

EL FUTURO VERDE DE LA AVIACIÓN EN ESPAÑA:

*ESTADO DE LOS E-FUELS
Y EL HIDRÓGENO VERDE*

Título: El futuro verde de la aviación en España

Autor: Marcos Raufast García

Agradecimientos: Este informe ha sido apoyado por la Fundación Europea para el Clima (European Climate Foundation)

Editor: ECODES (Fundación Ecología y Desarrollo)

Publicado: enero 2025

contenido

RESUMEN EJECUTIVO 04

CONTEXTO 07

HACIA LA DESCARBONIZACIÓN DEL SECTOR

LOS NUEVOS COMBUSTIBLES 12

- BIOCOMBUSTIBLES
- COMBUSTIBLES RENOVABLES DE ORIGEN NO BIOLÓGICO: RFBOS
- HIDRÓGENO VERDE

CONTEXTO LEGISLATIVO ACTUAL 30

- UNIÓN EUROPEA
- ESPAÑA



<u>PROYECTOS EN ESPAÑA</u>	41
<ul style="list-style-type: none">• PRODUCCIÓN ESTIMADA• PROYECTOS DE COMBUSTIBLES SINTÉTICOS• PROYECTOS DE HIDRÓGENO• PROYECTOS DE I+D+I• PROYECTOS DE BIOCARBURANTES	
<u>CUMPLIMIENTO DE REFUELEU AVIATION</u>	54
<u>CONCLUSIONES</u>	60
<u>RECOMENDACIONES</u>	65
<u>ANEXOS</u>	70

LISTA DE ACRÓNIMOS

AESA - Agencia Española de Seguridad Aérea

AIE - Agencia Internacional de la Energía

CORSIA - Régimen de Compensación y Reducción de las Emisiones de Carbono de la Aviación Internacional (Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation)

CO₂ - Dióxido de Carbono

EASA - Agencia Europea de Seguridad Aérea (European Union Aviation Safety Agency)

GEI - Gases de Efecto Invernadero

GtL - Gas-to-Liquid

H₂ - Hidrógeno

HEFA - Ácido de Ésteres y Grasas Hidroprocesadas (Hydroprocessed Esters and Fatty Acids)

ILUC - Cambio Indirecto del Uso de la Tierra (Indirect Land Use Change)

I+D+i - Investigación, Desarrollo e Innovación

IRENA - Agencia Internacional de Energías Renovables

LCA - Análisis del Ciclo de Vida (Life Cycle Assessment)

MITECO - Ministerio de Transición Ecológica y el Reto Demográfico

PNIEC - Plan Nacional Integrado de Energía y Clima

PtL - Power-to-Liquid

RCDE - Régimen de Comercio de Derechos de Emisión (European Trading Scheme)

RED - Directiva de Energías Renovables (Renewable Energy Directive)

RFNBOs - Combustibles Renovables de Origen No Biológico (Renewable Fuels of Non-Biological Origin)

SAF - Combustibles Sostenibles de Aviación (Sustainable Aviation Fuels)

t - Toneladas

UCO - Aceite de Cocina Usado (Used Cooking Oil)

e-SAF/e-queroseno - Combustibles Sostenibles de Aviación Sintéticos

Resumen ejecutivo

La crisis climática sólo nos deja una opción: descarbonizar para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero.

La aviación representa el 1,2% de las emisiones domésticas de Gases de Efecto Invernadero (GEI) de España¹ y el 3,8% de las emisiones totales de CO₂ de la Unión Europea (UE). En la UE, el número de vuelos aumentó un 15% entre 2005 y 2019, mientras que los kilómetros recorridos por los pasajeros crecieron un 90%².

Detener la quema de combustibles fósiles es la medida clave, que pasa, en primer lugar, por la electrificación, mientras que en otros sectores difíciles de electrificar como es la aviación se prevén otras alternativas, como la sustitución de combustibles por otras alternativas. La Agencia Europea de Seguridad Aérea (AESA) estima que, para 2050, las emisiones se reducirán en un 69%: un 5% gracias al hidrógeno verde y a los aviones eléctricos, mientras que los combustibles sostenibles de aviación (SAF por sus siglas en inglés) representarán el 37 % de la reducción³.

Los combustibles sostenibles para la aviación (SAFs, por sus siglas en inglés) son una alternativa a los combustibles fósiles y, si se abordan sus desafíos, pueden reducir significativamente las emisiones de los aviones. Es crucial distinguir el origen de las materias primas utilizadas en su producción, y tener en consideración las múltiples facetas y consecuencias de su producción.

En el caso de los biocarburantes para aviación, derivados de residuos o cultivos, la producción está en aumento. Sin embargo, estos biocarburantes enfrentan por ejemplo problemas de fraude, escasez de materia prima y dependencia externa.

En este contexto, los combustibles renovables de origen no biológico (RFNBOs, por sus siglas en inglés) se consideran la opción más sostenible para la aviación. Los RFNBOs, como el hidrógeno y los combustibles sintéticos, se producen a partir de materias primas renovables como son el sol y el agua, y pueden reemplazar a los combustibles fósiles en diversas aplicaciones, incluyendo la aviación y el transporte marítimo.

El Reglamento europeo **REPowerEU** y el **Plan Nacional de Energía y Clima (PNIEC) español** han establecido objetivos claros de producción ambiciosa de hidrógeno verde. España, debido a su clima y geografía, es el país europeo con más horas de sol y un extenso territorio, y por lo tanto **tiene una posición privilegiada para producir hidrógeno (H2)**. De igual manera, los enormes costes y las pérdidas de transporte de energía redundan en que la importación de hidrógeno no sea una alternativa viable.

Aún cuando en España no hay producción de combustibles sintéticos, actualmente hay varios proyectos previstos para la producción de hidrógeno verde y combustibles sintéticos. Cuatro empresas tienen previsto producir combustibles sintéticos en los siguientes años. Del mismo modo, hay varias empresas que planean el despliegue de hidrógeno verde, aunque la mayor parte se prevé que se utilice para descarbonizar el hidrógeno gris ya existente, utilizado, por ejemplo, en refinerías y en la producción de fertilizantes.

La producción de combustibles sintéticos e hidrógeno y su utilización en el sector de la aviación, es una de las grandes esperanzas para la descarbonización del mismo. Ahora bien, esto solo ocurrirá si se le da prioridad y se promueven políticas que permitan el despliegue de los combustibles sintéticos y del hidrógeno verde para la aviación, con un marco normativo acorde que provea de seguridad jurídica y permita que se realicen las inversiones necesarias para este despliegue.

Una forma puede ser promover la producción y el uso de combustibles sintéticos y utilizar el excedente de energía renovable del mix eléctrico y otros sectores para producir hidrógeno. Asimismo, debe darse prioridad a la electrificación siempre que sea posible: las actividades relacionadas con las operaciones de vuelo, como los vehículos auxiliares o las operaciones del personal de tierra, deben electrificarse, dejando el hidrógeno o los combustibles electrónicos como alternativas para la descarbonización de las aeronaves.

Este informe analiza los principales aspectos de los combustibles sintéticos y el hidrógeno verde como sustitutos del queroseno para la aviación y profundiza en sus principales desafíos y oportunidades en cuanto a costes, disponibilidad, producción y algunas cuestiones medioambientales a tener en consideración. Asimismo recoge los principales proyectos en desarrollo o previstos en España, analizando las estimaciones de producción previstas y el escenario en el que se encuentra España para cumplir con los objetivos marcados.

Contexto

*Hacia la descarbonización
en el sector de la aviación*

El sector de la aviación representa el 3,8% de las emisiones totales de CO2 de la UE⁴. En España, las emisiones de la aviación nacional aumentaron un 5,5% anual de 2015 a 2019 -con la excepción de una reducción en 2020 debido a las medidas COVID-19-⁵. Las emisiones de gases de efecto invernadero del tráfico nacional se recuperaron a niveles de 2019⁶ **durante 2023, y se consumieron 6,6 millones de toneladas de queroseno en los aeropuertos españoles**, superando el consumo de 2019⁷. Además, la aviación es el principal medio de transporte de los distintos archipiélagos españoles.

Además de CO2, los aviones también emiten sustancias distintas, como NOx, partículas, dióxido de azufre y vapor de agua⁸, que también tienen potencial de calentamiento y otras consecuencias para la salud. En este contexto, para hacer frente a la crisis medioambiental y climática que atravesamos, **es obligatorio atajar las emisiones de CO2 y no-CO2 del sector de la aviación.**

En la actualidad se están investigando y promoviendo avances tecnológicos para descarbonizar la aviación, como mejoras en la propulsión, la aerodinámica y los materiales. Sin embargo, la utilización de combustibles alternativos a los utilizados actualmente destacan como una solución viable a corto plazo con un gran potencial para reducir las emisiones de CO2 y no CO2 de la aviación.⁹

Actualmente la electrificación sólo es previsible para los vuelos de menos de 500 km, siendo el enorme peso de las baterías el principal problema¹⁰, y sólo se considera probable para los aviones de menos de 100 plazas.

Asimismo, los aviones de larga distancia necesitan un combustible más denso energéticamente, por lo que su electrificación o uso de hidrógeno resulta más complicada desde el punto de vista técnico¹¹. Además, el combustible de aviación tiene requisitos de calidad y especificaciones estrictos a tener en consideración.¹²

Esta circunstancia implica que actualmente la aviación es uno de los sectores que más dependen de los combustibles alternativos¹³, y que **los combustibles sostenibles de aviación (SAFs)¹⁴ y el hidrógeno son los sustitutos potenciales del combustible de aviación actual¹⁵**, como puede verse en la Figura 1.¹⁶

	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Commuter » 9-19 seats » < 60 minute flights » <1% of industry CO ₂	SAF	Electric or Hydrogen fuel cell and/or SAF	Electric or Hydrogen fuel cell and/or SAF	Electric or Hydrogen fuel cell and/or SAF	Electric or Hydrogen fuel cell and/or SAF	Electric or Hydrogen fuel cell and/or SAF	Electric or Hydrogen fuel cell and/or SAF
Regional » 50-100 seats » 30-90 minute flights » ~3% of industry CO ₂	SAF	SAF	Electric or Hydrogen fuel cell and/or SAF	Electric or Hydrogen fuel cell and/or SAF	Electric or Hydrogen fuel cell and/or SAF	Electric or Hydrogen fuel cell and/or SAF	Electric or Hydrogen fuel cell and/or SAF
Short haul » 100-150 seats » 45-120 minute flights » ~24% of industry CO ₂	SAF	SAF	SAF	SAF potentially some Hydrogen	Hydrogen and/or SAF	Hydrogen and/or SAF	Hydrogen and/or SAF
Medium haul » 100-250 seats » 60-150 minute flights » ~43% of industry CO ₂	SAF	SAF	SAF	SAF	SAF potentially some Hydrogen	SAF potentially some Hydrogen	SAF potentially some Hydrogen
Long haul » 250+ seats » 150 minute + flights » ~30% of industry CO ₂	SAF	SAF	SAF	SAF	SAF	SAF	SAF

Figura 1. Previsión de disponibilidad de tecnología en el sector de la aviación.

Fuente: Waypoint 2050. Un proyecto del Grupo de Acción del Transporte Aéreo ¹⁷

Estos combustibles sostenibles de aviación (SAF) son combustibles que no se producen a partir de fuentes de energía fósil, y que, con el empleo adecuado y atención a los desafíos que presentan, pueden suponer una reducción de emisiones de los aviones considerable.

Estos combustibles sostenibles de aviación (SAFs) son combustibles que no se producen a partir de fuentes de energía fósil, y que, con el empleo adecuado y atención a los desafíos que presentan, pueden suponer una reducción de emisiones de los aviones considerable.

Ahora bien, cuando se analizan los diferentes combustibles sostenibles de aviación (SAFs) es importante diferenciar el origen de la materia prima que se utiliza para producirlos. Actualmente la producción de combustible de origen biológico está en auge aunque **los biocombustibles, producidos a partir de residuos o cultivos, cuentan con un preocupante potencial de fraude, escasez de materia prima y dependencia del exterior¹⁸.**

Ante este desafío, los combustibles de origen no biológico (RFNBOs) se perfilan como la alternativa más sostenible en la aviación. **Estos se producen a partir de materias primas renovables o no fósiles que se asemejan a las características de los combustibles de origen fósil. Pueden sustituir a los combustibles fósiles tradicionales en diversas aplicaciones, como el transporte aéreo y marítimo¹⁹.** El hidrógeno y los combustibles sintéticos pertenecen a esta clasificación²⁰. Los combustibles sintéticos están producidos con hidrógeno, por lo que ambas alternativas de emisiones cero dependen de la producción de hidrógeno verde, cada vez más relevante.

El uso de biocombustibles en la aviación está aumentando,²¹ así como el aumento de la producción y consumo de Ésteres y Ácidos Grasos Hidroprocesados (HEFA por sus siglas en inglés) como la única alternativa que se encuentra actualmente en el mercado y que puede mezclarse con el queroseno convencional en hasta un 50%²². En particular, en España está aumentando su producción cada vez más. Eso ha implicado que se incremente el porcentaje de materias primas proveniente del exterior, un tercio de las materias primas utilizadas proceden de Indonesia, disminuyendo la cantidad de materias primas de origen nacional²³.

Los biocarburantes se promocionan como una alternativa lista para los combustibles fósiles, pero su elevada demanda en múltiples sectores y la forma en que se producen deben tenerse en cuenta a la hora de abordar transformaciones a medio y largo plazo. **Del mismo modo, en la transición hacia un transporte más ecológico hay que tener en cuenta diferentes criterios medioambientales, como el consumo de agua, las emisiones de gases de efecto invernadero y el uso del suelo.**

La Agencia Internacional de la Energía (AIE) calcula que, en 2050, los biocarburantes representarán el 33% de la cuota total y los combustibles sintéticos a base de hidrógeno, el 37% (véase Figura 2)²⁴.

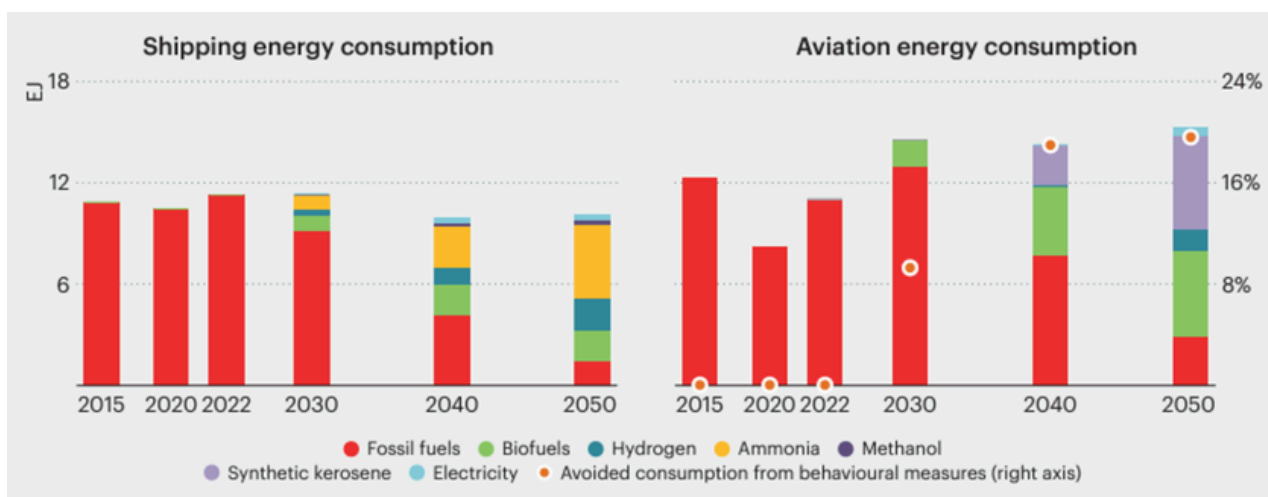


Figura 2: Cuota de las fuentes de energía en el transporte marítimo y aéreo 2015-2050.

Fuente: Net Zero Roadmap AIE 2023.

Los nuevos combustibles

Biocombustibles

Los biocarburantes o biocombustibles son combustibles producidos a partir de materiales de biomasa, como cultivos o residuos de diferentes procesos²⁵ y pueden utilizarse en lugar de los combustibles fósiles en la mayoría de los medios de transporte actuales, como los automóviles, el transporte marítimo, los camiones y la aviación.

La Agencia Internacional de la Energía (AIE) estima que para un 2050 neto cero, los biocarburantes tienen que aumentar su producción, del 4% anual actual al 11% en el escenario 2030.

Se dividen en diferentes tipos (véase Figura 3).

- **Los biocarburantes de primera generación:** se producen a partir de materias primas vegetales, como la caña de azúcar, la palma, la soja, el maíz y la colza.
- **Los biocarburantes de segunda generación (o biocarburantes avanzados):** se obtienen a partir de biomasa lignocelulósica, materias primas de cultivos no alimentarios, residuos agrícolas y forestales y desechos industriales²⁶.
- **Los biocarburantes de tercera generación:** se producen a partir de algas, lodos de depuradora y residuos sólidos urbanos²⁷.
- **Los biocarburantes de cuarta generación:** utilizan materias primas genéticamente optimizadas para mejorar la captura de dióxido de carbono²⁸.

Generación	Materia prima	Principales características
Primera Generación	Caña de azúcar, palma, soja, maíz, colza	Producidos a partir de cultivos alimentarios; asociados con cambios indirectos en el uso del suelo (ILUC) y pérdida de biodiversidad
Segunda Generación (Biocarburantes Avanzados)	Biomasa lignocelulósica, materias primas de cultivos no alimentarios, residuos agrícolas y forestales, residuos industriales, aceite de cocina usado (UCO)	Utiliza materiales de desecho; la mayoría de los cuales son importados. Riesgo de fraude y escasez de UCO que podría producir ILUC
Tercera Generación	Algas, lodos de depuradora, residuos sólidos municipales	Alto potencial de sostenibilidad; pueden utilizar tierras no cultivables
Cuarta Generación	Materias primas genéticamente optimizadas	Busca mejorar la captura de dióxido de carbono; aún en fase de investigación y desarrollo

Figura 3. Categorización de los biocarburantes. Fuente: Elaboración propia a partir de T&E y otros.

