sólidos procedente de recogida selectiva (FORS), fracción orgánica de residuos sólidos urbanos (FORSU), residuos orgánicos industriales, residuos agrícolas y residuos ganaderos (purines) para la producción de biocombustibles. Existen dos tipos de tecnologías disponibles para esta ruta:

1. *Digestión anaerobia*. La digestión anaerobia o biometanización es un proceso biológico que tiene lugar en ausencia de oxígeno. En este proceso, parte de la materia orgánica se transforma mediante la actuación de microorganismos en una mezcla de gases (biogás), que está constituido principalmente por metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2).
2. *Fermentación*. La fermentación es un proceso que transforma las moléculas mediante una oxidación incompleta, dando como resultado un compuesto orgánico (etanol) y la generación de energía química. Dicho proceso tiene lugar en un ambiente anaeróbico, lo que quiere decir que se realiza en total ausencia de oxígeno.

Mediante las tecnologías previamente descritas, se pueden producir los siguientes productos:

- Biometano. Utilizado en transporte ligero, pesado y marítimo, industria y en el sector residencial. Obtenido mediante digestión anaerobia.
- Bioetanol. Utilizado para la obtención de gasolina renovable y combustible de avión renovable (SAF). Obtenido mediante fermentación.
- Fertilizantes y biochar. Subproductos de la digestión anaerobia. Utilizados como enmienda para suelos.

7.3. Ruta termoquímica

Esta es la ruta que utiliza como materia prima los rechazos de residuos sólidos urbanos y los residuos agroforestales para la producción de biocombustibles. Existen dos tipos de tecnologías disponibles para esta ruta:

1. *Gasificación*. La gasificación es un proceso térmico, en el cual combustibles sólidos son convertidos en un gas combustible con el objeto de producir el llamado gas de síntesis, compuesto principalmente por monóxido de carbono (CO) e hidrógeno (H₂), que puede ser utilizado en otras reacciones (síntesis química a metanol o proceso Fischer-Tropsch) para la formación de hidrocarburos de cadena más larga como diésel renovable o SAF.
2. *Pirólisis*. La pirólisis es un proceso de conversión termoquímica que convierte la biomasa o los residuos sólidos urbanos en combustibles útiles (aceites de pirólisis, gases), mediante calentamiento a temperaturas moderadamente altas y en ausencia de oxígeno.

Mediante las tecnologías previamente descritas, se pueden producir los siguientes productos:

- Diésel renovable. Utilizado para transporte pesado y marítimo.
- FT-SAF. Utilizado para transporte aéreo. Obtenido mediante un proceso de Fischer-Tropsch en el que las moléculas de CO y H₂ se combinan para obtener hidrocarburos más complejos.
- Nafta. Utilizada en la industria petroquímica y la producción de hidrógeno.

- Metanol. Utilizado como combustible en el sector marítimo o como producto intermedio para la fabricación de gasolina, diésel, combustible sostenible de aviación u olefinas para la obtención de materiales.

Los procesos químicos no son totalmente selectivos a un único combustible o producto y, por tanto, la correcta gestión de los subproductos como la nafta, el biopropano o los fertilizantes es clave para la viabilidad de los procesos.



Figura 10. Combustibles renovables. Rutas circulares. Fuente: Repsol y elaboración

8. Integración con la industria química y la fabricación de materiales

La industria química no solo tiene como objetivo reducir las emisiones de sus procesos sino también reducir el consumo de materia prima virgen para sus productos.

Existen varios procesos para poder valorizar los residuos y convertirlos en materiales equivalentes a los que hoy produce la industria petroquímica.

- Reciclado mecánico. Es un proceso de valorización que, mediante temperatura y cizalla, convierte un residuo plástico en un material reciclado, que puede ser empleado para la misma aplicación o para otra distinta. En este proceso la cadena polimérica se mantiene, es decir, no se produce una rotura de cadena, salvo la debida a la posible degradación del propio polímero. El reciclado mecánico es aplicable a los materiales

plásticos, aunque en el caso de los materiales termoestables se limite, en la mayoría de los casos, a un reciclado donde el resultado se incorpora como carga y no como polímero (ya que el polímero no puede volver a fundirse).

- Reciclado químico. El reciclado químico o reciclado molecular, según la norma ISO 15270:200823, es la «conversión a monómero o la producción de nuevas materias primas cambiando la estructura química de los residuos plásticos mediante craqueo, gasificación o despolimerización, excluida la recuperación de energía y la incineración». Según esta definición y según la jerarquía de residuos, el reciclado químico debería incluirse dentro del apartado de reciclado, por encima de la valorización energética y la eliminación en vertedero.

De forma general, la mayoría de los plásticos que no pueden ser reciclados mecánicamente pueden valorizarse mediante esta ruta. Existen tres procesos que son considerados reciclado químico:

- La pirólisis es un proceso que con la acción de calor y sin oxígeno produce un aceite de pirólisis, un gas y un char. El aceite de pirólisis es entonces alimentado, en sustitución de alimentación fósil, a las unidades de producción de olefinas a partir de las cuales se vuelve a fabricar plásticos.
- La gasificación es un proceso en el que con la acción de calor y con oxígeno se produce un gas de síntesis, que puede emplearse para la fabricación de metanol, que a su vez puede integrarse como materia prima en la industria química, sustituyendo a metanol de origen fósil.
- En la acidólisis el residuo procedente de espumas, como los colchones, se alimenta a la planta de reciclado químico para producir polioli de origen reciclado que se incorpora en la formulación.

La integración de los procesos de producción de combustibles y materiales renovables y circulares ofrece muchas sinergias. En primer lugar, por utilizar subproductos de la fabricación de combustibles renovables para la fabricación de materiales. En segundo lugar, por optimizar el mejor uso para las moléculas renovables y circulares siguiendo la jerarquía de residuos. Por último, por aumentar la escala de los proyectos, al disponer de más demanda y, por tanto, mejorar los ratios de inversión frente a producción.

A pesar de que los combustibles circulares –también llamados combustibles reciclados de carbono– no proceden de fuentes renovables, contribuyen a la economía circular, reduciendo la materia prima virgen para la fabricación de los mismos. En aquellos casos en los que los residuos plásticos quedan mezclados con los residuos orgánicos es inevitable la obtención de combustibles reciclados de carbono y es, por tanto, importante valorizar los mismos y que la regulación permita dicho uso.

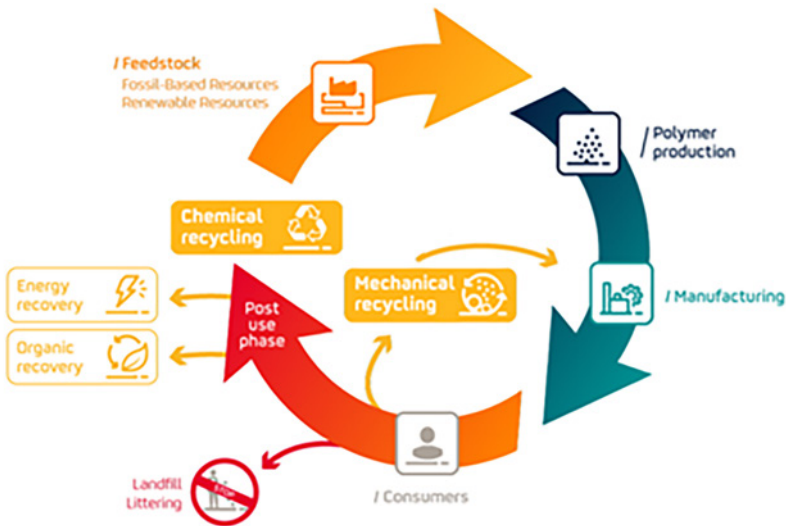


Figura 11. Reciclado químico en España: Apostando por un futuro circular. Aimplas 2022. Rutas de fabricación de materiales circulares. Fuente: Repsol

9. Hidrógeno renovable

El hidrógeno está considerado como un vector energético y no como una fuente de energía primaria, porque para su obtención se requiere una aportación de energía y un proceso químico. Una vez obtenido, este puede almacenar energía que puede ser liberada de forma gradual.