Los biocarburantes de primera y segunda generación son los más populares, pero su impacto medioambiental no es el mismo, ya que los de primera generación implican un perjuicio mayor para el medio ambiente debido al cambio en el uso del suelo. Los biocarburantes de segunda generación son actualmente un foco de inversión. Aún así, el riesgo de fraude, la escasez de materia prima y la dependencia del exterior, convierten a los biocarburantes de segunda generación en un aliado peligroso para la transición, que si no se tiene en cuenta, podría retrasar el desarrollo de otras tecnologías más limpias y que presentan riesgos menores, como los RFNBOs.

En España, existe una oferta de biocarburantes que se manifiesta en diversos proyectos²⁹ de empresas como Repsol y Cepsa. Repsol, en su factoría de Cartagena, calcula producir 250.000 toneladas anuales de biocarburantes a partir de residuos³⁰. Cepsa está construyendo junto a Bio-Oils la mayor fábrica de biocarburantes de segunda generación del sur de Europa³¹ en Palos de la Frontera, con una previsión de producción de 2,5 millones de toneladas de biocarburantes, de las que 800.000 serán SAF de origen biológico³².

El HEFA, producido a partir de aceite de cocina usado, es el único biocombustible para aviación producido en la actualidad en España, y su producción, así como la importación de materias primas está aumentando rápidamente (ver Figura 4)³³.

HEFA		
	2022	2023
España	97,83%	63,11%
Portugal	2,17%	-
Indonesia	-	36,83%

Figura 4. Producción de biocombustible de aviación HEFA en España. Fuente: Berna, L. Estado de los biocarburantes en España, ECODES, (2024, octubre) a partir de datos del MITECO

CONSECUENCIAS MEDIOAMBIENTALES

Los biocarburantes derivados de cultivos, especialmente los de palma y soja, pueden provocar más emisiones de carbono que los combustibles fósiles convencionales,³⁴ debido a su cambio indirecto del uso de la tierra (ILUC por sus siglas en inglés). Las plantaciones masivas de palma y soja han provocado la deforestación y la liberación de antiguos sumideros de carbono que son muy difíciles de capturar de nuevo, incrementando el cambio climático. Además, este cambio de paisaje también tiene impactos sobre el ecosistema, reduciendo la biodiversidad y todos sus efectos positivos.

Según la industria, los biocombustibles utilizados en la aviación podrían reducir hasta el 90% de las emisiones de carbono³⁵. Sin embargo, las investigaciones llevadas a cabo recientemente apuntan que, contando las emisiones directas e indirectas, algunas materias primas podrían incrementar las emisiones hasta en un 300% o hasta en un 800% en el caso de la aviación (ver Figura 19) comparado con los combustibles fósiles, y que las menos perjudiciales, como el aceite de cocina usado, podrían reducir las emisiones un 70%³⁶.

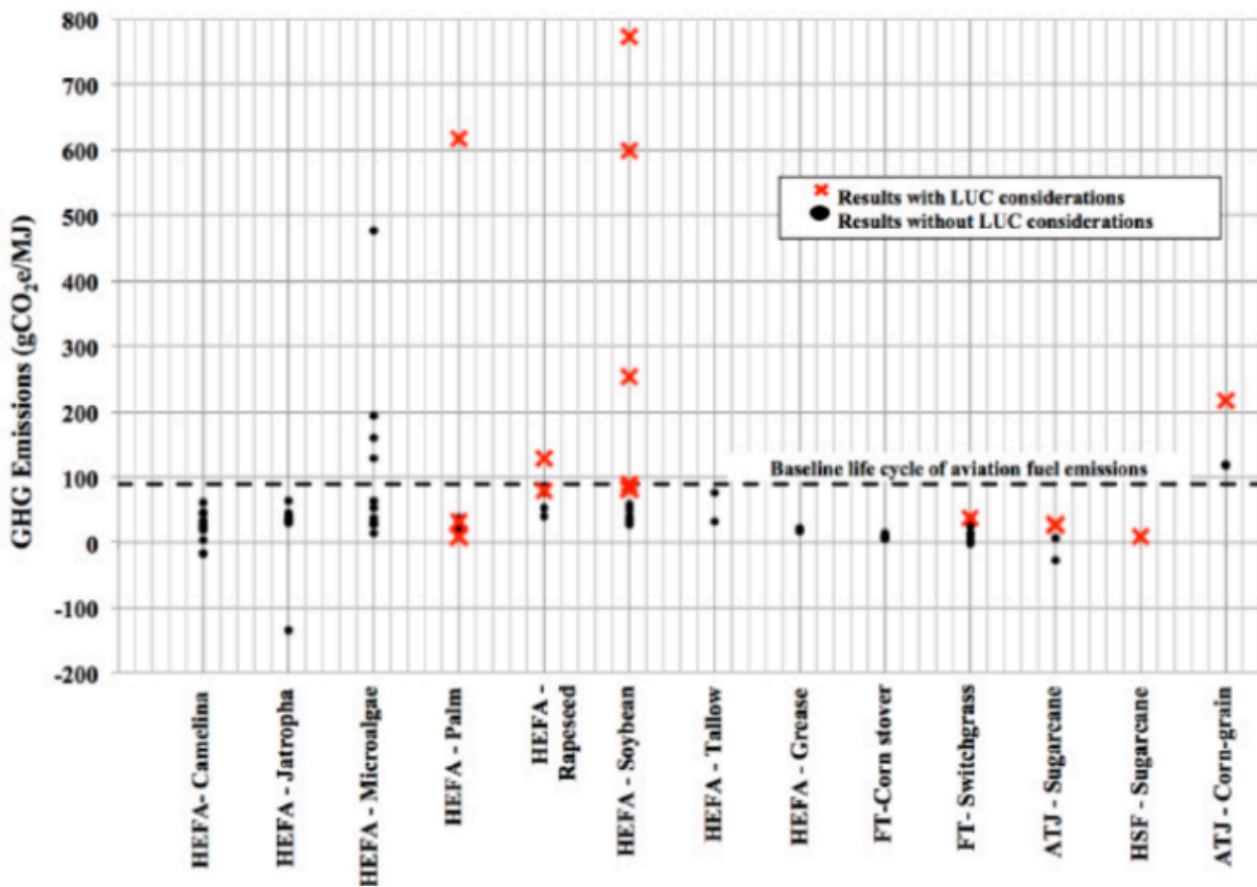


Figura 19. Emisiones de GEI asociadas al ILUC de diferentes biocombustibles. Fuente: OACI. Guía de combustibles de aviación sostenibles. Versión 2, diciembre de 2018.

Otros problemas de los biocarburantes están relacionados con su oferta y demanda. Se presume de que los biocarburantes de segunda generación, como el aceite de cocina usado (UCO por sus siglas en inglés) o las grasas animales, promueven una economía circular, reducen la dependencia energética y evitan numerosas emisiones. Sin embargo, uno de los problemas asociados reside en la procedencia de las materias primas para la producción, su trazabilidad y la transparencia correspondiente³⁷.

Se ha demostrado que la mayoría de los residuos para biocarburantes se importan. Aunque la producción de biocarburantes a partir de UCO está aumentando en Europa, el 80% de la materia prima es importada, sobre todo de Asia, y en concreto el 60% procede de China.

Además, existe un riesgo de fraude en la importación de UCO, ya que la industria de biocarburantes de la UE ha detectado aceite de palma vendido como usado, transformando así los efectos medioambientales positivos del uso de residuos en las terribles consecuencias ILUC que tiene la producción de aceite de palma. **Existe un gran riesgo para el aumento del crecimiento de los biocarburantes de aceite de cocina usado relacionado con el suministro real de la materia prima, y cómo hacer frente al fraude o la escasez.**

Por otro lado, las clasificaciones de la RED plantean serias dudas. En el caso de las grasas animales, su uso ha aumentado un 60% entre 2021 y 2022, aumentando la dependencia de otros países para la obtención de esta materia prima³⁸. Su clasificación³⁹ en el mercado de los biocarburantes es dudosa, con posibles fraudes en la clasificación entre las categorías 1 y 2, y la categoría 3, -ya que las categorías 1 y 2 cuentan doble para los objetivos en la RED y la categoría 3 podría rebajarse intencionadamente para contar doble. Esto implica que las emisiones de CO₂ de las grasas animales pueden ser hasta 1,7 veces superiores a las del gasóleo convencional. Las grasas animales se utilizan en otras industrias como la oleoquímica y la de animales de compañía, amenazando el suministro de este material y su sustitución por, muy probablemente, aceite de palma.

Aun cuando cada vez se producen más biocarburantes en Europa y la Directiva de Energías Renovables de la Unión Europea⁴⁰ los contabiliza como energía renovable en los objetivos, los problemas relacionados con las materias primas que se utilizan, su oferta y demanda, la trazabilidad, así como la dependencia de materias primas importadas, son argumentos claros para no recurrir a ellos como una opción a medio largo plazo para la descarbonización del transporte, incluida la aviación.

Combustibles Renovables de Origen No Biológico: RFNBOs

Los denominados Combustibles Renovables de Origen No Biológico (RFNBOs) se producen a partir de materias primas renovables o no fósiles que se asemejan a las características de los combustibles de origen fósil. El hidrógeno y los combustibles sintéticos son los RFNBOs utilizados en el sector de la aviación⁴¹.

- **Los combustibles sintéticos, e-fuels, e-combustibles, Power-to-Liquid (PtL) o Gas-to-Liquid (GtL) son combustibles producidos por la combinación de CO₂ y H₂⁴². Los combustibles sintéticos son un grupo diverso de compuestos que pueden utilizarse como sustitutos de los combustibles tradicionales, como la gasolina y el gasóleo⁴³. **Sus emisiones pueden llegar a cero cuando el hidrógeno se produce con energías renovables y se captura el dióxido de carbono de la atmósfera⁴⁴.** Sin embargo, este proceso requiere una gran cantidad de energía, lo que lo hace sólo apto para sectores difíciles de electrificar, como la aviación. Su consumo de agua también es grande, debido a la electrólisis para obtener hidrógeno, pero sigue siendo muy inferior al agua que consumen por ejemplo los biocarburantes basados en cultivos.**

- **El hidrógeno no es una fuente de energía, sino un vector energético, el llamado «Vector del Hidrógeno».** Esto significa que el hidrógeno necesita energía para ser producido y que es capaz de acumular energía para liberarla posteriormente⁴⁵. El hidrógeno verde se genera a partir de energías renovables, utilizando agua para el proceso de electrólisis. Existen otros tipos, como el hidrógeno azul (producido mediante la captura, utilización y almacenamiento de carbono) y el gris (producido a partir de gas natural fósil). Suele transformarse en amoníaco para ser transportado, ya que este recurso licuado es más fácil de mover y ya cuenta con una infraestructura para ello, aunque también lleva consigo riesgos asociados como su toxicidad o consumo energético añadido para su transformación. Sus usos se centran sobre todo en la industria, pero se está dirigiendo también al transporte con un especial énfasis en su potencial para el sector de la aviación.

LOS E-FUELS, COMBUSTIBLES SINTÉTICOS, E-QUEROSENO, POWER-TO-LIQUID (PTL) Y GAS-TO-LIQUID (GTL).

Son combustibles producidos a partir de la combinación de CO₂ y H₂⁴⁶. La producción de combustibles sintéticos consta esencialmente de cuatro pasos: producción de hidrógeno, captura de dióxido de carbono (CO₂), conversión del gas de alimentación en nuevas moléculas en una síntesis y mejora final del producto bruto⁴⁷. **Como se menciona anteriormente, sus emisiones pueden llegar a cero cuando el hidrógeno se produce con energías renovables y el dióxido de carbono no es de origen biológico, es decir, se captura de la atmósfera.** Debido a la dificultad de capturarlo directamente de la atmósfera, los proyectos que se están llevando a cabo hoy en día capturan CO₂ biogénico, como, por ejemplo, a partir de biomasa o de las emisiones de la industria.

Hay cuatro factores principales que, de forma primaria y actualmente, afectan al coste de los combustibles sintéticos (véase la Figura 20):

- Síntesis Fischer-Tropsch (en torno al 22-28% del coste total)
- Suministro de energía renovable (28-49%)
- Suministro de CO₂ (13-17%)
- Electrólisis (14-27%)⁴⁸

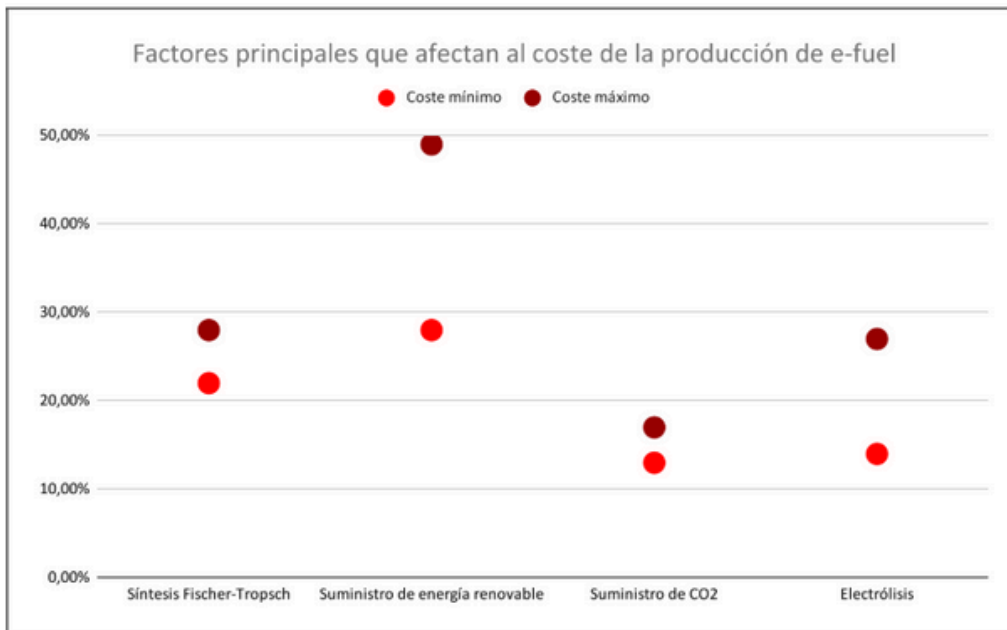


Figura 20. Factor de reparto de costes máximos (naranja) y mínimos (azul) de la producción de combustibles sintéticos o e-fuels para aviación. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de PtX Hub y Agora Verkehrswende.

Los combustibles sintéticos se consideran una herramienta viable para la descarbonización de ciertos sectores difíciles de electrificar, como la aviación,⁴⁹ pero actualmente son ocho veces más caros que el queroseno convencional fósil, lo que plantea uno de los principales desafíos a abordar para el despliegue de este tipo de combustibles⁵⁰.

Según el informe «Defossilising aviation with e-SAF» de International PtX Hub y Agora Verkehrswende,⁵¹ una tonelada de combustible convencional para aviones cuesta 650 euros de media en junio de 2024, frente a una tonelada de combustibles sintéticos que cuesta 4.000 euros de media.

Para 2030, se prevé una homogeneización de los costes y una reducción a la mitad del precio del combustible sintético, hasta los 2.000-2.500 euros por tonelada. Para 2050, se espera que el precio se estabilice en torno a los 1.800 euros por tonelada.

Otros informes como el de EASA <<State of the EU SAF market in 2023>> de diciembre de 2024 indican un **precio medio por tonelada de combustible convencional de 816€ en 2023** y **estiman un precio medio de producción en torno a 7.500€ por tonelada en el caso de combustible sintético a partir de CO2 industrial o biogénico y 8.225€ por tonelada en el caso del combustible sintético a partir de CO2 capturado de la atmósfera**⁵².

Los precios de los combustibles sintéticos y el lento crecimiento del mercado corren el riesgo de provocar un retroceso de la producción y en las decisiones finales de inversión. Ejemplos recientes como el cierre de la planta de combustibles sintéticos para el sector marítimo y la aviación en la localidad sueca de Örnsköldsvik retratan la actual situación de incertidumbre⁵³. **Esto provoca que exista gran incertidumbre sobre el papel que desempeñarán los combustibles sintéticos en la descarbonización de la aviación:**

La Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) calcula que representarán entre el 3 y el 17% del combustible de aviación en 2035 y entre el 8 y el 55% en 2050⁵⁴.

El hecho de que, -en algunos casos- el suministro de energía renovable suponga casi la mitad del coste total de la producción de combustibles sintéticos representa una ventaja competitiva para España y su extensa red de fuentes de energía renovables⁵⁵- el 50,8% de la electricidad suministrada en España en 2023 provino de fuentes de energía renovable-.

Según la Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia (CNMC), a medida que aumenten las energías renovables y el almacenamiento de energía, se espera que el coste de producción de los combustibles sintéticos o e-fuels disminuya debido a la bajada de los precios de la electricidad⁵⁶.

En la aviación, los combustibles sintéticos se benefician de su capacidad para utilizar las infraestructuras existentes de transporte, almacenamiento y distribución, así como los equipos de uso final,⁵⁷ ya que sus propiedades químicas y físicas son similares a las del combustible de aviación convencional⁵⁸. Se consideran principalmente una alternativa para combinar con biocarburantes sostenibles⁵⁹. Además, cuando se produce combustible sintético para complementar los biocarburantes sostenibles en la aviación, se produce una cierta cantidad de gasolina sintética como subproducto.

El sector privado está incrementando su interés en los combustibles sintéticos, como demuestra su creciente inversión en investigación y desarrollo, especialmente en Europa⁶⁰. La mayoría de los grandes proyectos de combustibles sintéticos se sitúan en los países nórdicos, como «Alpha, Beta, Gamma» y «E-fuel 2» en Noruega, «Hy-X» en Suecia y «Arcadia combustibles sintéticos» en Dinamarca. Los países de Europa Central y Occidental, como Alemania, Francia y los Países Bajos, completan el primer nivel de producción de combustible de aviación⁶¹. En España aún no se producen de manera comercial, pero hay algunos proyectos previstos (ver apartado 5).

CONSECUENCIAS MEDIOAMBIENTALES

CONSUMO DE AGUA

El consumo de agua en la producción de combustibles sintéticos, aunque menor que el de los biocarburantes, puede ser muy elevado. Un proyecto de combustibles sintéticos que utilice hidrógeno derivado de electricidad renovable para obtener energía requiere tanta agua como una central nuclear o de carbón⁶².