Dependiendo de la materia prima con la que se obtenga y las emisiones de CO₂ generadas en su obtención, el hidrógeno puede clasificarse principalmente en tres tipos:

1. *Hidrógeno renovable o verde.* Es el hidrógeno que se obtiene por la electrólisis del agua mediante la aplicación de una corriente eléctrica de origen renovable. También pueden considerarse como hidrógeno renovable el obtenido mediante el

reformado del biogás o la conversión bioquímica de la biomasa, siempre que se cumplan los requisitos de sostenibilidad.

2. *Hidrógeno gris*. Es el hidrógeno producido mediante procesos de reformado de gas natural u otros hidrocarburos ligeros como GLP.
3. *Hidrógeno azul*. Este hidrógeno se obtiene de igual manera que el hidrógeno gris, sin embargo, en su obtención se aplican técnicas de captura, uso y almacenamiento del CO₂, lo que permite reducir hasta en un 95% las emisiones.

España consume actualmente aproximadamente 500.000 t/año, siendo el 99% hidrógeno gris¹². Este hidrógeno se utiliza mayoritariamente como materia prima en refinerías (aproximadamente 70%) y en fabricantes de productos químicos (en torno al 25%). El 5% restante corresponde al consumo residual en sectores como el metalúrgico. En muchos casos, la producción se realiza directamente en la propia planta de consumo, a través de instalaciones de reformado con vapor de gas natural.

9.1. Producción de hidrógeno renovable

Para la producción del hidrógeno renovable, se distinguen diferentes tecnologías en función de la materia prima utilizada.

9.1.1. Hidrógeno a partir de agua y electricidad renovable

1. *Electrólisis*. La molécula de agua (H₂O) es disociada en hidrógeno (H₂) y oxígeno (O₂) en estado gaseoso mediante la aplicación de una corriente eléctrica de origen renovable conectada a dos electrodos.
2. *Otros métodos*. Existen otros procesos para la obtención del hidrógeno que aún se encuentran en un estado bajo de madurez tecnológica. Aquí se pueden englobar la termólisis u otros procesos fotoelectroquímicos como la fotoelectrocatalisis.

9.1.2. Hidrógeno a partir de gas natural, biogás u otras materias primas

1. *Reformado con vapor (SMR)*. Consiste en hacer reaccionar hidrocarburos (gas natural, GLP, nafta o sus alternativas

¹² MITECO. *Hoja de ruta del hidrógeno: apuesta por el hidrógeno verde*.

renovables) con vapor de agua a altas temperaturas y presiones. En esta reacción el hidrocarburo se disocia en gas de síntesis, compuesto principalmente por monóxido de carbono (CO) e hidrógeno (H₂). Posteriormente se tiene una etapa de purificación de H₂.

2. *Oxidación parcial (POX)*. Consiste en hacer reaccionar los hidrocarburos a muy altas temperaturas con oxígeno (O₂) en una proporción inferior a la estequiométrica por lo que éste sufre una combustión incompleta y se genera gas de síntesis. Posteriormente se purifica.
3. *Reformado autotérmico (ATR)*. Es una combinación de los procesos previamente descritos. Se añade una corriente de vapor al proceso de oxidación parcial, generando un proceso similar al SMR. No es tan eficiente como el proceso del reformado con vapor.

Se espera que la madurez de las tecnologías de obtención de hidrógeno renovable en España, a partir de 2030, haga que se acelere el desarrollo de una economía basada en su producción y aplicación, lo que acabará por constituir una sociedad descarbonizada en 2050, donde las energías renovables supondrán la parte mayoritaria del *mix* energético.

El aumento de la potencia renovable instalada en España, a partir de 2030, vendrá acompañado previsiblemente de una bajada de precios de la electricidad renovable. Esto podría ayudar a que la producción de hidrógeno renovable fuese competitiva frente a otras alternativas. De esta manera podría impulsarse la descarbonización en sectores tradicionalmente difíciles de descarbonizar, como son el transporte y el industrial.

9.2. Usos del hidrógeno renovable

El hidrógeno puede usarse directamente como combustible, vector energético o como materia prima en la industria.

9.2.1. Industria

Como bien se ha comentado previamente, en España se consumen alrededor de 500.000 t/año de hidrógeno, en su mayoría de tipo gris. La inmensa mayoría de este consumo se produce en las refinerías, donde se utiliza en procesos de eliminación de contaminantes en los productos derivados del petróleo o como

materia prima en procesos de hidrocraqueo, y en la industria química, donde se utiliza como materia prima en la fabricación de productos como amoníaco o metanol, que requieren elevadas cantidades del mismo¹³.

La sustitución del hidrógeno gris, empleado actualmente, por hidrógeno renovable supone un enorme potencial de descarbonización

9.2.2. Integración sectorial

El hidrógeno tiene una alta versatilidad y está considerado como un vector energético. Estos dos factores pueden hacer que el hidrógeno renovable se convierta en una herramienta clave en la descarbonización de la economía, favoreciendo la seguridad energética y la flexibilidad.

El hidrógeno renovable puede tener un rol importante en sectores como el almacenamiento energético o el sector eléctrico. Además puede contribuir en gran medida a la economía circular, al ser capaz de producirse a partir de biogás renovable, biomasa o residuos mediante la tecnología de gasificación, favoreciendo la descarbonización del sector gasista.

9.2.3. Movilidad

Las pilas de hidrógeno son la forma en la que puede introducirse el hidrógeno renovable en el sector del transporte. Estos son dispositivos en los que el hidrógeno producido a partir de fuentes renovables se utiliza para generar electricidad que propulsa a los vehículos eléctricos. Junto con estas pilas se instalan además baterías eléctricas que se van recargando durante el funcionamiento del vehículo.

Los dispositivos con pilas de hidrógeno y baterías aportan una ventaja competitiva sobre los vehículos eléctricos de baterías ya que se reducen en gran medida los tiempos de carga, sin embargo, aportan un rendimiento energético menor, ya que debe considerarse la energía consumida para obtener el hidrógeno renovable, así como la necesaria para comprimirlo y almacenarlo en los tanques de los vehículos.

Actualmente, el sector que tiene más desarrollada la utilización de hidrógeno es el de transporte por carretera, contando con una

¹³ MITECO. *Hoja de ruta del hidrógeno: apuesta por el hidrógeno verde*.

flota mundial actual de 12.000 vehículos ligeros de pila de hidrógeno¹⁴. En el sector aviación, marítimo y ferroviario se están desarrollando iniciativas, pero aún se encuentran en estadios iniciales.

10. Combustibles sintéticos

Los combustibles sintéticos se producen a partir del hidrógeno procedente de la electrólisis del agua y la captura de CO₂. La energía contenida en la molécula del combustible procede del hidrógeno y por tanto de la electricidad. Por eso, estos combustibles, también denominados e-combustibles o combustibles derivados del hidrógeno, son la forma de trasladar la electricidad renovable a una fuente de energía fácilmente transportable, almacenable y con una alta densidad energética, a través del hidrógeno renovable.

Como se ha comentado, en aquellos sectores difíciles de electrificar, como ciertas industrias o el transporte aéreo y marítimo, los combustibles sintéticos serán clave. Todavía es necesario el desarrollo de algunas tecnologías que forman parte de la cadena de fabricación de estos combustibles y los próximos diez años serán claves para demostrar su factibilidad y su competitividad.

A continuación se van a explicar diferentes tecnologías disponibles para su producción, empezando por las tecnologías de captura de CO₂.

10.1. Captura de CO₂

La captura de CO₂ es una tecnología comercial, pero se ha aplicado inicialmente en aquellos sectores donde se dispone de una corriente de gas con alta concentración de CO₂ (fertilizantes, acondicionamiento de gas natural, producción de hidrógeno), donde los costes de captura son menores y hacen viable la separación. En la última década se han desarrollado nuevas tecnologías que permiten la captura en corrientes más diluidas, lo que ha posibilitado la financiación de diferentes proyectos de captura en postcombustión en otros sectores, como los de generación eléctrica, cementeras, siderúrgica y refinerías.

La captura y el almacenamiento de dióxido de carbono (CCS, por sus siglas en inglés) será una parte importante de la oferta de

¹⁴ MITECO. *Hoja de ruta del hidrógeno: apuesta por el hidrógeno verde*.

mitigación de gases de efecto invernadero si se fijan los objetivos más ambiciosos del Acuerdo de París. La Hoja de Ruta Tecnológica de la Agencia Internacional de la Energía (IEA) para la Captura y el Almacenamiento de Carbono estima que, para 2050, aproximadamente el 20% de las reducciones de emisiones tendrán que lograrse mediante la aplicación de sistemas tipo CCS, siendo una parte importante de esta realizada, por supuesto, por el sector energético, pero con aportaciones relevantes de otros sectores *hard to abate*, como la industria del acero, cemento o la de refino.

De acuerdo al estudio realizado por Concawe en colaboración con Aramco, *E-fuels: A techno-economic assessment of European domestic production and imports towards 2050*, existen tres tipos de tecnologías principales para la captura de CO₂:

1. Captura de CO₂ desde un punto de alta concentración de CO₂. La unidad típica en la que se puede realizar este proceso es una absorción con aminas en una unidad de reformado con vapor (SMR) de alta presión/baja temperatura que tiene alrededor de un 80% de CO₂ en volumen.
2. Captura de CO₂ desde un punto de concentración media de CO₂. La unidad típica es una planta de generación eléctrica de gas natural capturando en los gases de salida con aproximadamente un 8,5% de CO₂ en volumen.
3. Captura directa de CO₂ desde el aire (DAC) a baja temperatura donde la concentración de CO₂ es aproximadamente un 0,04% en volumen.

Según el estudio mencionado previamente, la comparativa del consumo energético de las tres opciones es la siguiente¹⁵:

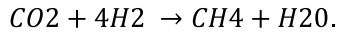
Tipo de fuente	Concentración alta	Concentración media	Captura directa del aire
% Concentración CO ₂	85%	8,5%	0,04%
Consumo energético (MJ/kg CO ₂)	0,14	0,27	1,44

En el estudio también se explican diferentes vías de síntesis de combustibles sintéticos. A continuación se explicarán tres ejemplos: Síntesis de e-metano, e-metanol y e-distilados (reacción de Fischer-Tropsch).

¹⁵ "E-fuels: A techno-economic assessment of European domestic production and imports towards 2050" - Concawe en colaboración con Aramco

10.2. E-metano

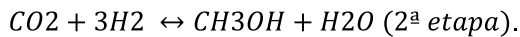
El metano sintético se obtiene mediante un proceso llamado *metanación*, también conocido como la reacción Sabatier, que combina CO₂ e hidrógeno a una temperatura de aproximadamente 400 °C y una presión de unos 30 bar en presencia de un catalizador de níquel o rutenio. Esta reacción es exotérmica y produce metano (CH₄) y agua (H₂O):



Por cada kg de metano producido se consumen 3 kg de CO₂ y 0,5 kg de hidrógeno. El consumo energético es de aproximadamente 1,15 MJ/kg CH₄ producido¹⁶.

10.3. E-metanol

El metanol sintético se puede sintetizar mediante un proceso en dos etapas utilizando gas de síntesis o mediante un proceso en una etapa, utilizando CO₂ directamente. En el caso de realizar el proceso en una única etapa se necesita un ratio molar CO₂:H₂ de 1:2,8. Las reacciones para ambas etapas son las siguientes:



Un ejemplo de planta de producción de e-metanol a gran escala es la planta de George Olah, en Islandia, con una capacidad de producción de 4.000 t/año.

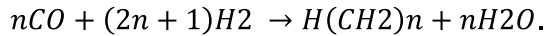
Por cada kg de metanol producido se consumen 1,4 kg de CO₂ y 0,193 kg de hidrógeno. El consumo energético es de aproximadamente 1,07 MJ/kg metanol producido.

10.4. E-destilados: síntesis mediante Fischer-Tropsch

Los combustibles sintéticos obtenidos mediante el proceso Fischer-Tropsch, como por ejemplo diésel, gasolina o keroseno sintéticos, son una tecnología madura y que tiene actualmente varias plantas a gran escala. Un ejemplo de esto es la planta de reformado de gas natural con vapor de Shell en Qatar, con una

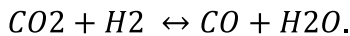
¹⁶ "E-fuels: A techno-economic assessment of European domestic production and imports towards 2050" - Concawe en colaboración con Aramco

capacidad de 140.000 barriles diarios. La reacción de Fischer-Tropsch se describe de la siguiente manera:



Para maximizar el rendimiento a combustibles de transporte (gasolina, diésel, keroseno), se debe seleccionar una reacción de Fischer-Tropsch a baja temperatura, combinándose con una etapa de hidrocraqueo. De esta manera se consigue una distribución aproximada de productos de 37% gasolina, 28% diésel, 32% keroseno y 3% GLP¹⁷.

La reacción de Fischer-Tropsch requiere de una mezcla de hidrógeno (H₂) y monóxido de carbono (CO), por lo que el CO₂ capturado debe reducirse a CO previo a la reacción. Esto se consigue mediante la reacción de desplazamiento del gas del agua (RWGS por sus siglas en inglés). Esta es una reacción endotérmica, en la que el CO₂ se reforma con H₂ para producir CO y agua. Esta reacción requiere temperaturas de 800-1.000 °C, temperaturas de 30 bar y altos consumos eléctricos.



La reacción de RWGS es una tecnología que necesita actualmente de un mayor desarrollo para poder llegar a la madurez necesaria como para montar plantas a gran escala.