Además, es probable que muchas plantas de combustible sintético estén cerca de plantas solares en regiones normalmente áridas, lo que lo convierte en un factor a considerar por la escasez de agua en dichas zonas⁶³. La posibilidad de aumentar la desalinización resulta atractiva como alternativa, aunque las estimaciones apuntan a que se necesitaría un 5% de toda la instalación actual de capacidades de desalinización para alcanzar objetivos de suministro de combustibles sintéticos destinados tanto a la aviación como a la navegación en 2030.

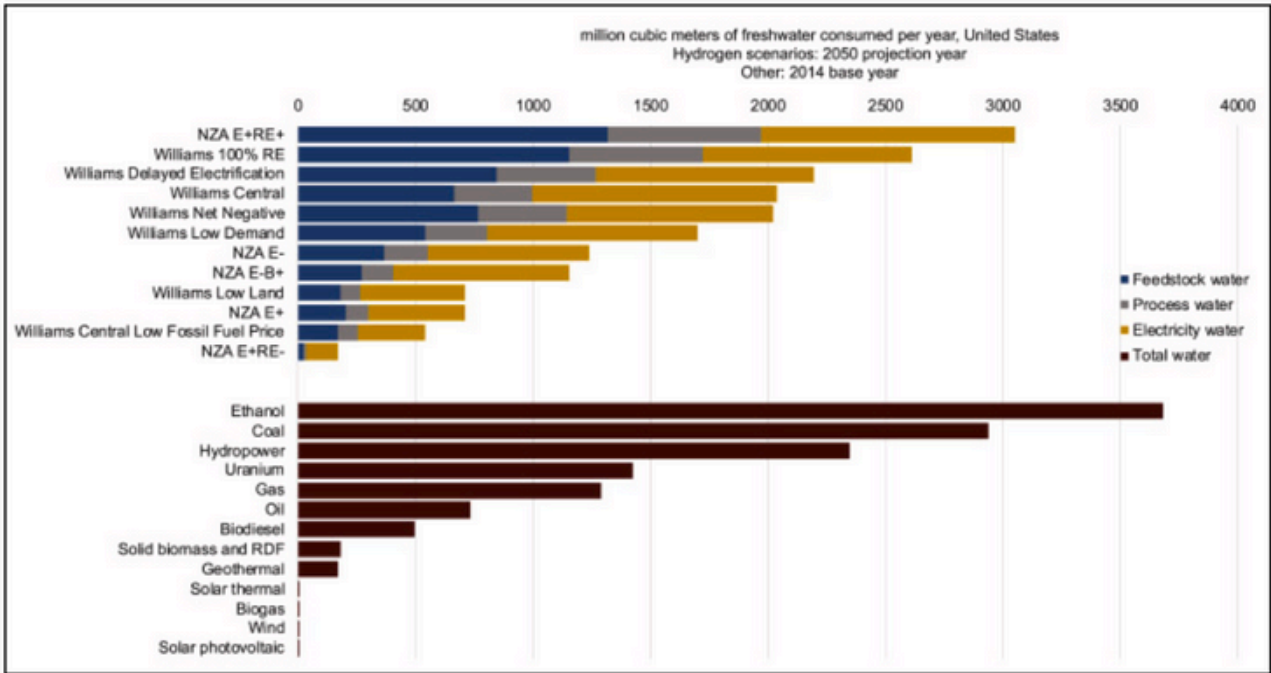


Figura 21. Consumo anual de agua dulce para el hidrógeno electrolítico (producción centralizada) según el escenario EE.UU. 2050, millones de metros cúbicos (106 m³/año). Fuente: Grubert, E. (2023).

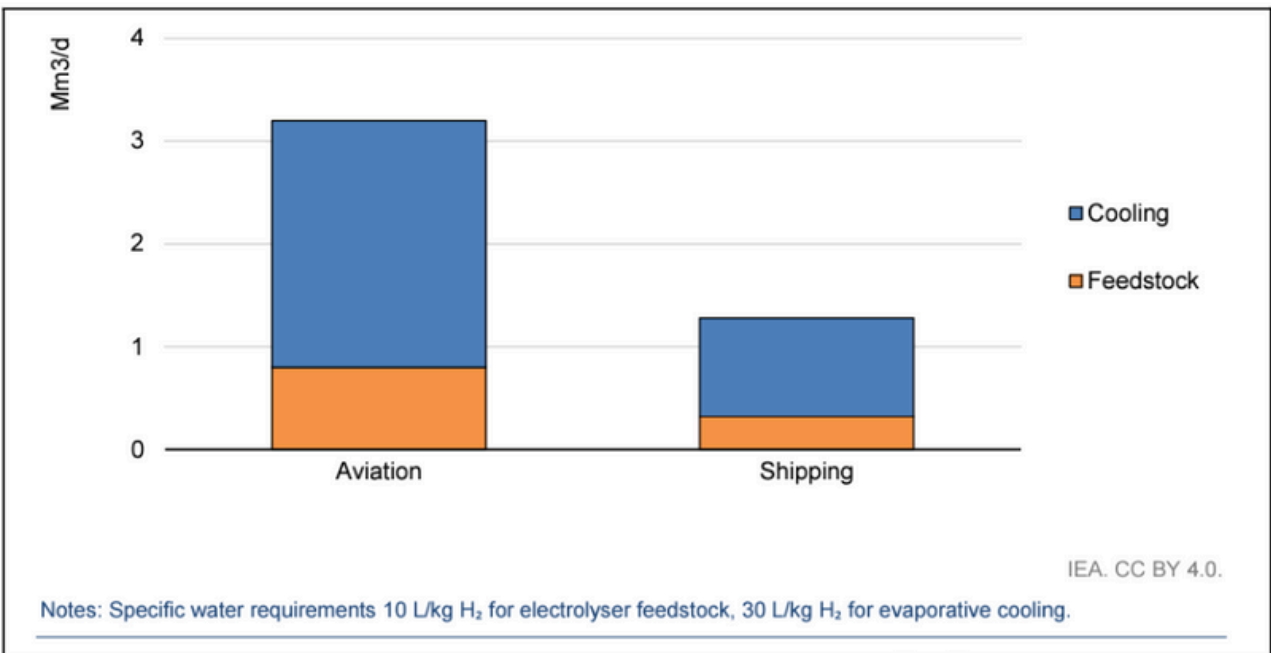


Figura 22. Agua necesaria para alcanzar un objetivo del 10% de combustibles sintéticos en 2030 en el sector del transporte. Fuente: «El papel de los combustibles sintéticos en la descarbonización del transporte». AIE, 2024.

USO DE LA TIERRA

La producción de combustibles sintéticos, estrechamente relacionada con la generación de electricidad, especialmente con la energía eólica, que requieren de territorio para su instalación⁶⁴. Las estimaciones varían mucho, pero de acuerdo a la Agencia Internacional de la Energía, se requeriría una superficie entre el tamaño de Bélgica y el de Grecia para producir un 10% del combustible sintético para la aviación mundial y el 10% del amoniaco para el transporte marítimo en 2030⁶⁵.

Hidrógeno verde

Como se ha mencionado anteriormente, **el hidrógeno verde es un vector energético que necesita energía para ser producido y que es capaz de acumular energía para ser liberada posteriormente**⁶⁶. El hidrógeno verde se genera a partir de energía renovable, utilizando agua para la electrólisis, y también es una forma de utilizar el excedente de energía renovable del mix eléctrico para almacenar esa energía. Además, existen otros tipos de hidrógeno según la fuente de energía, que no se revelan como los idóneos debido a su escasa o nula reducción de emisiones, como el gris -a partir de gas fósil- o el negro y marrón- a partir de carbón-⁶⁷.

El hidrógeno se utiliza sobre todo en la industria, sobre todo en refinerías y fábricas de amoniaco,⁶⁸ y algunos sectores, como el de la fertilización, no tienen una alternativa real al hidrógeno como puede verse en la Figura 23, **pero también puede ser una fuente de energía para sectores como el de la aviación.** Para ser transportado, suele transformarse en amoniaco, ya que este recurso licuado es más fácil de transportar y ya se cuenta con la infraestructura gasística para ello.

Aunque la aviación tiene otras alternativas como los biocarburantes o los combustibles sintéticos, su utilidad queda clara en la posición alta de la Escalera del Hidrógeno⁶⁹. **Como RFNBO, el hidrógeno es una alternativa factible que da esperanzas para transformar al sector de la aviación en un sector neutro en carbono.**

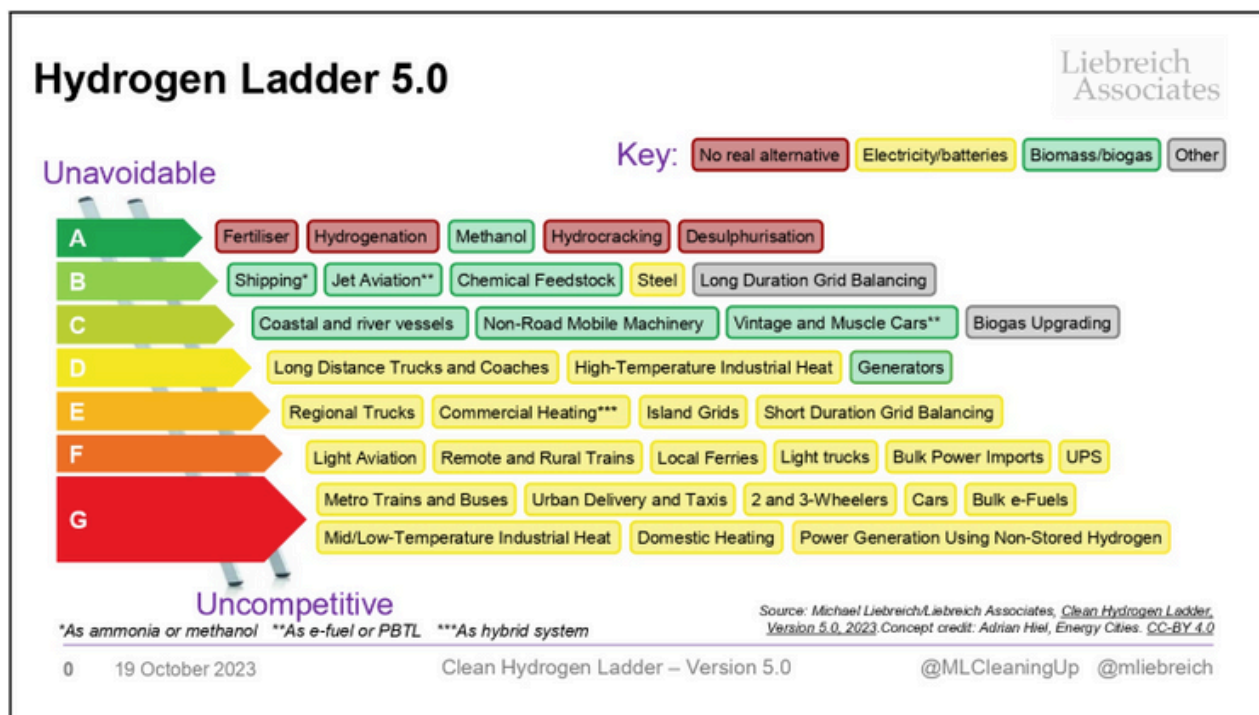


Figura 23. Fuente: Michael Liebreich/Liebreich Associates, *Clean Hydrogen Ladder, Version 5.0, 2023*. Concept credit: Adrian Hiel, Energy Cities. CC-BY 4.0

A pesar de su elevada posición en la escalera, que hace del hidrógeno verde un vector indispensable para la descarbonización de la aviación, el hidrógeno implica grandes pérdidas de energía en varias partes de la cadena de valor del transporte que deben ser tenidas en cuenta, como el 30-35% en la electrólisis, la conversión en amoníaco en el 13-25%, el transporte en el 10-12% y el 40-50% en las pilas de hidrógeno⁷⁰.

Hay dos formas de utilizar el hidrógeno verde en los aviones:

1. Utilización del hidrógeno para producir energía eléctrica mediante células de combustión que alimentan los motores eléctricos.
2. Combustión directa de hidrógeno en motores de combustión interna, de forma similar a los actuales motores de avión⁷¹.

En 2020, la producción total europea de hidrógeno -incluyendo el no renovable- fue de 11,5 Mt al año. Alemania fue, con diferencia, el mayor productor de hidrógeno, con 2,09 Mt, mientras que España produjo 0,79 Mt. La mayor parte del hidrógeno producido en la UE procede del reformado cautivo, es decir, la producción de hidrógeno a partir de combustibles fósiles⁷².

De los 8,7 Mt de hidrógeno utilizados en 2020, el 50% se destinó a refinerías y el 29% a la industria del amoníaco⁷³. **España es el cuarto país europeo con mayor demanda de hidrógeno, con unas 500.000 toneladas.**

En 2022 se creó una alianza multisectorial para el hidrógeno llamada SHYNE (Red Española del Hidrógeno) que, liderada por Repsol, tiene como objetivo principal generar 2 GW de hidrógeno verde para 2030 (la mitad del objetivo de la Hoja de Ruta del Hidrógeno) a través de diez proyectos⁷⁴.

También el hidrógeno verde genera una profunda dependencia en los países que tienen escasez de energías renovables y se prevé que la reducción de costes derivada de la producción de hidrógeno verde en terceros países, donde la energía renovable podría ser muy accesible, **no compensa los costes asociados a la distribución y el transporte.** Por ejemplo, importar hidrógeno licuado o hidrógeno mediante amoníaco del norte de África sería más caro que el hidrógeno producido localmente⁷⁵. Este factor es relevante a la hora de considerar el impacto medioambiental real y el potencial del consumo de hidrógeno verde en la UE, teniendo en cuenta que en la Unión Europea se importarán 10 Mt y producirán 10 Mt en 2030, según el REPower EU⁷⁶.

Además, **una investigación de Transport & Environment descubrió que sólo el 1% de la producción de hidrógeno verde prevista en los potenciales países exportadores mundiales que evaluaron** (Chile, Egipto, Marruecos, Namibia, Noruega y Omán) **contaba con decisiones finales de inversión, lo que demuestra la falta de seguridad actual sobre la producción real.** También hay otros aspectos sociales que considerar, como la propia transición ecológica de los países productores que aún carecen de suficiente cuota renovable en el mix eléctrico, y las consecuencias de ese elevado consumo de agua en la población de esos países⁷⁷.

En España, se han anunciado varios proyectos por parte de empresas del sector de la energía o la construcción, tales como Iberdrola, Endesa, Acciona, Repsol o Solarig (ver apartado 5.2). De estos proyectos, únicamente 29.100 toneladas anuales estarían destinadas a la producción de combustible de aviación sintético.

Es necesario aprovechar el potencial de nuestro territorio para la producción de hidrógeno verde asociado a proyectos de producción de combustibles sintéticos para asegurar la sostenibilidad del transporte aéreo, así como prevenir el potencial fraude de la fabricación de hidrógeno a partir de fuentes de energía no renovable, y reducir la dependencia energética de otros países mediante la producción local.

CONSECUENCIAS MEDIOAMBIENTALES

CONSUMO DE AGUA

La producción de hidrógeno verde, como cualquier otra generación de hidrógeno, requiere agua tanto para los procesos de producción como de refrigeración⁷⁸. La producción de esta materia prima consiste en el proceso de electrólisis que divide las moléculas de H₂O en hidrógeno y oxígeno, lo que requiere 9 litros de H₂O por cada kilogramo de H₂⁷⁹. Sin embargo, el hidrógeno verde es el menos intensivo en agua de todos los tipos de producción de hidrógeno limpio⁸⁰. El tratamiento posterior del agua para eliminar los minerales utiliza otros 15 litros por cada kilogramo. La proporción de agua para refrigerar el hidrógeno verde es del 52%, mientras que alcanza el 92% en el caso del hidrógeno azul. Gran parte del agua consumida se extrae, y en 2030 y 2050 supondrá 7.300 y 12.100 millones de m³, respectivamente, del hidrógeno azul y principalmente del verde.

Es de suma importancia resaltar que el 35% de las plantas de producción de hidrógeno verde y azul previstas y en funcionamiento se encuentran en zonas con estrés hídrico, por lo que es de suma importancia invertir e investigar en la reducción del consumo de agua. En el caso de Europa, el 23% de los proyectos de hidrógeno verde están ubicados en este tipo de ecosistemas. Según IRENA, es probable que el 46% de todos los proyectos de hidrógeno previstos en España se sitúen en zonas con escasez de agua⁸¹.

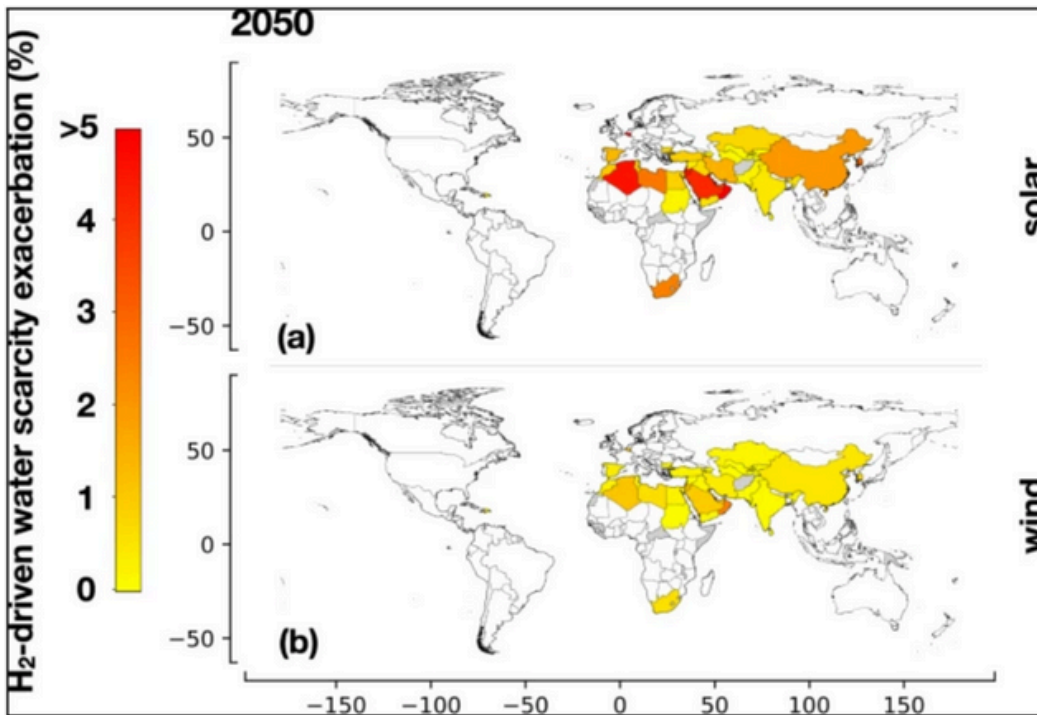


Figura 24. Agravamiento de la escasez de agua inducido por la producción de hidrógeno en 2050. Fuente: Tonelli et al, 2023.