Por cada kg de diésel de Fischer-Tropsch producido, combinando la reacción de RWGS y la de Fischer-Tropsch, se consumen 3,715 kg de CO₂ y 0,493 kg de hidrógeno. El consumo energético es de aproximadamente 1,9 MJ/kg diésel FT producido.

11. Regulación y demanda

En la actualidad existen dos vectores de crecimiento de la demanda de los combustibles renovables: la regulación y los objetivos voluntarios de descarbonización de cada vez más compañías. Estos objetivos vienen promovidos en algunos casos por la demanda creciente de los consumidores hacia productos más sostenibles, pero en su mayoría, por la demanda de accionistas, inversores y entidades financieras a apoyar actividades sostenibles.

¹⁷ "E-fuels: A techno-economic assessment of European domestic production and imports towards 2050" - Concawe en colaboración con Aramco.

En el ámbito regulatorio, Europa ha liderado el camino a la descarbonización. En los últimos años, la publicación del Pacto Verde Europeo, la pandemia de la COVID y los fondos de recuperación NextGenerationEU y la crisis de Ucrania con el paquete REPowerEU, han marcado los avances regulatorios hacia la descarbonización y la seguridad energética.

11.1. Pacto Verde Europeo (European Green Deal)¹⁸

El Pacto Verde Europeo, presentado el 11 de diciembre de 2019 por la Comisión Europea, recoge medidas de control de polución, políticas sociales y acciones contra el cambio climático, leyes de sostenibilidad, reducción de las emisiones de GEI, eficiencia energética, economía circular y economía verde. El objetivo de este pacto es que la Unión Europea alcance la neutralidad climática, de aquí al año 2050.

Las iniciativas que incluye el Pacto Verde Europeo son las siguientes:

1. Objetivo 55. El Consejo Europeo ha fijado el objetivo de que la UE reduzca sus emisiones de gases de efecto invernadero en al menos un 55% de aquí a 2030 con respecto a los niveles de 1990 y alcance la neutralidad climática de aquí a 2050. Estos objetivos son vinculantes para la UE y sus Estados miembros.
2. Estrategia de adaptación al cambio climático de la UE. Dicha estrategia detalla una visión a largo plazo para que, de aquí a 2050, la UE llegue a ser una sociedad resiliente frente al cambio climático plenamente adaptada a los efectos inevitables de este.
3. Estrategia de la UE sobre la Biodiversidad de aquí a 2030. Tiene como objetivo contribuir a recuperar la biodiversidad de Europa de aquí a 2030. Esto reportaría beneficios para las personas, el clima y el planeta.
4. Estrategia *De la Granja a la Mesa*. Tiene como objetivo ayudar a la UE a lograr la neutralidad climática de aquí a 2050, transformando el actual sistema alimentario de la UE en un modelo sostenible.

¹⁸ Comisión Europea. Un pacto verde europeo. Disponible en: https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_es

5. Estrategia Industrial Europea. Permitir que la industria europea lidere la transición ecológica y digital y se convierta en la fuerza motriz mundial en el camino hacia la neutralidad climática y la digitalización.
6. Plan de Acción para la Economía Circular. El plan prevé más de treinta medidas sobre el diseño de productos sostenibles, la circularidad de los procesos de producción y el empoderamiento de los consumidores y los compradores públicos.
7. Pilas y baterías y sus residuos. Tiene por objetivo abordar el ciclo de vida de las pilas y baterías en su totalidad, desde el proceso de producción hasta los requisitos de diseño, así como una *segunda vida*, el reciclaje y la incorporación en las baterías nuevas de contenido reciclado.
8. Transición justa. La UE ha introducido un Mecanismo para una Transición Justa para proporcionar apoyo financiero y técnico a las regiones más afectadas por la transición hacia una economía baja en carbono.
9. Energía limpia, asequible y segura. Dado que el 75% de las emisiones de gases de efecto invernadero de la UE proceden del uso y la producción de energía, la descarbonización del sector de la energía constituye un paso crucial para la neutralidad climática de la UE.
10. Estrategia de la UE para la sostenibilidad de las sustancias químicas. Las sustancias químicas pueden ser perjudiciales para las personas y el medio ambiente. La estrategia establece una visión a largo plazo de la política de la UE en materia de sustancias químicas de manera que se proteja la salud humana, se refuerce la competitividad de la industria y se apoye un entorno sin sustancias tóxicas.
11. Estrategia forestal e importaciones libres de deforestación. Se centra en promover la gestión forestal sostenible, ofrecer incentivos financieros a los propietarios y gestores forestales para que adopten prácticas respetuosas con el medio ambiente y aumentar el tamaño y la biodiversidad de los bosques.

11.2. Directiva de Energías Renovables (RED II)¹⁹

La directiva (UE) 2018/2001 del Parlamento Europeo y el Consejo del 11 de diciembre de 2018 relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables establece un marco común para el fomento de la energía procedente de fuentes renovables. Fija un objetivo vinculante para la Unión en relación con la cuota general de energía procedente de fuentes renovables en el consumo final bruto de energía de la Unión en 2030.

Los puntos más importantes que incluye son los siguientes:

1. Objetivo vinculante global de la UE para 2030 del 32% como mínimo de energía procedente de fuentes renovables.
2. Establece normas sobre ayudas financieras rentables basadas en el mercado destinadas a la electricidad procedente de fuentes renovables.
3. Establece mecanismos de protección de los sistemas de apoyo contra las modificaciones que pusieron en riesgo proyectos en curso.
4. Establece mecanismos de cooperación entre los Estados miembros de la UE, y entre los Estados miembros y terceros países.
5. Establece una simplificación de los procedimientos administrativos de proyectos de renovables.
6. Establece un sistema de garantías de origen mejorado y ampliado a todas las renovables.
7. Establece normas que permiten a los consumidores producir su propia electricidad, individualmente o en el marco de comunidades de energías renovables, sin restricciones indebidas.
8. Establece criterios sostenibles de la UE sobre bioenergía que se han reforzado y amplían su ámbito de aplicación hasta cubrir todos los carburantes, independientemente del uso energético final.
9. En cuanto al sector de la climatización, establece un incremento anual de 1,3 puntos porcentuales en la cuota de

¹⁹ Comisión Europea. Renewable Energy – Recast to 2030 (RED II). *EU Science Hub*. Disponible en: https://joint-research-centre.ec.europa.eu/welcome-jec-website/reference-regulatory-framework/renewable-energy-recast-2030-red-ii_en

energías renovables del sector, el derecho de los consumidores a desconectarse de sistemas de climatización urbanos ineficientes y el acceso de terceros para proveedores de renovables y calor y frío residuales a las redes urbanas de calefacción y refrigeración.

10. En cuanto al sector transporte, establece un objetivo vinculante del 14% en e/e en 2030 con un subobjetivo específico para biocarburantes avanzados del 3,5% y límites sobre los biocombustibles convencionales y la eliminación gradual de los biocombustibles con un alto riesgo de no reducir emisiones. Este objetivo vinculante tiene además una serie de limitaciones:

- A partir de 2023 se establece una limitación máxima del 7% en e/e de biocombustibles producidos a partir de cultivos forrajeros en carretera y ferrocarril.
- Se establece un límite de un 3,1% en e/e de biocombustibles considerados con alto ILUC (Indirect Land Use Change) sobre las ventas de gasóleo y gasolina.
- Se establece una limitación máxima de un 1,7% en e/e de biocombustibles producidos a partir de UCO, grasas animales y otras materias primas incluidas dentro de la parte B del Anexo IX de la RED II sobre las ventas de gasóleo y gasolina.

11.3. RDL 6/2022 (Trasposición artículo 7 bis de Fuel Quality Directive)²⁰

El Real Decreto-ley 6/2022 de 29 de marzo, por el que se adoptan medidas urgentes en el marco del Plan Nacional de respuesta a las consecuencias económicas y sociales de la guerra en Ucrania, entre otros muchos puntos, traspone el artículo 7 bis de la Directiva 2009/30/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, más conocido como Fuel Quality Directive (FQD).

El aspecto más importante es que se establece un objetivo de reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero del ciclo de vida, por unidad de combustible y de energía suministrados en el transporte, del 6%, en comparación con el valor de

²⁰ BOE. (2022). Real Decreto-ley 6/2022, de 29 de marzo, por el que se adoptan medidas urgentes en el marco del Plan Nacional de respuesta a las consecuencias económicas y sociales de la guerra en Ucrania. Publicado el 31 de marzo de 2022. Disponible en: <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2022-4972>

referencia de las emisiones de gases de efecto invernadero derivadas de los combustibles fósiles utilizados en la Unión Europea en 2010, que es de 94,1 g de CO₂eq/MJ.

El RDL 6/2022, donde se traspone el artículo 7 bis de la Directiva 2009/30/CE, es de obligado cumplimiento sobre:

- a) Combustibles utilizados para propulsar vehículos de carretera, máquinas móviles no de carretera, incluidos los buques de navegación interior cuando no se hallen en el mar y el ferrocarril, tractores agrícolas y forestales y embarcaciones de recreo cuando no se hallen en el mar.
- b) Electricidad destinada a vehículos de carretera, si se puede demostrar que se ha medido y verificado adecuadamente la electricidad suministrada para su uso en dichos vehículos.
- c) Biocarburantes para uso aéreo, siempre y cuando cumplan los criterios de sostenibilidad del Real Decreto 1597/2011, de 4 de noviembre y se demuestre que son sostenibles según lo dispuesto en la regulación vigente.

Al igual que en el caso de la RED II, se establece un límite de un 7% en e/e de biocombustibles producidos a partir de cultivos forrajeros en carretera y ferrocarril.

11.4. Fuel EU Maritime²¹

El transporte marítimo supone un 75% del volumen de comercio externo de la UE y el 31% del interno, por lo que juega un papel fundamental en la economía europea. Cada año también aproximadamente 400 millones de pasajeros embarcan y desembarcan en puertos europeos, además de 14 millones en cruceros.

Por otro lado, el tráfico de buques hacia o desde los puertos del Espacio Económico Europeo representa aproximadamente el 11% de todas las emisiones de CO₂ de la UE procedentes del transporte y entre el 3 y el 4% del total de las emisiones de CO₂ de la UE.

²¹ Comisión Europea. (2020). Emisiones de CO₂ procedentes del transporte marítimo: fomento del uso de combustibles con bajas emisiones de carbono. Disponible en: https://ec.europa.eu/info/law/better-regulation/have-your-say/initiatives/12312-Emisiones-de-CO2-procedentes-del-transporte-maritimo-fomento-del-uso-de-combustibles-con-bajas-emisiones-de-carbono_es

Esta iniciativa (Fuel EU Maritime) pretende aumentar el uso de combustibles alternativos sostenibles en el transporte marítimo y los puertos europeos. Marca un objetivo de reducción de la intensidad de emisiones ($\text{gCO}_2\text{eq /MJ}$) de la energía que usen los barcos de más de 5.000 t respecto a un valor de referencia (2020) para la reducción de emisiones en el sector marítimo a partir del año 2025.

En el momento de preparación del presente trabajo, se encuentra en fase de trilogía entre la Comisión Europea, el Consejo Europeo y el Parlamento Europeo. La propuesta actual por parte de la Comisión marca la siguiente hoja de ruta:

- A partir 1/01/2025: reducción 2%.
- A partir 1/01/2030: reducción 6%.
- A partir 1/01/2035: reducción 13%.
- A partir 1/01/2040: reducción 26%.
- A partir 1/01/2045: reducción 59%.
- A partir 1/01/2050: reducción 75%.

11.5. ReFuel EU Aviation²²

El hecho de que exista un mercado de aviación interno bien organizado y competitivo es esencial para la movilidad de los europeos y para la economía europea en su conjunto. La aviación y la industria aeronáutica emplean aproximadamente 400.000 personas de forma directa en la UE y contribuyen a alrededor de un 2,1% de su PIB. La aviación es, además, uno de los motores principales para conectar a las personas, promover el turismo y la cohesión social. Cada año más de 1.200 millones de pasajeros vuelan a más de 500 aeropuertos europeos.

Los combustibles de aviación sostenibles (electrocombustibles y biocombustibles avanzados) pueden reducir significativamente las emisiones de las aeronaves. Sin embargo, este potencial está desaprovechado en gran medida, ya que estos combustibles solo representan el 0,05% del consumo total.

²² Comisión Europea. (2020). Combustibles de aviación sostenibles – ReFuelEU Aviation. Disponible en: <https://ec.europa.eu/info/law/better-regulation/have-your-say/initiatives/12303-ReFuelEU-Aviation-Sustainable-Aviation-Fuels>

Esta iniciativa (ReFuel EU Aviation) tiene por objeto impulsar la oferta y la demanda de combustibles de aviación sostenibles en la UE. Esto, a su vez, reducirá la huella ambiental de la aviación y contribuirá a la consecución de los objetivos climáticos de la UE.

En el momento de preparación de este trabajo, se encuentra en fase de trílogo entre la Comisión Europea, el Consejo Europeo y el Parlamento Europeo. La propuesta actual por parte de la Comisión marca la siguiente hoja de ruta:

- A partir de 1/01/2025 > 2% v/v.
- A partir de 01/01/2030 > 5% v/v con un 0,7% v/v de combustibles sintéticos.
- A partir de 01/01/2035 > 20% v/v con un 5% v/v de combustibles sintéticos.
- A partir de 01/01/2040 > 32% v/v con un 8% v/v de combustibles sintéticos.
- A partir de 01/01/2045 > 38% v/v con un 11% v/v de combustibles sintéticos.
- A partir de 01/01/2050 > 63% v/v con un 28% v/v de combustibles sintéticos.

11.6. Incentivos financieros: Fondos NextGen de la UE e Inflation Reduction Act (IRA)²³

En los últimos tres años, desde la crisis del COVID hasta el momento actual, con la crisis de Ucrania, tanto la Unión Europea como Estados Unidos están publicando paquetes de ayudas en forma de subvenciones y préstamos para favorecer la economía y, en concreto, las energías limpias.

En julio de 2020, el Consejo Europeo acordó un instrumento excepcional de recuperación temporal conocido como Next Generation EU (Próxima Generación UE), dotado con 750.000 millones de euros para el conjunto de los Estados miembros. El Fondo de Recuperación garantiza una respuesta europea coordinada con

²³ Energy.gov (2022). Inflation Reduction Act of 2022. *Loan Programs Office*. Disponible en:

<https://www.energy.gov/lpo/inflation-reduction-act-2022>

Ministerio de Hacienda y Función Pública. Next Generation EU. Disponible en:

<https://www.hacienda.gob.es/es-ES/CDI/Páginas/FondosEuropeos/Fondos-relacionados-COVID/Next-Generation.aspx>

los Estados miembros para hacer frente a las consecuencias económicas y sociales de la pandemia²⁴.