Para tener en cuenta el consumo total real de agua de la producción de hidrógeno verde, también se considera la producción de centrales solares y eólicas, pero incluso en esos casos el escenario de consumo de 400 Tm anuales de hidrógeno verde en 2050 utilizaría el 0,13% del suministro mundial de agua si la energía procediera de la eólica y el 0,56% si procediera de la solar⁸².

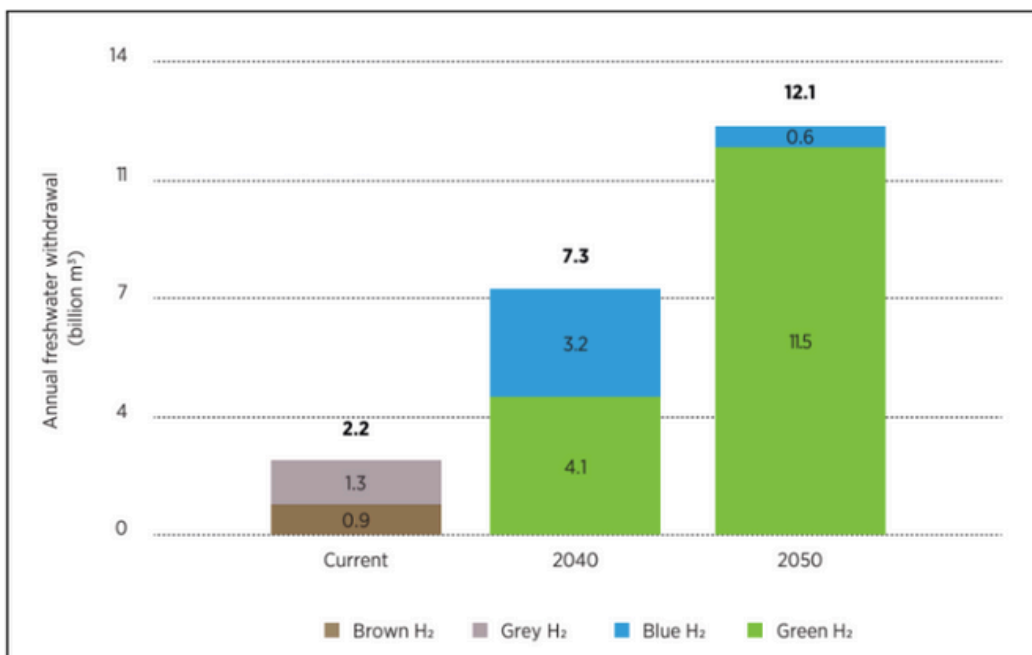


Figura 25. Extracción anual de agua dulce por hidrógeno 2023-2050. Fuente: IRENA y Bluerisk (2023), Water for hydrogen production, Agencia Internacional de Energías Renovables, Bluerisk, Abu Dhabi, Emiratos Árabes Unidos.

USO DE LA TIERRA

El uso del suelo en la producción de hidrógeno verde está intrínsecamente ligado a la producción de energía renovable, que requiere terrenos que compiten con usos para la agricultura, la biodiversidad y la vivienda⁸³. El cambio de algunos paisajes para la generación de energía verde podría destruir las zonas naturales de amortiguación que mitigan el impacto de peligros naturales como inundaciones, corrimientos de tierras e incendios, lo que posteriormente repercute en la salud de las comunidades que viven junto a ellos⁸⁴.

OTRAS CUESTIONES MEDIOAMBIENTALES

El suministro de materiales para pilas de hidrógeno, electrolizadores y capacidad energética añadida para generar hidrógeno también plantea otras problemáticas medioambientales a considerar y abordar⁸⁵. Dos de los materiales críticos, como el platino y el paladio, se utilizan tanto en las pilas de combustible como en los electrolizadores necesarios para la economía del hidrógeno.

Contexto legislativo actual

Unión Europea

REFUELEU AVIATION

El Reglamento ReFuelEU Aviation, en consonancia con el paquete Objetivo 55, trabaja para aumentar el uso de combustibles renovables y bajos en carbono con el fin de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero del sector de la aviación⁸⁶. Se trata de un dato significativo, ya que la aviación representa el 14,4% de las emisiones de gases de efecto invernadero del transporte en la UE.

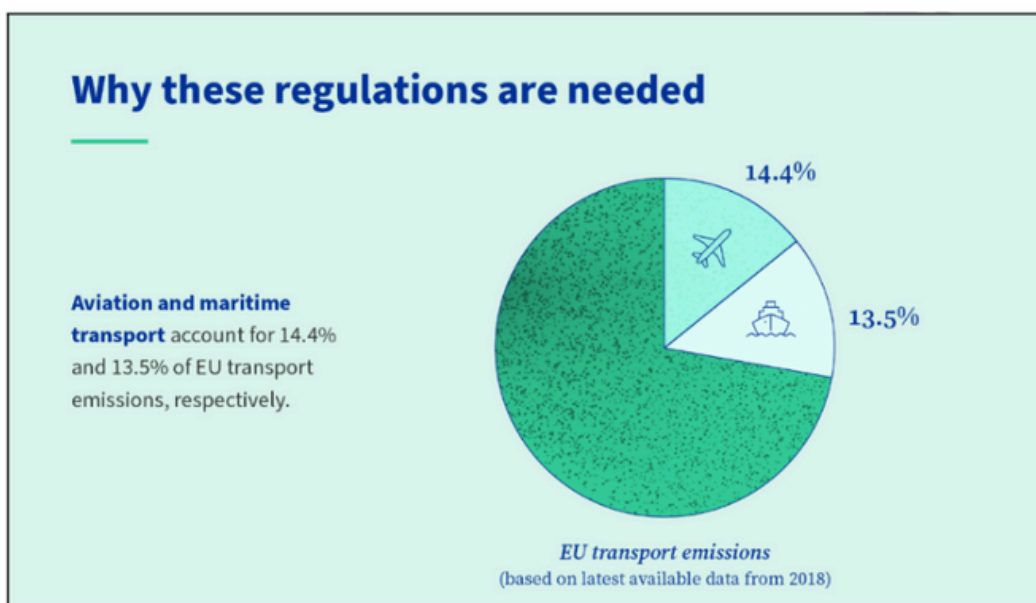


Figura 6. Emisiones del transporte en la UE por contribución. Fuente: Consejo de la UE⁸⁷.

ReFuelEU Aviation pretende aumentar el suministro de combustibles de aviación sostenibles (SAFs), estableciendo cuotas obligatorias de SAFs en distintos plazos, comenzando en 2025⁸⁸. Es importante mencionar que **el Reglamento excluye la posibilidad de que los biocarburantes alimentarios y de cultivos para piensos formen parte de las cuotas de SAFs**, y permite que otros combustibles, combustibles renovables de origen no biológico (RFNBO por sus siglas en inglés) como el hidrógeno verde, los combustibles sintéticos, combustibles de aviación de carbono reciclado y combustibles de aviación de bajo contenido en carbono alcancen las cuotas mínimas⁸⁹.

La mayoría de las regulaciones carecen de la obligación de «uso» en las ventas, dejando la cuota de combustibles utilizados al mercado y no a las necesidades reales de cada sector. Sin embargo, el Reglamento ReFuelEU es una excepción y **obliga a las compañías que suministran combustible de aviación a las aerolíneas (Figura 7) a suministrar al menos un 2% de combustible de origen no fósil en 2025, que aumenta progresivamente hasta el 70% en 2050. De la misma manera, se incorpora un sub-objetivo vinculante de al menos un 1,2% de combustible sintético (e-fuel) en el periodo 2030-2031, con un mínimo anual de 0,7% y un 2% en 2032, hasta alcanzar el 35% en 2050⁹⁰.**

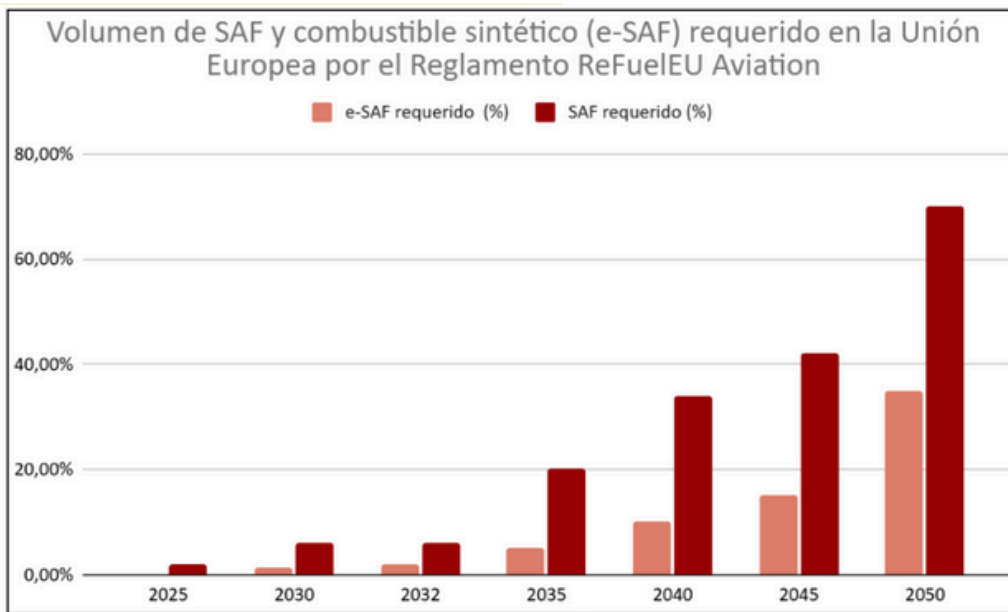


Figura 7. Volumen de SAF y combustible sintético (e-SAF) requerido por el Reglamento de Aviación ReFuelEU en la Unión Europea. Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Consejo de la Unión Europea.

*Asumiendo un escenario donde todos los aeropuertos de la UE están obligados.

Esta medida se aplica anualmente a los proveedores de combustible de aviación y da prioridad a los aeropuertos más cercanos para reducir los costes de transporte y las pérdidas de energía. Asimismo, **para evitar mayores cargas en los aeropuertos no europeos, el llamado «tankering», los aviones tendrán que cargar al menos el 90% del combustible cuando despeguen de aeropuertos de la UE.**

El Reglamento también incluye un sistema de etiquetado voluntario sobre el comportamiento medioambiental para aumentar la transparencia y ayudar a los consumidores a entender el impacto medioambiental real de cada aerolínea y vuelo, que las compañías podrán mostrar antes de 2026 y que tendrá los mismos estándares para todas las aerolíneas, regulados por la AESA.

Por último, ReFuelEU Aviation señala la importancia de recopilar datos e informar de las obligaciones por parte de los proveedores de combustible y los operadores aéreos. **De forma general y antes del 31 de diciembre de 2024, los Estados de la Unión Europea deberán haber establecido penalizaciones** a los suministradores de combustible que no cumplan con los objetivos fijados por ReFuelEU. **Es de suma importancia que estas penalizaciones sean lo suficientemente estrictas para evitar que la adopción de combustible sostenible tenga un coste mayor que la propia penalización y suponga un retraso en la reducción de emisiones y mejora de la calidad de vida de la ciudadanía.**

REPOWEREU

El Plan REPowerEU aborda dos cuestiones relevantes: acabar con la dependencia de la UE de los combustibles fósiles procedentes de Rusia y hacer frente a la crisis climática⁹¹. Sus objetivos son aumentar el objetivo de eficiencia energética Fit for 55 del 9 al 13%, el de energías renovables del 40 al 45% y establecer el objetivo de 10 Mt de hidrógeno renovable producido localmente, al tiempo que se aumentan a 10 Mt las importaciones⁹². Para incentivar los proyectos de hidrógeno, se destinan 200 millones de euros a investigación⁹³.

ACTOS DELEGADOS

Existen dos actos delegados de la UE relacionados con el hidrógeno renovable. **El Reglamento Delegado (UE) 2023/1184 de la Comisión** define cuándo el hidrógeno, los combustibles a base de hidrógeno u otros vectores energéticos pueden considerarse combustible renovable de origen no biológico, o RFNBO⁹⁴. Su objetivo es garantizar que estos combustibles sólo puedan producirse a partir de electricidad renovable “adicional” generada al mismo tiempo y en la misma zona que su propia producción.

El Reglamento Delegado (UE) 2023/1185 de la Comisión, establece la metodología para calcular la reducción de emisiones de GEI de los RFNBO y los combustibles de carbono reciclado⁹⁵. Establece que el ahorro de emisiones de gases de efecto invernadero derivado del uso de combustibles de carbono reciclado será como mínimo del 70% en comparación con los combustibles a los que sustituyen.

DIRECTIVA DE ENERGÍAS RENOVABLES

La Directiva sobre Energías Renovables (RED por sus siglas en inglés) es el marco jurídico para el desarrollo de energías limpias en todos los sectores de la economía de la UE⁹⁶. Su objetivo es aumentar la cuota de energías renovables que se promovió por primera vez en el Pacto Verde Europeo, y reducir así el consumo de combustibles fósiles.

En su última revisión, que tuvo lugar en 2023 (RED III), el objetivo de energía renovable se incrementó hasta el 42,5%. **Este nuevo Reglamento tiene objetivos sectoriales entre los que se encuentra el transporte, con una cuota del 29% de renovables o un 14,5% de reducción de la intensidad de carbono en 2030.**

Este ambicioso objetivo es positivo para la transición ecológica, pero también incentiva los biocarburantes, considerados “renovables” en la Directiva sobre Energías Renovables. **Los biocarburantes no son siempre la mejor solución para el medio ambiente y conviene prestar atención a la hora de aumentar los objetivos**, imponiendo también prohibiciones o restricciones a los más perjudiciales para el medio ambiente.

La RED III divide los biocarburantes en dos categorías diferentes en el Anexo IX: Parte A y Parte B. Además de las 17 materias primas originales incluidas en la parte A y las 2 materias primas de la parte B del anexo IX de la RED, recientemente se han clasificado 5 materias primas adicionales en la parte A y 4 en la parte B. La mayoría de las nuevas materias primas están relacionadas con la agricultura, como los cultivos intermedios, los cultivos dañados o los cultivos en tierras degradadas. Las materias primas del anexo IX tienen objetivos designados que deben alcanzarse para 2030, lo que incentiva a los productores de combustible a generar biocarburantes con estas materias primas. **Los biocarburantes de la Parte A tienen materias primas que constituyen lo que se consideran biocarburantes avanzados, basados en residuos, y tienen un sub objetivo específico del 3,5% para 2030 y un objetivo combinado con RFNBO que representa el 5,5%^{97 98}.** Los biocarburantes de la Parte B tienen un sub-objetivo del 1,7% y son exclusivamente UCO y grasas animales.

La RED III fue la primera que fijó un objetivo vinculante para los RFNBOs⁹⁹. Esta Directiva establece un objetivo para el transporte que cuenta con un 5,5% final de hidrógeno verde y biocombustibles avanzados, de los cuales los RFNBO deben representar el 1%. Debido al doble cómputo y al multiplicador 1,2 para incentivar el uso en los sectores de la aviación y el transporte marítimo, **los volúmenes actuales de RFNBO suministrados al transporte serán muy inferiores a lo que implica el objetivo del 1%, aproximadamente 1/3 del mismo**¹⁰⁰.

RÉGIMEN DE COMERCIO DE DERECHOS DE EMISIÓN (RCDE)

Con el objetivo de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, se ha establecido el **Régimen de Comercio de Derechos de Emisión**, que establece un límite de emisiones que pueden ser emitidas por un actor. En caso de superar este límite, y siguiendo con el principio “quien contamina, paga”, el participante en el sistema debe comprar derechos de emisión iguales al límite superado de emisiones¹⁰¹. El régimen tiene, asimismo, un sistema de incentivos que permite la asignación de derechos de emisión al actor que contribuya a reducir las emisiones de forma voluntaria con cargo a los derechos adquiridos por otros participantes.

En el sector de la aviación, **la aprobación de la Directiva 2023/958** por la que se modifica la Directiva 2003/87/CE, - todavía pendiente de transposición en España y actualización de la Ley 1/2005- establece en su artículo 3 que **se distribuirán 20 millones de asignaciones de derechos hasta 2030** para cubrir la diferencia de precio de otros combustibles con el queroseno fósil convencional.

Esta diferencia cubre los siguientes combustibles:

- **Diferencia de precio del SAF de origen biológico y el hidrógeno en los Aeropuertos de la Unión (a):** El RCDE cubre el 70 % de la diferencia de precio restante entre el uso de queroseno fósil y de hidrógeno procedente de fuentes de energía renovables, y de los biocombustibles avanzados en todos los aeropuertos clasificados como Aeropuertos de la Unión.
- **Diferencia de precio de SAF de origen no biológico para Aeropuertos de la Unión (b):** Cubre el 95 % de la diferencia de precio restante entre el uso de queroseno fósil y combustibles renovables de origen no biológico en todos los aeropuertos clasificados como Aeropuertos de la Unión.

- **Diferencia de precio para cualquier combustible diferente de queroseno fósil en aeropuertos que no sean lo suficientemente grandes para ser clasificados como Aeropuertos de la Unión, aeropuertos situados en islas menores de 10 000 km² y en aeropuertos situados en Regiones Ultraperiféricas (c):** Cubre el 100 % de la diferencia de precio restante entre el uso de queroseno fósil y cualquier combustible de aviación admisible no derivado de los combustibles fósiles contemplados en el párrafo primero del presente apartado, en aeropuertos situados en islas menores de 10.000 km² y sin conexión por carretera o ferrocarril con el continente, en aeropuertos que no sean lo suficientemente grandes como para ser definidos como aeropuertos de la Unión de conformidad con un reglamento relativo a la garantía de unas condiciones de competencia equitativas para un transporte aéreo sostenible, y en aeropuertos situados en Regiones Ultraperiféricas. Este artículo cobra especial relevancia en el caso español, al cubrir el 100% de la diferencia en los aeropuertos situados en las Islas Canarias, Islas Baleares y todos los aeropuertos menores de 100.000 toneladas de mercancías o 800.000 pasajeros.
- **Otros supuestos (d):** En casos distintos a los contemplados en las letras a), b) y c), el RCDE cubre el 50 % de la diferencia de precio restante entre el uso de queroseno fósil y cualquier combustible de aviación admisible que no derive de combustibles fósiles¹⁰².