Los fondos pueden utilizarse para conceder préstamos reembolsables por un volumen de hasta 360.000 millones de euros y transferencias no reembolsables por una cantidad de 390.000 millones de euros.

Los dos instrumentos de mayor volumen del Next Generation EU son los siguientes:

- El Mecanismo para la Recuperación y la Resiliencia (MRR), que constituye el núcleo del Fondo de Recuperación y está dotado con 672.500 millones de euros. Su finalidad es apoyar la inversión y las reformas en los Estados miembros para lograr una recuperación sostenible y resiliente, al tiempo que se promueven las prioridades ecológicas y digitales de la UE.
- El Fondo REACT-EU, que está dotado con 47.500 millones de euros. Los fondos de REACT-EU operan como fondos estructurales, pero con mayor flexibilidad y agilidad en su ejecución. REACT-EU promoverá la recuperación ecológica, digital y resiliente de la economía.

Next Generation EU también aportará fondos adicionales a otros programas o fondos europeos, como el Fondo Europeo Agrario de Desarrollo Rural (FEADER) y el Fondo de Transición Justa (FTJ), de los cuales España recibirá 720 y 450 millones de euros, respectivamente.

Dentro del MRR, España recibirá un total de aproximadamente 140.000 millones de euros, de los que 60.000 millones corresponden a transferencias no reembolsables. Además, podrá acceder a un volumen máximo de 80.000 millones de euros en préstamos.

En Estados Unidos, en el año 2022 se ha publicado el *Inflation Reduction Act* (IRA).

Con 260.000 M\$, el IRA es la mayor inyección de capital en energías renovables desde la publicación del Pacto Verde Europeo. De estos 260.000 M\$, aproximadamente 23.900 M\$ están destinados a moléculas renovables.

Los puntos más importantes son los siguientes:

1. Hidrógeno:

- a) En hidrógeno renovable se establece un crédito fiscal a la producción de 3 \$/kg si se cumplen las emisiones del ciclo de

vida y los requisitos de salario y aprendizaje. Hasta un máximo de 13.000 M\$ ayudaría a financiar más de 4,3 Mt (27 Gw) frente a los objetivos de la UE de 5,5-10 Mt (41-63 MW).

- b) En hidrógeno de baja intensidad de carbono se establece un crédito de secuestro de carbono de un máximo de 85 \$/tCO₂. Esto se traduciría en una reducción de los costes de producción de 0,73 \$/kg si se cumplen las emisiones del ciclo de vida y los requisitos de salario y aprendizaje. Hasta un máximo de 3.200 M\$, se incluyen todos los tipos de instalaciones de captura de captura, almacenamiento y uso del carbono.
2. Biocombustibles. El IRA reconoce el SAF como una prioridad, estableciendo un crédito fiscal a la producción de hasta 0,56 \$/kg. Hasta un máximo de 6.000 M\$ ayudaría a financiar la producción de más de 10,7 Mt de SAF. En comparación, la UE no proporciona ayudas directas sino mandatos de producción mínima.
3. Captura de carbono:
- a) En cuanto al secuestro de carbono desde una fuente puntual se establece un crédito que va desde los 60 \$/tCO₂, si se utiliza en la recuperación mejorada de petróleo, hasta 85 \$/tCO₂, si se almacena de forma subterránea cumpliendo las emisiones del ciclo de vida y los requisitos de salario y aprendizaje. En comparación, la UE no proporciona ayudas.
 - b) En la captura directa de carbono desde el aire se establece un crédito que va desde los 130 \$/tCO₂, si se utiliza en la recuperación mejorada de petróleo, hasta 180 \$/tCO₂, si se almacena de forma subterránea cumpliendo las emisiones del ciclo de vida y los requisitos de salario y aprendizaje. En comparación, la UE no proporciona ayudas.

12. Seguridad de suministro

España es un país que importa la mayor parte de la energía que consume, sobre todo petróleo y gas. Sin embargo, juega con ventaja respecto a sus vecinos europeos, ya que no solo dispone de un suministro energético diversificado, tanto por fuentes primarias como por orígenes, sino que también cuenta con un sistema de refino sólido capaz de importar materias primas muy

diversas, convertirlas en productos de valor y crear empleo e ingresos fiscales para el país.

A lo largo de 2021, España importó productos energéticos por valor de 46.575 millones de euros, lo que supone un 13,6% del total de importaciones en el país. Dentro de estas importaciones, las importaciones de gas prácticamente se duplicaron con respecto a 2020 (+91,3%), suponiendo un 2,8% del total de importaciones. Las de petróleo y derivados aumentaron un 61,9%, suponiendo un 9,8% del total de importaciones. Estos datos reflejan que es prioritario comenzar a allanar el camino para la producción de energías alternativas para cubrir las necesidades del mercado interno y seguir combatiendo el cambio climático²⁴.

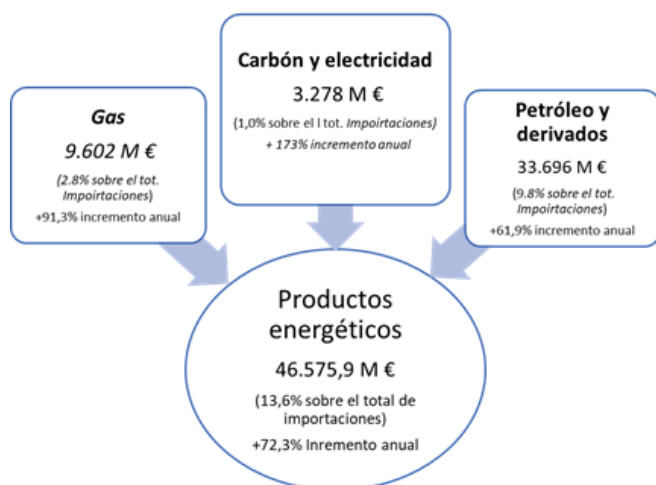


Figura 12. Importaciones de energía en España. Fuente: elaboración propia a partir de datos del Mincotur (en millones de euros)

Los combustibles renovables son una oportunidad de reducir la dependencia energética de Europa, aprovechando recursos propios, en su mayoría residuos y CO₂.

Sin embargo, alrededor de los biocombustibles siempre ha existido la incertidumbre acerca de la disponibilidad de residuos suficientes para la demanda necesaria en los escenarios de neutralidad climática.

En el año 2021 se publicó el informe *Sustainable biomass availability in the EU, to 2050*, elaborado por el Imperial College de Londres, en el que se hace una estimación de la cantidad de

²⁴ Fuente: Ministerio de Industria, Comercio y Turismo.

biomasa sostenible disponible en la UE y Reino Unido en 2030 y 2050 para evaluar el potencial de producción de biocombustibles. Este estudio se centra en biomasa proveniente de la agricultura, forestal y de residuos incluidos en el Anexo IX de la RED II.

Los puntos más importantes que arroja este estudio son los siguientes²⁵.