España

PLAN NACIONAL INTEGRADO DE ENERGÍA Y CLIMA (PNIEC)

El nuevo **Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC)¹⁰³** español menciona específicamente la descarbonización de la aviación en la medida 1.14 y se refiere a los biocarburantes en la medida 1.12 y al hidrógeno verde en la medida 1.16. El PNIEC no tiene carácter vinculante, pero funciona como guía y estrategia para las políticas actuales y futuras.

- **La medida 1.12** se centra en el desarrollo de biocarburantes avanzados para el transporte, enmarcándola en la importancia de descarbonizar el sector que más emisiones de gases de efecto invernadero emite en España (30,7% en 2022)¹⁰⁴. El objetivo es aumentar el uso de biocarburantes avanzados y RFNBO en el sector del transporte, planteando la posibilidad de establecer mecanismos para obligar a vender o consumir biocarburantes y RFNBO, promoviendo etiquetas para las gasolineras que fomenten el uso de biocarburantes, al tiempo que se limita el uso de biocarburantes producidos a partir de alimentos y piensos.
- **La medida 1.14** alude a la industria de la aviación y promueve las energías renovables y la puesta en marcha de las obligaciones de ReFuelEU Aviation. Además, prevé como mecanismo de actuación un programa de ayudas para instalaciones de producción de SAF, la promoción del consumo de mezclas etiquetadas de carburantes renovables o sostenibles, la integración de los SAF como combustible computable a efectos de la obligación de venta o consumo de biocarburantes y el despliegue de combustibles alternativos en los aeropuertos. Además, fija como mecanismo de actuación la transposición del régimen de sanciones aplicables en caso del incumplimiento de ReFuelEU Aviation. El PNIEC da prioridad al hidrógeno junto con otros biocarburantes avanzados para la aviación, priorizando la implementación de medidas de la Hoja de Ruta de Hidrógeno relacionadas con el sector aéreo.
- **La medida 1.16** aborda el escenario del hidrógeno en España, del que se dice que es más positivo que en otros países debido a nuestra expansión de las energías renovables y a los precios más baratos que ello conlleva. Se ha estimado un aumento a 11 GW de electrolizadores de hidrógeno verde para 2030, más del doble de lo que la Hoja de Ruta del Hidrógeno estimaba en 2020¹⁰⁵.

Por último, en la página 452 del borrador del PNIEC, se mencionaba la eliminación progresiva de la palma y la soja con fines de transporte a partir de 2025, que la actualización del mismo no recoge, y que únicamente señala que, de conformidad con la Orden TED/728/2024, a partir de 2025 no se podrán contabilizar para los objetivos de venta de biocarburantes con fines de transporte de aquellos cuya materia prima sea la palma¹⁰⁶.

ORDEN TED/728/2024 PARA EL DESARROLLO DE UN MECANISMO DE FOMENTO DE LOS BIOCARBURANTES Y OTROS COMBUSTIBLES RENOVABLES CON FINES DE TRANSPORTE

La Orden de biocarburantes y otros combustibles renovables con fines de transporte, que entró en vigor en julio de 2024, prohíbe de facto el uso de aceite de palma para la producción de biocarburantes, y en consecuencia en el sector del transporte en España¹⁰⁷.

Sin embargo, la soja queda fuera de la prohibición, y seguirá comportando una problemática importante debido al riesgo de sustitución de la palma y la deforestación. Asimismo establece que «los biocarburantes producidos a partir de cultivos asociados a la deforestación no contarán como combustibles renovables a partir de 2025» y pretende unificar la legislación vigente sobre obligaciones de venta o consumo de biocarburantes y otros combustibles renovables.

También incluye una definición de «combustibles de aviación sostenibles», que remite a la definición recogida en ReFuelEU: son combustibles de aviación sostenibles “los combustibles de aviación que son combustibles de aviación sintéticos y biocombustibles de aviación”. A pesar de estar incluidos en la definición del Reglamento, la Orden deja fuera los combustibles de aviación de carbono reciclado.

Además, el artículo 12.3 es especialmente relevante para el sector de la aviación: a partir de la aprobación de la nueva Orden Ministerial, los combustibles sostenibles de los sectores de la aviación y marítimo cuentan para los objetivos de venta o consumo de combustibles renovables. La parte suministrada en los dos sectores mencionados, con excepción de los biocarburantes producidos a partir de cultivos alimentarios y forrajeros, equivale a 1,2 veces su contenido energético.

La Orden también establece el procedimiento específico para la incorporación de cualquier nueva materia prima a efectos del cumplimiento de las obligaciones de venta o consumo de biocarburantes y otros combustibles renovables con fines de transporte, así como los países de origen y las emisiones que generan. También establece una senda de reducción para los biocarburantes producidos a partir de materias primas consideradas de alto riesgo de cambio indirecto del uso de la tierra (ILUC) hasta 2030¹⁰⁸.

LIBRO BLANCO DEL I+D+I PARA LA SOSTENIBILIDAD DE LA AVIACIÓN EN ESPAÑA

El **Libro Blanco de I+D sobre Sostenibilidad de la Aviación en España** es un documento elaborado por la Agencia Española de Seguridad Aérea (AESA) cuyos objetivos son limitar el ruido, la contaminación atmosférica local y las emisiones de gases de efecto invernadero de la aviación¹⁰⁹. Se divide en tres retos: cambio climático y transición ecológica, economía circular y medio ambiente local. Además, dentro del reto del cambio climático, hay una parte sobre combustibles sostenibles para la aviación.

El Libro Blanco cuenta con la colaboración de expertos de diferentes instituciones del sector público y privado y en él se pone de manifiesto la importancia de promover un mercado para estos nuevos combustibles más sostenibles con materias primas nacionales, para reducir la dependencia energética, y el necesario apoyo de la Administración para llevar a cabo esta transición energética. Para ello, se debe incentivar la colaboración público-privada con la investigación e innovación de los centros de investigación y la industria para posicionar a la industria aeronáutica española como pionera. El documento subraya que la adopción de nuevos combustibles no está muy extendida debido a su precio, a pesar de que su implantación puede ahorrar hasta un 80% de las emisiones de CO₂ del sector. Ni el combustible sintético ni el hidrógeno verde se mencionan en el documento.

PLAN DE ACCIÓN SOBRE REDUCCIÓN DE EMISIONES DE CO₂ EN EL SECTOR AÉREO INTERNACIONAL EN ESPAÑA

La Agencia Española de Seguridad Aérea (AESA) lanzó el **Plan de Acción Español para la Reducción de Emisiones de CO₂ en el Sector de la Aviación Internacional**¹¹⁰. El hidrógeno sólo se menciona unas pocas veces, principalmente como una nueva tecnología que se está promoviendo a través de la Hoja de Ruta del Hidrógeno del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico¹¹¹. El documento señala varios proyectos que se están desarrollando actualmente con hidrógeno como alternativa a los combustibles fósiles. Destaca el proyecto de Boeing, que en 2008 realizó el primer vuelo propulsado por pila de hidrógeno del mundo¹¹².

HOJA DE RUTA DEL HIDRÓGENO

La Hoja de Ruta del Hidrógeno del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico analiza los retos y oportunidades del desarrollo del hidrógeno verde en España¹¹³. El documento muestra la importancia de las pilas de hidrógeno tanto para los aviones como para las infraestructuras aeroportuarias, además de su participación en la producción de combustibles sintéticos. Esta hoja de ruta, creada en 2020, fija un objetivo de hidrógeno de 4 GW, -que es actualizado a 12GW por el PNIEC en 2024- y propone varias medidas centradas en la producción de combustibles sintéticos para la aviación, en una infraestructura adecuada y en cambios de diseño. Cabe destacar tres medidas:

- **Medida 24:** Fomentar el desarrollo de plantas de producción de queroseno sintético producido a partir de hidrógeno renovable o biocarburantes de nueva generación para descarbonizar el transporte aéreo.
- **Medida 25:** Analizar las condiciones necesarias para el rediseño y las modificaciones apropiadas que permitan el uso de aeronaves que utilicen combustibles sintéticos procedentes de hidrógeno renovable o biocarburantes para descarbonizar el transporte aéreo.
- **Medida 26:** Establecer requisitos medioambientales en las especificaciones técnicas que regulan los contratos de los agentes de asistencia que prestan servicios de asistencia en tierra en los aeropuertos.

Proyectos en España

La descarbonización se ha convertido en una prioridad para la Unión Europea y el Gobierno español, como demuestran sus ambiciosos objetivos en el paquete Objetivo 55 (Fit for 55) y el PNIEC, que establecen una reducción del 55% de las emisiones de gases de efecto invernadero para 2030¹¹⁴. En estos planes se incentiva la utilización de energía renovable para alcanzar esos objetivos, previendo un 42,5% y un 48% de consumo final de energías renovables para 2030 en el ámbito europeo y español respectivamente.

Tanto los biocarburantes como los RFNBO cuentan para esos objetivos de energía renovable. Sin embargo, como se ha mencionado previamente, no todos estos combustibles tienen el mismo impacto medioambiental. **Los biocarburantes tienen impactos muy diversos, y algunos biocarburantes producen más emisiones de gases de efecto invernadero que los combustibles fósiles; es el caso de los biocarburantes de origen vegetal¹¹⁵.**

Otros tienen problemas relacionados con el fraude, como los producidos con aceites de cocina usados (UCO por sus siglas en inglés)¹¹⁶. Asimismo, se plantea la cuestión de la independencia energética y los impactos de los aumentos de producción y su vinculación por ejemplo con la importación de materias primas.

Los RFNBO tienen una clara ventaja, ya que su ampliación utilizará mucha menos tierra y agua que los biocarburantes (véase la Figura 5)¹¹⁷.

Cargar los vehículos eléctricos directamente con electricidad (renovable) es mucho más eficiente que convertir la electricidad en hidrógeno y combustibles sintéticos y por eso, los RFNBO deben centrarse en los sectores de la economía en los que la electrificación directa no es factible, como la aviación.

Asimismo se prevé que los proyectos previstos tengan un impacto económico directo positivo debido a la creación de la infraestructura y los puestos de trabajo. En este sentido es importante tener en consideración los retornos socioeconómicos que se generan para los territorios donde se ubiquen las plantas.

Tipo de combustible	Capacidad de producción	Impacto medioambiental	Costes previstos	Proyectos relevantes
Biocarburantes	Aumento de la producción; proyectos importantes (Repsol, Cepsa, BP)	Hasta un 70% de reducción de emisiones de carbono, pero los basados en cultivos (especialmente palma y soja) pueden emitir tres e incluso ocho veces más que los combustibles fósiles debido al cambio en el uso de la tierra	Competitivo con los combustibles fósiles pero aún más alto; alta dependencia externa, varía según la materia prima, riesgo de fraude	Repsol, Cepsa, BP
Combustibles sintéticos (RFNBO)	Importante potencial pero sin producción actual; cuatro proyectos anunciados	Posibilidad de reducir las emisiones de CO2 hasta un 100%. Preocupación por el consumo de energía y agua	Costes iniciales elevados; se espera que disminuyan con la penetración de las energías renovables	Solarig, Breogán, Repsol
Hidrógeno verde (RFNBO)	Importante potencial debido al clima y geografía del territorio español	Bajas emisiones; problemas de consumo de agua y energía	Actualmente elevado; se espera que disminuya con los avances tecnológicos	Centrados en descarbonizar el hidrógeno gris de la industrial

Figura 5. Principales aspectos de los combustibles alternativos en la aviación en España.

Fuente: Elaboración propia.

Producción estimada

Alrededor del 41,93% de la producción total de biocarburantes de los complejos industriales previstos en España en 2030 se destinará a la aviación (ver Figura 16). Teniendo en cuenta que la demanda actual de queroseno para aviación en España en 2023 ascendía a 6.642.869 toneladas, **hasta la fecha, la producción prevista de SAF para 2030 de origen no biológico y biológico en España sólo podría cubrir el 24,54% de la demanda total de queroseno anual** (ver Figura 16).

Ahora bien, **aunque hay varias plantas de producción de SAF previstas en España, como las de Repsol, Cepsa, Solarig, BP y Gunvor (véase el apartado 5), sólo Repsol, Solarig y Greenalia tienen previsto producir combustibles sintéticos de aviación** (ver Figuras 14 y 15).

De los 1,63 millones de toneladas de SAF anuales que se espera producir, sólo el 7,98% serán combustibles sintéticos, lo que equivale a 130.000 toneladas al año, que alcanzaría a cubrir las 79.714 toneladas requeridas para 2030, pero no las 132.857 toneladas requeridas en 2032 por ReFuelEU¹¹⁸. Esta producción sólo cubriría la irrisoria cantidad del 1,96% de la demanda total de queroseno de aviación en 2023 en España (ver Figura 16).

Sin embargo, debido a las características de las plantas de producción, **se estima que la cantidad será significativamente inferior a 130.000 toneladas anuales**. Además, es fundamental evaluar el estado actual de construcción de las plantas de producción, ya que **la mayoría de los datos recopilados se basan en estimaciones de las empresas y la producción final podría variar**.

En particular, **la dificultad de capturar CO₂ de la atmósfera supone un obstáculo para que las emisiones en la producción de combustibles sintéticos sean neutras e incluso negativas**. En su definición estricta, los combustibles sintéticos no dependen de los combustibles fósiles, y el CO₂ se extrae de la atmósfera. **Debido a las complicaciones para la captura directa de carbono (DCC por sus siglas en inglés) del aire, los proyectos actualmente previstos utilizan CO₂ biogénico procedente de la biomasa y en el caso de Repsol, de la refinería de Bilbao**.

Como se ha mencionado anteriormente, **la demanda de queroseno en España está aumentando rápidamente debido al incremento del turismo,¹¹⁹ y se necesitarán más plantas de combustible sintético para cubrir la demanda de queroseno**. En este sentido, debido a las preocupaciones medioambientales y sociales vinculadas a la producción de biocarburantes de origen biológico, el desarrollo de la producción de combustibles sintéticos y la reducción de la demanda de vuelos deben ser prioritarios para reducir las emisiones de la aviación.

Año	Proyecto	Producción total de biocarburantes (toneladas/año)	Producción de SAF (t/año)	
			Biocombustibles de aviación	E-fuels de aviación
Operativa	Berantevilla (Gunvor)	40.000	0	0
2024	Cartagena (Repsol)	250.000	200.000	-
2025	Puertollano (Repsol)	240.000	Mencionado pero sin especificar	-
2025	Bilbao (Repsol)****	2.000	-	2.000
2027	Breogán (Greenalia)	20.000	0	20.000
2027	Alperujo H2 (Avalon Renovables)	50.000	Mencionado pero sin especificar	-
2028	Soria (Solarig)	60.000	0	48.000
2030 (2026)	Palos de la Frontera (Cepsa) ***	2.500.000	800.000	0
2030 (2027)	Castellón (BP)**	650.000	500.000	0
2030	Teruel (Solarig)	75.000	0	60.000
Totales (t)		3.887.000	0	60.000
			1.500.000	130.000

Figura 14. Proyectos de combustibles alternativos, producción de biocarburantes y SAF para aviación. La producción de SAF incluye biocarburantes y combustibles sintéticos (en color rojo) utilizados para la aviación. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de medios de comunicación y Berna, L. Estado de los biocarburantes en España, ECODES, (2024, octubre).

*Alrededor del 16-24% del total de 60.000 toneladas (9.600-14.400 toneladas) será nafta.

** La planta funciona desde 2016. Se estima que en 2027 se producirán 400.000 toneladas de biocarburantes de aviación, que aumentarán a 500.000 en 2030.

*** En 2026 empezará a producir SAF de origen biológico, con una capacidad estimada de 500.000 toneladas, que aumentará a 800.000 en 2030.

**** No está claro que el combustible producido por Repsol-Petronor sea RFNBO ya que se toma como un "subproducto" de la refinería de Petronor y usa el CO2 de la planta.

***** La planta realizará la valoración del alperujo, residuo de la industria olivarera, y planea producir metanol verde, CO2 biogénico, electricidad renovable, compost e hidrógeno verde.

***** Según la Comisión Europea, las plantas híbridas cuentan como el porcentaje de RFNBO utilizado en el proceso. En este caso, el 50% de forma estándar. Ver [Q&A implementation of hydrogen delegated acts](#)

*****Alrededor del 16-24% del total de 75.000 toneladas (12.000-18.000 toneladas) será nafta.

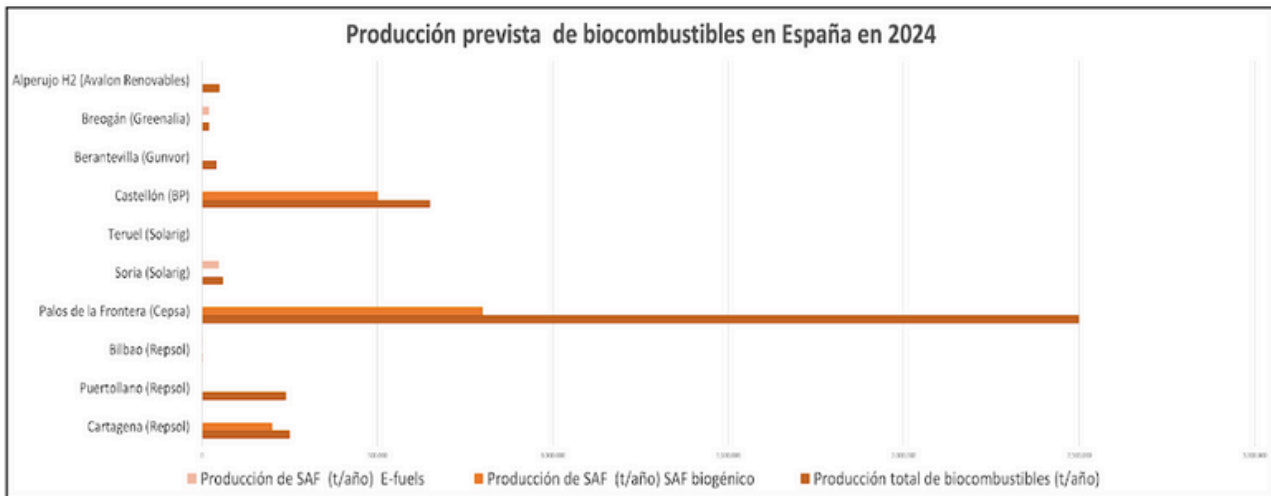


Figura 15. Producción prevista de biocarburantes en España por planta. La producción de SAF incluye los biocarburantes y los combustibles sintéticos utilizados para la aviación. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de medios de comunicación y Berna, L. Estado de los biocombustibles en España, ECODES, (2024, octubre).

Producción por materia prima	Comparación con la producción total de biocarburantes	Comparación con la producción total de SAF (%)	Comparación con la demanda de queroseno en 2023*
Producción de biocarburantes (%)	100,00%	-	-
Producción de SAF (%)	41,93%	100,00%	24,54%
Producción de bioqueroseno (%)	38,59%	92,02%	22,58%
Producción de e-Fuel	3,34%	7,98%	1,96%

*Basado en 6.642.869 toneladas de queroseno consumidas en España en 2023. Fuente: CORES.

Figura 16. Comparación entre los proyectos de combustibles alternativos previstos, los biocarburantes, la producción de e-SAF y SAF y la demanda de queroseno en España en 2023. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de CORES, medios de comunicación y Berna, L. Estado de los biocombustibles en España, ECODES, (2024, octubre).

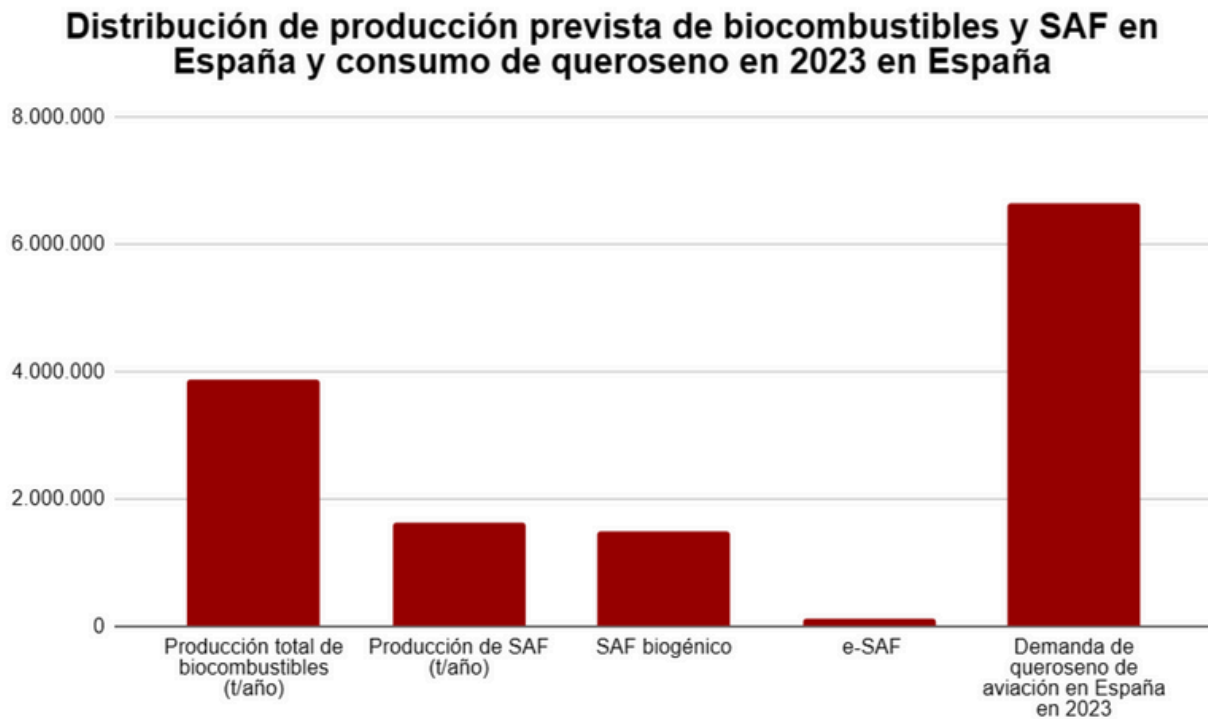


Figura 17. Distribución de la producción prevista de biocarburantes por usos en España. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de CORES y Berna, L. Estado de los biocombustibles en España, ECODES, (2024, octubre).

Además de los ya mencionados, están previstos varios proyectos de producción de hidrógeno en España (véase la Figura 18), como Catalina (Endesa), o Castellón (BP). Sin embargo, el uso de hidrógeno verde en la aviación no es prioritario debido al desarrollo temprano de la tecnología y a varios obstáculos como la autonomía, el diseño de las aeronaves y el coste. Actualmente, se utiliza para la producción de combustibles sintéticos, y en los próximos años se prevé una producción de 29.100 toneladas anuales de hidrógeno verde de empresas como Greenalia y Solarig.

Los principales proyectos de hidrógeno verde en España son los siguientes ¹²⁰:

Proyecto	Hidrógeno verde (t/año)	Utilizado para producción de SAF (t/año)
Varios proyectos (Endesa)	26.000	-
As Pontes (Endesa)	10.000	-
Catalina (Endesa)*	84.000	-
Mallorca (Acciona)	300	-
Barcelona (Iberdrola)	300	-
Bilbao (Repsol)	100	100
Castellón (BP)	31.200	Mencionado pero sin especificar
Breogán (Greenalia)**	11.000	11.000
Soria (Solarig)	18.000	18.000
Teruel (Solarig)	Mencionado pero sin especificar	Mencionado pero sin especificar
Total	180.900	29.100

Figura 28. Proyectos relevantes de hidrógeno en España, número de toneladas que se estima producir y toneladas destinadas a la aviación. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de empresas y AeH2 (Asociación española del hidrógeno).

* 336.000 toneladas de hidrógeno previstas en 2030

** El combustible sintético de aviación se producirá combinando hidrógeno, captura de carbono y biomasa.

*** El proyecto está suspendido por el momento.

Proyectos relevantes de hidrógeno en España en 2024 (180.900 toneladas/año)

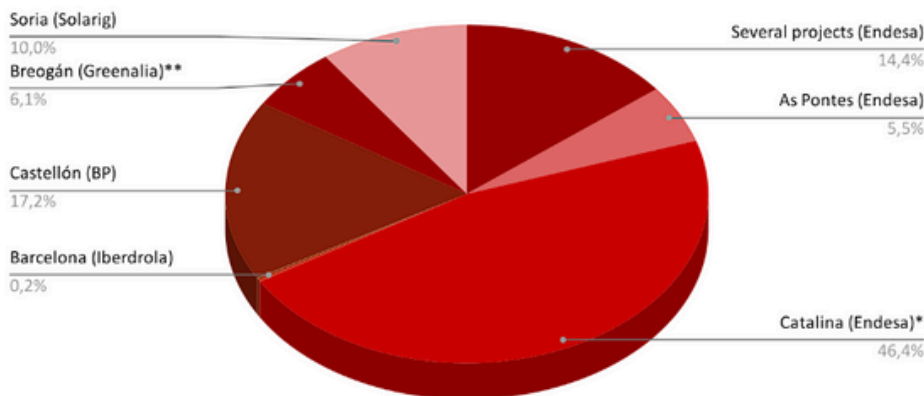
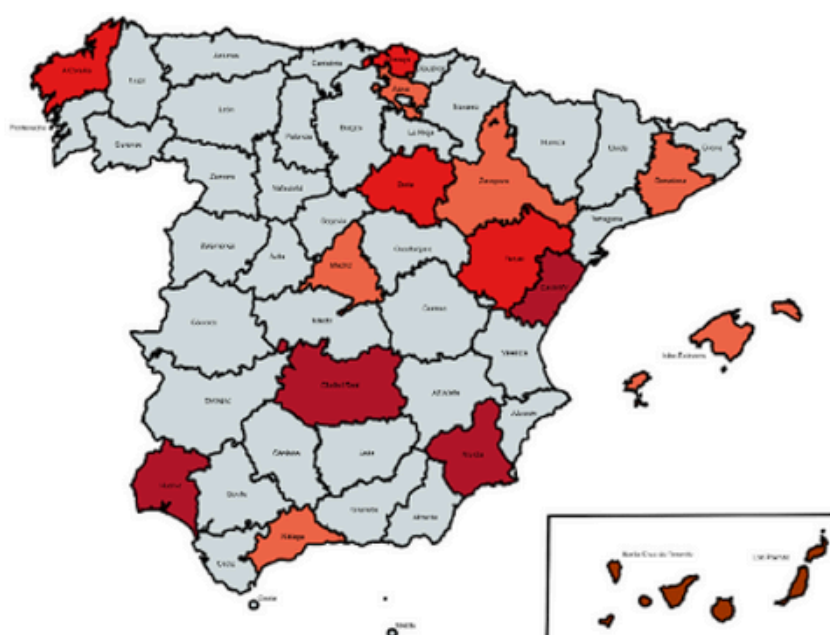


Figura 18. Proyectos relevantes de hidrógeno verde en España y producción prevista. Fuente: Elaboración propia a partir de Berna, L. Estado de los biocombustibles en España, ECODES, (2024, octubre).

Proyectos de combustibles sintéticos

Por su clima y su amplio espacio para las energías renovables, España tiene un gran potencial como productor de hidrógeno y combustibles sintéticos¹²¹. De los proyectos relevados, sólo los proyectos de **Repsol, Solarig y Greenalia** contemplan la producción de combustibles sintéticos mediante la ruta Power-to-Liquid (PtL). Los restantes proyectos de producción de combustible de aviación sostenible, que representan el 92% de la producción estimada, se centran en los combustibles de aviación de origen biológico.

La mayoría de las plantas de combustibles sintéticos de aviación anunciadas se ubicarán en el noreste de España, donde también se encuentran los principales aeropuertos españoles (por carga y/o pasajeros). Asimismo, el sur de España contará con tres plantas de combustible de origen biológico (véase la Figura 26).



Distribución de plantas de e-SAF y SAF en España en 2024

- Regiones ultraperiféricas
- Plantas de e-SAF previstas (incluyendo proyectos en fase inicial)
- Principales aeropuertos por número de pasajeros y volumen de mercancías
- Plantas de SAF biogénico previstas

Figura 26. Mapa de las plantas previstas de e-SAF y SAF biogénico, Regiones Ultraperiféricas y localización de los principales aeropuertos por carga y pasajeros en España. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de AENA, MapChart.

Solarig está construyendo una planta en **Soria** exclusivamente para la **producción de combustible sintético, el proyecto Numantia SAF¹²²**. Se calcula que se generarán 48.000 toneladas de combustibles tanto de biogás procedente de residuos agrícolas como de hidrógeno renovable. Recientemente, **se ha anunciado la construcción de otra planta en Teruel, el proyecto Turboleta SAF que producirá 60.000 toneladas de combustibles sintéticos** para aviación mediante dos tecnologías: biogás a partir de residuos agrícolas e hidrógeno renovable combinado con dióxido de carbono¹²³.

El proyecto **Breogán de Greenalia y P2X-Europe** prevé producir combustibles sintéticos para la aviación en **Curtis-Teixeiro, Galicia¹²⁴**. Las empresas calculan que **se producirán 11.000 toneladas anuales de hidrógeno verde**, que capturarán 70.000 toneladas anuales de CO₂ y otras **20.000 toneladas de crudo para crear combustibles sintéticos para aviación o cera sintética para las industrias química y farmacéutica**.

Repsol está construyendo en **Bilbao** una planta de combustibles sintéticos con un **potencial de 2.000 toneladas¹²⁵**. Esta planta contará con una inversión inicial de 60 millones de euros en asociación con Petronor, que suministrará el carbono capturado, y el Ente Vasco de la Energía (EVE)¹²⁶. Se utilizará un electrolizador que suministrará 350 toneladas de hidrógeno al año para el funcionamiento de la planta.

Proyectos de hidrógeno

El **H2Med** es una iniciativa transnacional para interconectar las redes de hidrógeno de la Península Ibérica con el Noroeste de Europa¹²⁷. **Se construirá una interconexión de hidrógeno entre Portugal y España (Celorico da Beira - Zamora), así como el desarrollo de un gasoducto marítimo que conectará España y Francia (Barcelona - Marsella) para transportar hidrógeno renovable desde la Península Ibérica al norte y centro de Europa**. El proyecto H2Med fue lanzado por Francia, España y Portugal, cuenta con el apoyo de Alemania y está promovido por los TSOs (Operadores del Sistema de Transporte por sus siglas en inglés) de estos países: Enagás, GRTgaz, OGE, REN y Teréga.

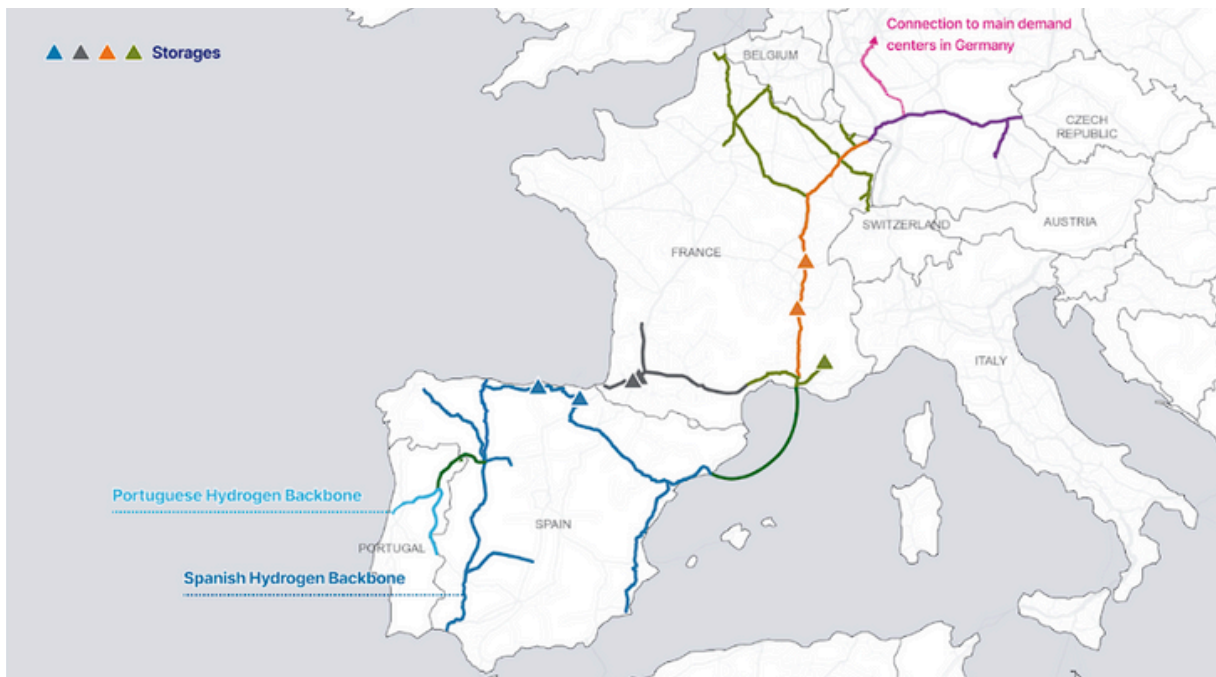


Figura 27. Rutas de los gasoductos de hidrógeno. Fuente: H2MedProject.com

Endesa prevé desarrollar 23 proyectos para producir hidrógeno verde con una inversión de 2.900 millones de euros¹²⁸, pero parece apostar por desarrollar pequeños proyectos en lugar de megaproyectos¹²⁹. Los proyectos principales son **Andorra (Teruel), As Pontes (A Coruña), Huelva, Almería, Tarragona, Valle del Ebro, Compostilla (León) y Seseña (Toledo)¹³⁰**. En conjunto, suman una inversión de 2.900 millones de euros, una potencia de 315 MW y una producción de 26.000 toneladas de hidrógeno al año.

Power to Green Hydrogen Mallorca es un proyecto liderado por **Acciona y Enagás** en alianza con **Cemex, Redexis, el IDAE y el Gobierno Balear** que pretende producir 300 toneladas anuales de hidrógeno verde en los próximos años¹³¹. Se financia con el apoyo de la Comisión Europea a través de la «Empresa Común Pilas de Combustible e Hidrógeno».

Iberdrola ha construido lo que se denomina una «hidrogenera» o estación de hidrógeno en la Zona Franca de **Barcelona** para producir y distribuir hidrógeno verde para el transporte pesado¹³². El electrolizador de esta hidrogenera puede producir 300 toneladas de hidrógeno verde al año.

Proyectos de I+D+i

En España, se están poniendo en marcha diversos proyectos de investigación, desarrollo e innovación (I+D+i) que tienen como objetivo principal la producción de combustibles alternativos y la implementación de tecnologías sostenibles en el sector de la aviación.

El proyecto ChemCon de la Universidad de Zaragoza, liderado por la Prof. María U. Alzueta, tiene como objetivo reducir las emisiones de la aviación utilizando el compuesto p-cimeno y evaluar el comportamiento químico del combustible de origen biológico al quemarse y su capacidad para producir partículas finas. Está financiado por la beca postdoctoral Marie Skłodowska Curie y comenzará en enero de 2025¹³³.

BIOGREENFINERY está liderado por Celia Bueno Vega del **Instituto Tecnológico de Canarias y el Gobierno de Canarias**. El proyecto tiene como objetivo analizar la viabilidad económica de la producción de hidrógeno verde y combustibles sintéticos en el transporte. La línea inicial del proyecto se centra en la producción de amoníaco verde para transporte marítimo, fertilizantes y productos de limpieza. En el futuro, planean producir combustible sintético para aviación mediante la ruta Power to Liquid (PtL). Está financiado por REACT-EU¹³⁴.