- La cantidad total de biomasa disponible para la producción de biocombustibles, incluyendo importaciones y restando otros usos, como por ejemplo la industria o generación eléctrica, es de 126-262 Mtep en 2030 y de 101-252 Mtep en 2050. Esto se corresponde con una producción estimada de biocombustibles avanzados de 46-97 Mtep en 2030 y de 71-176 Mtep en 2050.
- En el horizonte 2050 se asume que habrá cantidad suficiente de hidrógeno renovable para ser utilizado en la producción de combustibles sintéticos mediante reacción con monóxido de carbono o dióxido de carbono.
- En 2030 y 2050 el éxito en la producción de combustibles sintéticos vía gasificación y Fischer-Tropsch es crítico, ya que esta es la ruta que puede ofrecer mayor conversión a biocombustibles. Cuando se combina con hidrógeno renovable, el proceso Fischer-Tropsch se convierte en la ruta más productiva para convertir biomasa lignocelulósica en biocombustibles avanzados.
- El hidrotratamiento de lípidos seguirá siendo la ruta más desarrollada para la producción de biocombustibles, sin embargo, su contribución a largo plazo se verá obstaculizada por la disponibilidad de materias primas lipídicas que reúnan los requerimientos de sostenibilidad del Anexo IX de la RED.
- El etanol producido a partir de materias primas lignocelulósicas jugará un papel fundamental en el futuro a medio y corto plazo, pero su importancia decrecerá exceptuando su conversión a otros hidrocarburos.
- A corto y medio plazo, el coprocesamiento de aceites de pirólisis puede jugar un papel significativo si se solventan los obstáculos técnicos. A largo plazo y con el suministro suficiente de hidrógeno renovable, las plantas de pirólisis y licuefacción hidrotermal pueden ayudar a completar el mercado.

²⁵ Imperial College. Sustainable biomass availability in the EU, to 2050. London.

Con este informe, podemos concluir que existe materia prima suficiente en Europa para cumplir con la demanda de combustibles renovables. Adicionalmente, la diversidad de materias primas utilizadas, desde residuos sólidos urbanos, a residuos de la agricultura y la ganadería y CO₂, lleva a un escenario muy equilibrado que, sin ser dependiente de ningún sector, es sinérgico con muchos de ellos (industria, sector primario), aportando un efecto multiplicador en la economía.

13. Los combustibles renovables en el mundo

En la actualidad, la producción de combustibles renovables se centra en biocombustibles. En el año 2021, la AIE, en su informe anual relativo a las energías renovables correspondiente al año 2021, explica, entre otros temas, cómo será el panorama de los biocombustibles en el mundo hasta el año 2026. A continuación, se resumen los puntos más importantes²⁶:

1. La demanda global de biocombustibles se espera que para 2026 crezca en 41.000 millones de litros (incremento del 4% anual), lo que supone un crecimiento del 28% para el periodo 2021-2026. Las políticas gubernamentales serán el factor principal para este crecimiento. Al finalizar este periodo, el 87% de los biocombustibles disponibles serán etanol y FAME. El 13% restante corresponderá a biojet y HVO.

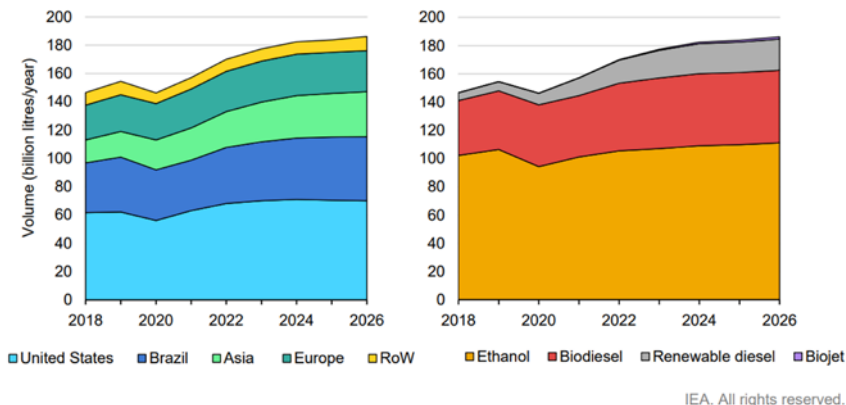


Figura 13. Demanda de biocombustibles por región (izquierda) y tipo (derecha) (2018-2026). Fuente: Renewables 2021, Analysis and Forecast to 2026 – International Energy Agency (AIE)

²⁶ Renewables 2021, Analysis and Forecast to 2026. International Energy Agency (AIE).

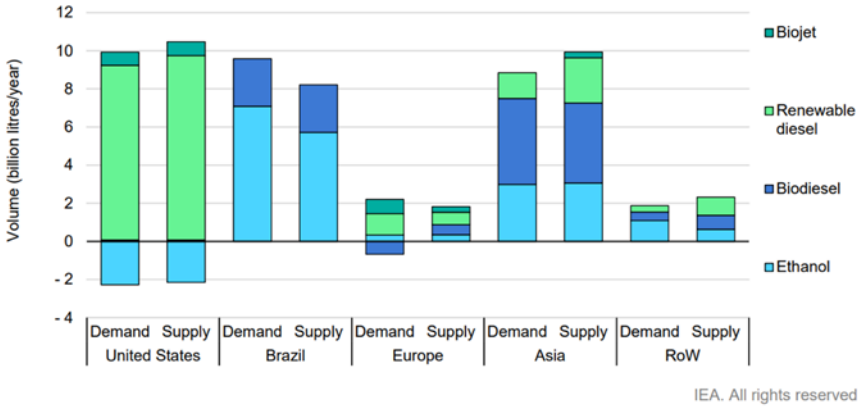


Figura 14. Crecimiento de la oferta y demanda de biocombustibles por región y tipo (2022-2026). Fuente: Renewables 2021, Analysis and Forecast to 2026 – International Energy Agency (AIE)

- Se espera que Asia supere a Europa en producción y en demanda de biocombustibles antes de 2026. Los objetivos de *blending* de Indonesia y Malasia y las políticas del etanol de India (20% *blending* en 2025) son los responsables principales de este crecimiento. La región de Asia comprenderá un 27% de la nueva demanda y un 29% de la nueva producción mundial.