La Fundación Ciudad de la Energía (CIUDEN), ente dependiente del Instituto de Transición Justa y del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, ha lanzado una licitación de un millón de euros para un sistema de limpieza de gases de síntesis, consolidando su papel en la investigación de combustibles sostenibles. El proyecto busca sintetizar metanol y combustible sostenible de aviación mediante la utilización de biomasa, electricidad renovable e hidrógeno verde¹³⁵.

Airport Hub es un conglomerado de seis empresas vinculadas a la cadena de valor del sector de la aviación: Airbus, Aena, Air Nostrum, Iberia, Exolum y Repsol, que abarcan desde la producción hasta la distribución y el uso, han acordado analizar la creación de un Hub aeroportuario con el fin de integrar el hidrógeno en el sector¹³⁶.

Proyectos de biocarburantes

Cepsa ha proyectado una planta, situada en Palos de la Frontera, que aspira a producir 2,5 millones de toneladas de biocarburante al año de aquí a 2030 y, en concreto, 800.000 de ellas de SAF de origen biológico¹³⁷. La planta, asociada con la empresa Bio-Oils, producirá biocarburantes a partir de residuos agroalimentarios y aceite de cocina usado¹³⁶, así como hidrógeno para consumo propio. **Cepsa ya suministra combustible de origen biológico a cinco de los principales aeropuertos españoles:** Madrid, Barcelona, Palma de Mallorca, Sevilla y Málaga. Además, mantiene alianzas con Iberia, Binter, Vueling, Air Nostrum, TUI, Volotea, Wizz Air y Etihad para suministrar combustible de origen biológico¹³⁸.

Repsol está finalizando la construcción de una planta en **Cartagena** que producirá 250.000 toneladas anuales de biocarburantes a partir de residuos¹³⁹. Su objetivo es abastecer a España y Portugal produciendo **200.000 toneladas de SAF de origen biológico**. En esta fábrica se utilizarán 300.000 toneladas de UCO. También pretenden empezar a producir biocarburantes no destinados al transporte en una segunda planta, en **Puertollano**, también a partir de residuos, con una producción de **240.000 toneladas**.

También, el **clúster HyVal**, promovido por **BP** y ubicado en la Comunidad Valenciana, está centrado en hidrógeno, y suministrará 31.200 toneladas de hidrógeno verde y 650.000 toneladas de biocarburantes al año en la factoría de **Castellón¹⁴⁰**. Tanto el hidrógeno como los biocarburantes producidos se utilizan para sectores relevantes en Castellón, como la industria química y cerámica, y también para la aviación, la navegación y el transporte pesado. La planta está en funcionamiento desde 2016 y su objetivo es producir **400.000 toneladas de SAF de origen biológico en 2027. Para 2030, BP pretende aumentar esta producción a 500.000 toneladas de combustible de origen biológico**.

Gunvor opera una planta inaugurada en 2008 y **situada entre el País Vasco y La Rioja**. Tiene capacidad para procesar 40.000 toneladas al año de diversas materias primas, como aceite de cocina usado, ácidos grasos y otros tipos de residuos para fabricar biodiésel.

Cumplimiento de ReFuelEU Aviation

Actualmente en España existen 49 aeropuertos de interés general, que gestiona AENA¹⁴¹. Debido a los requisitos de ReFuelEU Aviation, aquellos aeropuertos españoles que transporten más de 800.000 pasajeros o más de 100.000 toneladas de carga al año tendrán que incorporar un porcentaje obligatorio de SAF a partir de enero de 2025 (véase Figura 7), al quedar incluidos en la definición de «aeropuertos de la Unión» y en consecuencia aplicarse el Reglamento.

<p>Aeropuertos de la Unión</p>	<p>Cuando el tráfico de pasajeros haya sido superior a 800.000 pasajeros o cuando el tráfico de mercancías haya sido superior a 100.000 toneladas en el periodo de referencia anterior, y que no esté situado en una región ultraperiférica, tal como se enumera en el artículo 349 del TFUE.</p>
---------------------------------------	---

Figura 8. Criterios de clasificación de los aeropuertos de la Unión.
Elaboración propia a partir de ReFuelEU Aviation.

Según los requisitos de carga, pasajeros y ubicación en regiones ultraperiféricas establecidos por ReFuelEU Aviation, **23 aeropuertos de los 49 existentes, que representan el 82% de los pasajeros y casi el 97% de la carga total en España, entre ellos Madrid-Barajas, Barcelona-El Prat, Zaragoza y Vitoria, están obligados a cumplir las obligaciones de SAF a partir del 2% en 2025** (Figura 8, 9 y 10). Los demás, aeropuertos, debido a sus características, no entrarían y se quedarían fuera, como Burgos o Valladolid (ver Anexo 1)

Asimismo, en España existen algunos aeropuertos que cumplen estos requisitos, como el de Tenerife Sur o el de Gran Canaria, pero que no tendrán que incluir SAF de forma obligatoria en sus operaciones debido a la condición de Canarias como Región Ultraperiférica de la Unión Europea. ReFuelEU Aviation establece que aquellos aeropuertos situados en Regiones Ultraperiféricas de la Unión Europea quedan fuera de la definición de «aeropuertos de la Unión».

En consecuencia, los aeropuertos situados en Regiones Ultraperiféricas (RUP), como son Gran Canaria, Tenerife Sur, Tenerife Norte, Lanzarote, Fuerteventura, La Palma, El Hierro y La Gomera no están obligados a aplicar el Reglamento, provocando cierta inquietud porque no habrá limitaciones para realizar tankering -la posibilidad de cargar mayor cantidad de combustible desde un aeropuerto que no tenga la obligación de disponer de SAF y, por lo tanto, sea más barato y perjudicial para el medioambiente- en una ruta entre las Islas Canarias y un aeropuerto que no esté obligado, como el de León, lo que haría saltar las alarmas sobre las deficiencias en la normativa medioambiental de la UE.

Nº PASAJEROS 2023	283.195.399	Nº MERCANCÍAS (t) 2023	1.079.676.272
En aeropuertos No Obligados por ReFuelEU Aviation	50.942.625	En aeropuertos No Obligados por ReFuelEU Aviation	30.726.529
En aeropuertos Obligados por ReFuelEU Aviation	232.252.774	En aeropuertos Obligados por ReFuelEU Aviation	1.048.949.743
En aeropuertos RUP susceptibles de ser incluidos en ReFuelEU	48.021.609	En aeropuertos RUP susceptibles de ser incluidos en ReFuelEU	30.629.858
En aeropuertos Obligados por ReFuelEU si se incluyeran las RUP	280.274.383	En aeropuertos Obligados por ReFuelEU si se incluyeran las RUP	1.079.579.601

*RUP: Regiones Ultraperiféricas

Figura 9. Cifras de la aviación en España en 2023. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de AENA, Informe Anual 2023. <https://www.aena.es/es/estadisticas/inicio.html>

PORCENTAJE DE PASAJEROS EN 2023	100%	PORCENTAJE DE MERCANCÍAS EN 2023	100%
Pasajeros en aeropuertos Obligados	82%	Mercancías en aeropuertos Obligados	97%
Pasajeros en aeropuertos No Obligados	18%	Mercancías en aeropuertos No Obligados	3%
Pasajeros en aeropuertos RUP	17%	Mercancías en aeropuertos RUP	3%
Pasajeros en aeropuertos Obligados si se incluyeran los aeropuertos de RUP que cumplan los requerimientos	99%	Mercancías en aeropuertos Obligados si se incluyeran los aeropuertos RUP que cumplan los requerimientos	99,99 %
Pasajeros en aeropuertos No Obligados si se incluyeran los aeropuertos RUP que cumplan los requerimientos	1%	Mercancías de aeropuertos no obligados por ReFuelEU si se incluyeran los aeropuertos RUP	0%

*RUP: Regiones Ultraperiféricas

Figura 10. Cifras de la aviación en España en 2023. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de AENA, Informe Anual 2023. <https://www.aena.es/es/estadisticas/inicio.html>

Nº Aeropuertos obligados (cumplen los requisitos de pasajeros y/o mercancías)	23
Nº Aeropuertos no obligados	26
Aeropuertos de regiones ultraperiféricas (Islas Canarias) que cumplen con los requisitos	6
Nº Aeropuertos obligados si se incluyeran los aeropuertos situados en Canarias que cumplan los requerimientos	29
Aeropuertos en España	49

Figura 11. Cifras de la aviación en España en 2023. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de AENA, Informe Anual 2023. <https://www.aena.es/es/estadisticas/inicio.html>

*Dos aeropuertos cumplen los criterios de mercancías: Zaragoza y Vitoria, y seis aeropuertos cumplen los criterios de pasajeros: A Coruña, Asturias, FGL Granada- Jaén, Seve Ballesteros-Santander, Jerez de la Frontera, Aeropuerto Internacional Región de Murcia y Reus.

**Dos aeropuertos situados en Regiones Ultraperiféricas no lo harían, El Hierro y La Gomera.

En un escenario teórico con una demanda constante de queroseno de aviación (2023) y en el que 49 aeropuertos españoles estuvieran obligados por ReFuelEU (véanse las figuras 10 y 11), las compañías aéreas que operan en España podrán cumplir el mandato de SAF en los próximos 5 años.

Año	SAF requerido por ReFuelEU ¹⁴² (%)	SAF requerido (t/year)*	E-fuel requerido por ReFuelEU (%)	Combustible sintético requerido (t/año)*
2025	2%	132.857,38	-	-
2030	6%	398.572,14	1,20%	79.714
2032	6%	398.572,14	2%	132.857
2035	20%	1.328.573,80	5%	332.143
2040	34%	2.258.575,46	10%	664.287
2045	42%	2.790.004,98	15%	996.430
2050	70%	4.650.008,30	35%	2.325.004,15

*Basado en 6.642.869 toneladas de queroseno consumidas en España en 2023. Fuente: CORES.

Figura 12. Volumen de SAF y combustible sintético requerido en España por el Reglamento ReFuelEU Aviation basado en la demanda de queroseno en España en 2023 si se mantuviera constante en el tiempo. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la Comisión Europea y del Consejo de la UE.

No obstante, España necesita aumentar la producción, especialmente de combustible sintético, para cumplir el mandato en los próximos años. Según los datos recopilados en este informe, se estima que sólo se producirán 130.000 toneladas de combustibles sintéticos (véase la Figura 14), lo que alcanzaría las 79.714 toneladas requeridas para 2030-2031, pero no las 132.857 toneladas requeridas en 2032 por ReFuelEU¹⁴³.

Al mismo tiempo, se espera que la demanda aumente un 10% y alcance más de 300 millones de pasajeros este año¹⁴⁴. El operador aeroportuario español AENA ya está ampliando 4 aeropuertos -tres en las Islas Canarias y uno en Madrid- y tiene previsto ampliar otros diez aeropuertos (véase la Figura 13).

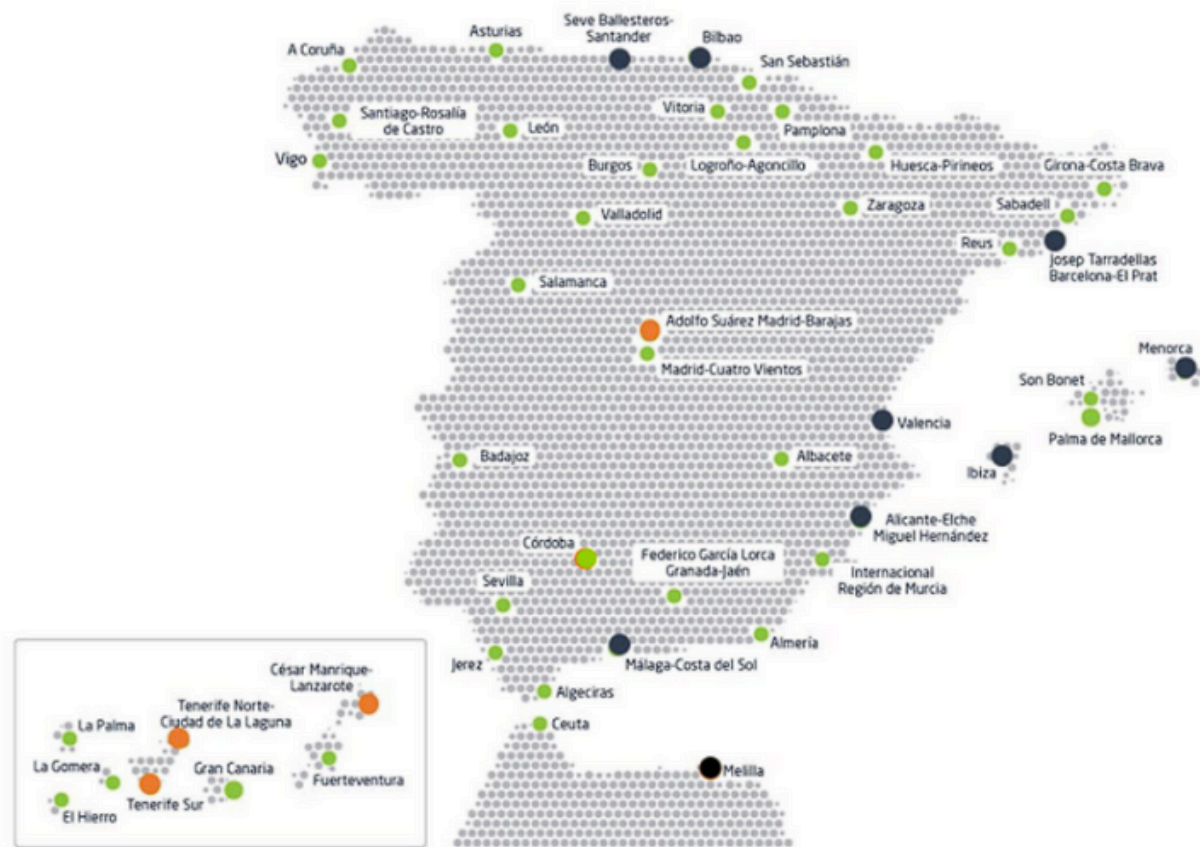


Figura 13. Aeropuertos (verde) y ampliaciones en proceso (naranja) y futuras (negro) de aeropuertos en España. Fuente: AENA.

Conclusiones

Descarbonizar el sector de la aviación es un gran desafío que requiere un abordaje integral, una combinación de diferentes medidas y la colaboración de todos los actores implicados en el sector.

Dentro de esas medidas, optar por la utilización de combustibles que sean sostenibles tiene impactos en el corto y medio plazo, al tiempo que se desarrollan nuevas tecnologías y se aborda la demanda de vuelos. **El hidrógeno verde y los combustibles sintéticos son dos alternativas a los combustibles fósiles que pueden tener emisiones cero, pero su producción aún es muy baja y requiere de un impulso multiactor para garantizar su despliegue.**

El estado de desarrollo y utilización de combustibles sintéticos e hidrógeno verde para la aviación en España se caracteriza actualmente por la investigación y algunos proyectos previstos de escala reducida, sin que se hayan concretado en un despliegue de los mismos.

Aunque hay varios proyectos de hidrógeno verde en marcha, **la producción de hidrógeno está destinada a descarbonizar sectores distintos al transporte y hasta la fecha, sólo cuatro empresas han anunciado sus planes para producir combustibles sintéticos en España.** Asimismo, se puede vislumbrar que muchos de los proyectos previstos están enfocados en la producción de SAF de origen biológico. Esta circunstancia pone de manifiesto hacia donde están enfocadas, actualmente, las decisiones de inversión de las empresas y **es necesario que se tomen medidas que apoyen el despliegue de los combustibles sintéticos e hidrógeno verde, destinados específicamente al sector de la aviación.**

En este sentido, la introducción del Reglamento ReFuelEU Aviation es clave para la adopción de combustibles sintéticos en la Unión Europea y en España. Establece objetivos vinculantes para el combustible de aviación biogénico y no biogénico para los aeropuertos de la Unión. **Para 2030, al menos el 1,2% del combustible de aviación suministrado en los aeropuertos obligados de la Unión Europea debe ser combustible sintético, lo que aumentaría al 35% en 2050.**

En España, 23 de los 49 aeropuertos se verán afectados por el Reglamento, que actualmente representan el 82% de los pasajeros y el 97% de la carga total de la aviación en España.

En particular, los aeropuertos ubicados en Regiones Ultraperiféricas de la Unión Europea, como las Islas Canarias en el caso de España, quedan excluidos de la definición de aeropuertos de la UE, que indica las características que debe cumplir un aeropuerto para estar sujeto a ReFuelEU Aviation. Sin embargo, algunos de los aeropuertos ubicados en las Islas son un importante centro para el tráfico de pasajeros y mercancías y la descarbonización de las operaciones y el tráfico aéreo de los mismos resulta de suma importancia para avanzar en la descarbonización del sector; máxime cuando se trata de uno de los principales medios de conexión entre las islas.

En caso de que los aeropuertos de las Islas Canarias fueran incluidos en el Reglamento, 29 aeropuertos españoles estarían obligados en total, representando el 99% de los pasajeros y el 99,99% del tráfico de mercancías en España en 2023.

Ahora bien, teniendo en cuenta la producción prevista de combustible de aviación biológico y sintético, un escenario con una demanda estable de queroseno y la inclusión en ReFuelEU Aviation de los aeropuertos ubicados en las Islas Canarias, **España podría cubrir la producción de combustible biológico hasta el objetivo de 2035; sin embargo, necesita aumentar la producción de combustibles sintéticos. Actualmente, las cuatro plantas de combustibles sintéticos en España producirían hasta 130.000 toneladas cada año, lo que implica que España se encuentra al límite de cubrir las demandas previstas y no permitiría que el sector avance un paso más allá de los objetivos fijados en ReFuelEU Aviation; ello sin tener en consideración aumentos de demanda de vuelos que se puedan producir, y que se prevén.**

Con la producción estimada de combustibles sintéticos solo el 1,96% de la demanda actual de queroseno de aviación en España en 2023 podría ser cubierto, que, en el mismo escenario, no alcanzaría el objetivo de combustibles sintéticos para 2032.

Uno de los aspectos que se han vislumbrado como esenciales es el coste de producción de estos combustibles y la seguridad jurídica necesaria para garantizar inversiones que permitan el despliegue de los mismos. Los productores se enfrentan a un obstáculo importante en forma de la enorme diferencia de coste de los combustibles sintéticos -de 4000€ a 8225€ por tonelada- en comparación con el combustible de aviación convencional - de 650€ a 816€ por tonelada-, es decir, 6 veces más caro como mínimo.