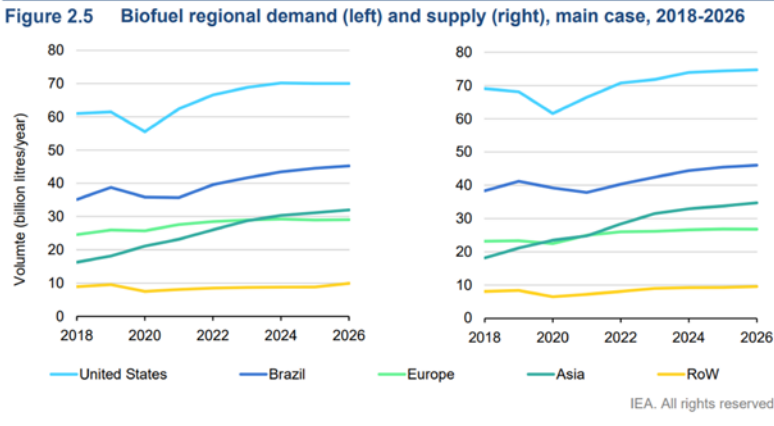


Figura 15. Demanda (izquierda) y oferta (derecha) de biocombustibles por región (2018-2026). Fuente: Renewables 2021, Analysis and Forecast to 2026 – International Energy Agency (AIE)

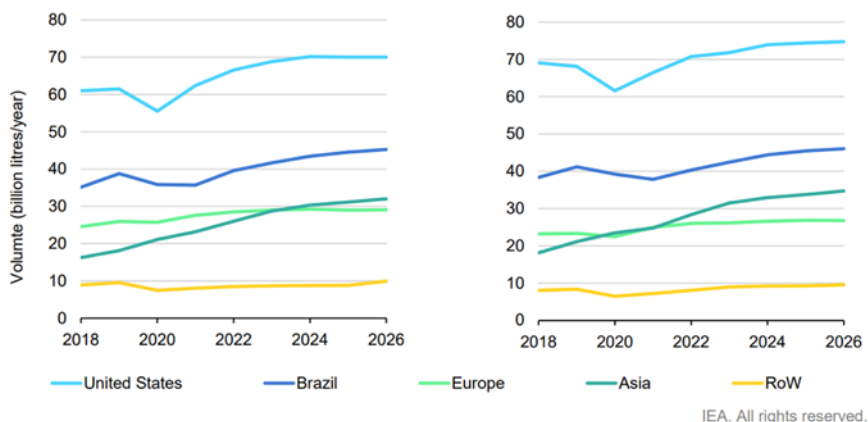


Figura 16. Crecimiento de la demanda de biocombustibles por tipo (izquierda) y contribución al crecimiento de la demanda por región (derecha) (2021-2026). Fuente: Renewables 2021, Analysis and Forecast to 2026 – International Energy Agency (AIE)

3. EE. UU. y Brasil continuarán siendo los principales productores y consumidores en el periodo hasta 2026.
4. La demanda de biocombustibles en Europa se mantiene débil, con un incremento únicamente de un 13%. Esto se debe a que la demanda global de combustibles bajará. Se prevé que la demanda de diésel en Alemania, Francia y España caiga un 4% y de gasolina un 11% para 2026.
5. El etanol y el HVO serán los principales impulsores del crecimiento de los biocombustibles. La demanda de HVO prácticamente se triplica hasta 2026 debido a las políticas de EE. UU. y Europa suponiendo un 90% del incremento de la demanda mundial. El crecimiento del etanol se mantiene fuerte por las políticas de India (20% *blending*), Indonesia (40% *blending*) y Brasil.
6. La demanda de biojet se expande considerablemente, creciendo casi 6.000 millones de litros hasta 2026. En EE. UU., se espera que en 2030 sea un 15%. En Europa se espera que sea de un 2% en 2030.
7. Los biocombustibles deben expandirse de manera mucho más rápida (40% más) para cumplir con los objetivos Net Zero de la AIE para 2026.

8. EE. UU., Países Bajos y Singapur se mantendrán como los máximos exportadores hasta 2026. Reino Unido, Canadá y Suecia se mantendrán como los máximos importadores en este periodo.
9. En 2026 se espera que el 21% de la demanda de HVO y el 31% de la demanda de biojet se cumplan mediante el comercio.

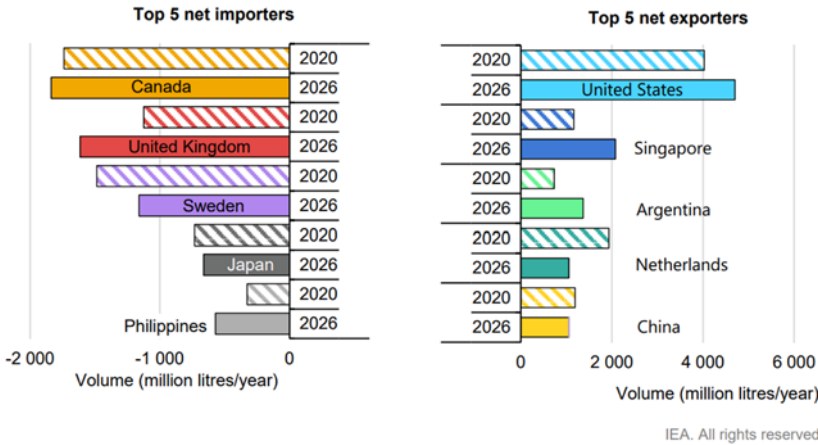


Figura 17. Primeros cinco exportadores e importadores de biocombustibles a nivel global en 2026, en comparación con 2020. Fuente: Renewables 2021, Analysis and Forecast to 2026 – International Energy Agency (AIE)

14. Conclusiones

El efecto de la actividad humana sobre el calentamiento global del planeta es una evidencia ya demostrada. La lucha contra el cambio climático se ha convertido desde hace unas décadas en uno de los pilares de la política internacional, de esfuerzos científicos y de empresas, y también de movimientos sociales.

Es bien conocido que la acumulación en la atmósfera de los llamados gases de efecto invernadero (GEI) y, en particular, del CO₂ procedente de la producción y utilización de combustibles fósiles está contribuyendo significativamente a este aumento de la temperatura media del planeta. Aunque en menor medida, también contribuyen a este incremento de GEI en la atmósfera las actividades agrícolas y ganaderas, la deforestación y determinadas emisiones de origen natural.

De igual modo, queda claro que uno de los mayores retos que la humanidad tiene por delante es reducir drásticamente estas emisiones a fin de evitar que el aumento de la temperatura media global supere el nivel que la comunidad científica ha establecido como límite (+1,5 °C respecto a la era preindustrial). Sin ningún tipo de políticas de mitigación del cambio climático, las emisiones de GEI se dispararían a finales de siglo y las consecuencias serían irreversibles. Para evitarlo, han de iniciar una serie de acciones a fin de transitar progresivamente a un modelo económico descarbonizado. Dichas acciones, para que sean efectivas, han de aprovechar todas las tecnologías, complementándose entres sí: la electrificación renovable, la captura de CO₂ y, por supuesto, los combustibles renovables líquidos y gaseosos, entre otras.

La humanidad está ante este reto de alcanzar los objetivos de la neutralidad climática de la manera más rápida y eficiente, aprovechando y mejorando las capacidades tecnológicas disponibles. Es precisamente en este sentido que los combustibles renovables juegan un rol primordial. Los combustibles renovables, que incluyen biocombustibles y combustibles sintéticos, serán un complemento necesario para la electrificación de sectores como el transporte, ampliando el abanico de tecnologías de movilidad de bajas emisiones, ofreciendo a los consumidores las mejores opciones que se adapten a sus necesidades. Como se ha comentado, el reto al que nos enfrentamos es tan enorme que es primordial contar con todas las alternativas tecnológicas presentes y futuras.

El desarrollo de los combustibles renovables es una oportunidad para el desarrollo tecnológico e industrial de Europa y en particular de España, por nuestro gran potencial en energías renovables, capacidades ya existentes y *know how*. Una oportunidad que, además de contribuir a descarbonizar la economía, mejorará la seguridad energética, fomentará la economía circular y el desarrollo de las zonas rurales. Con un adecuado apoyo al desarrollo de esta nueva industria, podemos conseguir liderar esta transformación tan necesaria para la sociedad.