La utilización de los 20 millones de asignaciones voluntarias del RCDE europeo para el suministro de SAF, y especialmente, e-SAF, podría ser diferencial, al estar cubierto el 95% de la diferencia de precio entre el queroseno fósil y el combustible sintético en todos los Aeropuertos de la Unión, o el 100% entre el queroseno fósil y otro combustible sostenible, en el caso de las Islas Canarias, Islas Baleares y aeropuertos pequeños, como, por ejemplo, los de Burgos o León.

Las tecnologías actuales pueden iniciar el camino hacia un sector de aviación con emisiones netas cero. **Si bien estas dos alternativas consumen menos agua y utilizan menos tierra que los biocarburantes, aún presentan algunas cuestiones ambientales, principalmente relacionados con la cantidad de energía renovable necesaria, la captura de CO2 y los materiales críticos que necesitan para ser producidas, que también deben ser abordadas.**

España tiene un gran potencial para la producción de hidrógeno verde debido al bajo coste de la energía renovable, su capacidad industrial y la red de infraestructura existente. Los altos costes de transporte, el uso de agua, la disponibilidad de electricidad, el uso de la tierra y la dependencia de materias primas críticas son algunos de los principales obstáculos para su desarrollo.

Del mismo modo, **uno de los principales factores de coste para la producción de combustibles sintéticos es la disponibilidad de energía renovable. La posición de liderazgo de España en fuentes de energía renovables será fundamental para reducir el coste y aumentar la competitividad.**

Del mismo modo, la captura de CO2 sigue siendo otro gran obstáculo para la producción de combustibles sintéticos y el cómo las empresas van a resolver la escasez de captura de CO2 es un aspecto importante a abordar.

Actualmente la mayoría de los proyectos son financiados por el sector privado, y la cantidad de producción de combustibles sintéticos e hidrógeno para la aviación es baja. Esto contrasta con la apuesta **más fuerte en la producción de combustible sintético de países nórdicos y de Europa Occidental**, como Noruega, Suecia, Dinamarca o Francia. **Sin embargo, esta situación no es inamovible: un mercado incierto y un escenario de precios insostenible podrían cambiar su dirección.**

La colaboración entre los actores clave de la industria, un marco legislativo de apoyo y un liderazgo decisivo por parte de las autoridades públicas colocarían a España en una posición privilegiada para liderar el camino en prácticas de aviación sostenible.

Sólo incrementando la producción y apostando por el despliegue de los combustibles sintéticos e hidrógeno verde para la aviación, a la vez que se invierte en investigación, innovación y creación de alianzas, **se reducirá la diferencia de costes con los combustibles fósiles** y España podrá seguir contribuyendo a un futuro más respetuoso con el medio ambiente y sostenible para la aviación.

Recomendaciones

MECANISMOS DE FOMENTO

- **Elaborar una hoja de ruta nacional para los combustibles sintéticos**, con el objetivo de coordinar esfuerzos hacia la producción de combustibles sintéticos, la investigación y el desarrollo en el sector de la aviación.
- **Establecer sub objetivos específicos para los diferentes sectores, incluido el sector de la aviación** dentro de los objetivos obligatorios mínimos de venta o consumo de biocarburantes y otros combustibles renovables con fines de transporte. Actualmente en el Real Decreto 376/2022 se prevén objetivos generales para el transporte y hasta el año 2026, que será de aplicación en años sucesivos en tanto en cuanto no se regulen nuevos objetivos.
- **El sub objetivo vinculado al sector de la aviación debería incluir a los combustibles renovables de origen no biológico y combustibles sintéticos y también la electricidad renovable e hidrógeno verde para uso directo en aeronaves**, que se utilizarán en tecnologías de propulsión novedosas que también entrarán en el mercado, como aeronaves eléctricas, de pilas de combustible o de hidrógeno. Esto permitirá que estas fuentes de energía cuenten para el sub objetivo de aviación, creando así incentivos para la innovación tecnológica.
- **Priorizar el uso de combustibles renovables de origen no biológico y combustibles sintéticos en sectores difíciles de electrificar, como la aviación**; esto puede generarse con cálculos diferenciales según el sector en el que son utilizados y no como actualmente se prevé en el artículo Artículo 12 de la Orden TED/728/2024, de 15 de julio, que establece que desde 2025 incluido, podrán computarse a efectos del objetivo de venta o consumo de biocarburantes y otros combustibles renovables con fines de transporte, los combustibles líquidos y gaseosos renovables de origen no biológico, también cuando estos se utilicen como producto intermedio para la producción de combustibles convencionales. Se considerará que estos combustibles equivalen a 2 veces su contenido energético independientemente del sector en el que se suministren.

- De forma paralela a la inclusión de este sub objetivo específico para el sector de la aviación, se debería apostar por un **marco normativo que incentive un suministro temprano de combustibles sintéticos, estableciendo incentivos para su suministro antes de 2030**, con la finalidad de que no se proporcionen únicamente los volúmenes mínimos al sector de la aviación que se necesitan para cumplir los objetivos reglamentarios en virtud de ReFuelEU.
- **Incluir los combustibles de carbono reciclado en la definición de <<combustibles sostenibles de aviación>>** de la Orden TED/728/2024 para el desarrollo de un mecanismo de fomento de los biocarburantes y otros combustibles renovables con fines de transporte, que sí se recogen en la definición de la Directiva RED III.

FINANCIACIÓN E INVERSIÓN

- **Establecer mecanismos de financiación y/o programas de ayudas que combinen inversiones públicas y privadas que den prioridad, dentro de los SAF, a los combustibles renovables de origen no biológico para el sector de la aviación.**
- **Fomentar el desarrollo de plantas de producción de combustible sintético producido a partir de hidrógeno verde**, conforme a las medidas de la Hoja de Ruta de Hidrógeno relacionadas con el sector aéreo y a la vez que se incentiva el aumento de energía renovable disponible.
- **Fomentar un marco normativo que permita que las empresas aumenten sus propios objetivos de producción, fortaleciendo la inclusión de nuevos operadores en el sector**, que permitan una diversificación de las empresas que actualmente producen combustibles para el sector de la aviación.

- **Garantizar un acceso justo y sin restricciones a las infraestructuras de combustible de aviación existentes y futuras**, con el fin de promover un mercado competitivo de los combustibles sintéticos y evitar la extensión de los actuales monopolios de combustibles fósiles, con la finalidad de que nuevos actores, además las compañías que ya operan con las infraestructuras aeroportuarias, realicen inversiones.

DESARROLLO TECNOLÓGICO

- **Promover mecanismos que permitan desarrollar la captura de CO₂ de la atmósfera, en reemplazo de la captura de CO₂ biogénico**, como, por ejemplo, a partir de biomasa o de las emisiones de la industria, incluyendo futuros mandatos para su uso de dentro de las políticas de combustibles y el apoyo político a la oferta, como la financiación de la investigación, desarrollo y demostración y el desarrollo de proyectos.
- **Fomentar la investigación en tecnología de aviación propulsada por hidrógeno renovable, así como aeronaves eléctricas**, e incluyendo el rediseño de aeronaves, y la evaluación del potencial de las turbinas de hidrógeno para su utilización en el transporte aéreo.

FISCALIDAD

- **Destinar un porcentaje de los ingresos del Régimen de Comercio de Derechos de Emisión de la Unión Europea u otros ingresos previstos a apoyar la producción de combustibles sintéticos e hidrógeno verde para el sector de la aviación.**

COMUNIDADES LOCALES

- **Asegurar el desarrollo sostenible mediante la creación de programas para mantener los beneficios de la energía renovable y la producción de hidrógeno para las comunidades locales.**

RÉGIMEN SANCIONADOR

- **Establecer el régimen de sanciones aplicable a los suministradores que incumplan los objetivos de combustible sostenible establecidos por el Reglamento ReFuelEU Aviation**, recogido en el PNIEC como mecanismo de actuación, antes del 31 de diciembre de 2024.
- **Las penalizaciones o sanciones** a los suministradores de combustible que no cumplan con los objetivos de ReFuelEU de combustible de origen biológico y no biológico **deberán ser lo suficientemente estrictas para incentivar la adopción de combustible sostenible en los aeropuertos de la Unión.**

MEDIDAS EN AEROPUERTOS

- **Promover el despliegue de fuentes de energía renovable en y cerca de los aeropuertos** como la piedra angular para la producción de combustibles sintéticos e hidrógeno y para la electrificación de las operaciones de vuelo.
- **Priorizar la electrificación de las operaciones de vuelo, como los vehículos auxiliares y las operaciones del personal de tierra.**

TRANSPARENCIA

- **La transparencia y la rendición de cuentas deben ser una prioridad**, exigiendo a las partes interesadas que proporcionen información completa sobre el combustible suministrado y consumido, con la desagregación sectorial, y qué prácticas se están implementando para avanzar hacia un sector más respetuoso con el medio ambiente.

Anexos

Aeropuertos de España en 2023			
Aeropuerto	Nº de pasajeros	Aeropuerto	Nº de toneladas de mercancías
ADOLFO SUÁREZ MADRID-BARAJAS	60.220.984	ADOLFO SUÁREZ MADRID-BARAJAS	643.534.817
BARCELONA-EL PRAT J.T.	49.909.544	BARCELONA-EL PRAT J.T.	156.485.423
PALMA DE MALLORCA	31.105.987	ZARAGOZA	129.753.429
MÁLAGA-COSTA DEL SOL	22.344.373	VITORIA	71.689.094
ALICANTE-ELCHE MIGUEL HDEZ.	15.747.678	GRAN CANARIA (RUP)	17.117.093
GRAN CANARIA (RUP)	13.961.638	VALENCIA	13.665.158
TENERIFE-SUR (RUP)	12.337.244	TENERIFE NORTE-C. LA LAGUNA (RUP)	11.561.686
VALENCIA	9.948.141	SEVILLA	10.913.974
IBIZA	8.931.598	PALMA DE MALLORCA	7.184.352
LANZAROTE-CÉSAR MANRIQUE (RUP)	8.212.943	SANTIAGO-ROSALÍA DE CASTRO	4.818.283
SEVILLA	8.071.524	ALICANTE-ELCHE MIGUEL HDEZ.	4.461.504
BILBAO	6.336.441	MÁLAGA-COSTA DEL SOL	2.806.338
TENERIFE NORTE-C. LA LAGUNA (RUP)	6.120.550	IBIZA	993.160
FUERTEVENTURA (RUP)	6.020.413	VIGO	807.235
MENORCA	4.045.215	TENERIFE-SUR (RUP)	777.859
SANTIAGO-ROSALÍA DE CASTRO	3.537.445	BILBAO	750.817
ASTURIAS	1.974.850	MENORCA	687.993
GIRONA-COSTA BRAVA	1.586.463	LANZAROTE-CÉSAR MANRIQUE (RUP)	521.603
LA PALMA (RUP)	1.368.821	FUERTEVENTURA (RUP)	371.395
A CORUÑA	1.252.022	GIRONA-COSTA BRAVA	308.020
SEVE BALLESTEROS-SANTANDER	1.242.089	LA PALMA (RUP)	280.222
VIGO	1.136.157	Limite requerimiento ReFuelEU Aviation (100.000 toneladas de mercancías)	
REUS	1.045.419	A CORUÑA (Cumple por pasajeros)	76.963,00
FGL GRANADA-JAÉN	1.039.429	EL HIERRO (RUP)	58.142,00

Figura 29. Figuras de la aviación en España en 2023. Fuente: AENA, Informe Anual 2023. Estadísticas de tráfico aéreo

JEREZ DE LA FRONTERA	904.000	MELILLA	24.674,00
AEROPUERTO INTL. REGIÓN MURCIA (**)	877.796	ASTURIAS (Cumple por pasajeros)	11.494,00
Límite requerimiento ReFuelEU Aviation (800.000 pasajeros)		VALLADOLID	6.120,00
ALMERÍA	775.393	LA GOMERA (RUP)	4.891,00
ZARAGOZA (Cumple por mercancías)	685.690	SAN SEBASTIÁN	2.530,00
MELILLA	501.069	FGL GRANADA-JAÉN (Cumple por pasajeros)	1.197,00
SAN SEBASTIÁN	482.662	SEVE BALLESTEROS-SANTANDER (Cumple por pasajeros)	370,00
VITORIA (Cumple por mercancías)	309.929	PAMPLONA	268,00
EL HIERRO (RUP)	301.241	JEREZ DE LA FRONTERA (Cumple por pasajeros)	122,00
VALLADOLID	208.923	ALMERÍA	46,00
PAMPLONA	197.509	AEROPUERTO INTL. REGIÓN MURCIA (Cumple por pasajeros)	-
LA GOMERA (RUP)	113.318	ALBACETE	0
CEUTA-HELIPUERTO	87.024	ALGECIRAS-HELIPUERTO	0
BADAJOS	80.181	BADAJOS	0
LEÓN	63.442	BURGOS	0
ALGECIRAS-HELIPUERTO	41.308	CEUTA-HELIPUERTO	0
SALAMANCA	21.083	CÓRDOBA	0
LOGROÑO	16.728	HUESCA-PIRINEOS	0
SON BONET	10.061	LEÓN	0
SABADELL	6.207	LOGROÑO	0
CÓRDOBA	5.938	MADRID-CUATRO VIENTOS	0
BURGOS	4.053	REUS (Cumple por pasajeros)	0
ALBACETE	2.644	SABADELL	0
MADRID-CUATRO VIENTOS	1.956	SALAMANCA	0
HUESCA-PIRINEOS	276	SON BONET	0
MURCIA-SAN JAVIER (*)	0	MURCIA-SAN JAVIER (*)	0
TOTAL PASAJEROS	283.195.399	TOTAL MERCANCÍAS (t)	1.079.676.272

*Desde el 15 de enero este aeropuerto ha cesado su actividad.

*Nota: Los aeropuertos en verde cumplen con los criterios para estar sujetos a ReFuelEU Aviation. Los aeropuertos en rojo no cumplen con ninguno de los tres criterios para estar sujetos a ReFuelEU Aviation. Los aeropuertos en dorado pertenecen a las Islas Canarias, que, como Región Ultraperiférica (RUP), no están sujetas a ReFuelEU Aviation. Los aeropuertos en verde claro están cerca de cumplir con los requisitos (Almería en pasajeros) y, dado el aumento esperado en la demanda en 2024, podrían estar sujetos a la Regulación.

Referencias

1. MITECO. (2023a, marzo). Inventario Nacional de emisiones de gases de efecto invernadero AVANCE DE EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO CORRESPONDIENTES AL AÑO 2023
2. Comisión Europea. (2022). *Reducing emissions from aviation*. Climate Action. Reducing emissions from aviation - European Commission
3. EASA. (2021). *Overview of the aviation sector*. EASA Eco. Overview of Aviation Sector | EASA Eco
4. Comisión Europea. (2022). *Reducing emissions from aviation*.
5. Informe de Inventario Nacional Gases de Efecto Invernadero. (2024, marzo) Edición 2024 (1990-2022). España. informe de inventario nacional - gases de efecto invernadero
6. MITECO (2024) NOTA INFORMATIVA SOBRE EL AVANCE DE EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO CORRESPONDIENTES AL AÑO 2023
7. Consumos de productos petrolíferos Año 2023. CORES. (2024a, julio 12). <https://www.cores.es/sites/default/files/archivos/estadisticas/est-petroliferos-consumo-2020.pdf>
8. Comisión Europea. (2020, noviembre 11). *INFORME DE LA COMISIÓN AL PARLAMENTO EUROPEO Y AL CONSEJO*. EUR. 52020DC0747 - EN - EUR-Lex
9. COIAE (2022, febrero) LA SOSTENIBILIDAD MEDIOAMBIENTAL EN EL SECTOR AERONÁUTICO. https://coiae.es/wp-content/uploads/2023/12/Informe-Aeronautica-Sostenible-2022_Adenda.pdf
10. Transport & Environment. *Hydrogen & e-fuels*. Hydrogen & e-fuels | Transport & Environment
11. Transport & Environment. *Hydrogen & e-fuels*.
12. Tao, L., Milbrandt, A., Zhang, Y. et al. Techno-economic and resource analysis of hydroprocessed renewable jet fuel. *Biotechnol Biofuels* 10, 261 (2017). <https://doi.org/10.1186/s13068-017-0945-3>
13. Transport and Environment (2023, octubre). *Combustibles sostenibles de aviación (SAF)*. Guía de sostenibilidad para las empresas compradoras. *Travel Smart Combustibles sostenibles de aviación (SAF) - Guía de sostenibilidad para las empresas compradoras - Travel Smart*
14. SAF refers to Sustainable Aviation Fuels. This report includes biofuels and e-fuels as SAF (Sustainable Aviation Fuel).
15. Transport & Environment (2023d, diciembre). *Halt deforestation-driving soy biofuels before it is too late | DigitalOcean*
16. *Balancing growth in connectivity with a comprehensive global air transport response to the climate emergency: a vision of net-zero aviation by mid-century*. Air Transport Action Group. (2021, 27 de septiembre). https://aviationbenefits.org/media/167417/w2050_v2021_27sept_full.pdf
17. Air Transport Action Group. (2021, septiembre 27). *Balancing growth in connectivity with a comprehensive global air transport response to the climate emergency: a vision of net-zero aviation by mid-century*.
18. Berna, L. Estado de los biocombustibles en España, ECODES, (2024, octubre)
19. Ram V, Salkuti SR. An Overview of Major Synthetic Fuels. *Energies*. 2023; 16(6):2834. <https://doi.org/10.3390/en16062834>
20. Transport & Environment. (2023b). Red III fact sheet hydrogen efuels RFNBO. RED III Fact sheet hydrogen efuels RFNBO
21. AESA. (2020, septiembre). Libro blanco del I+D+i para la sostenibilidad de la aviación en España. https://www.seguridadaaerea.gob.es/sites/default/files/AVIACIÓN_LibroBlanco_sostenibilidad_2020_FINAL_SEPT2020.pdf
22. Air Transport Action Group. (2021, septiembre 27). *Balancing growth in connectivity with a comprehensive global air transport response to the climate emergency: a vision of net-zero aviation by mid-century*.
23. Ver Berna, L. *Estado de los biocombustibles en España*, ECODES, (2024, octubre).
24. Ibid.
25. Transport & Environment. (2023). *Biofuels*. Biofuels | Transport & Environment

26. Fokaides, P. A., Christoforou, E., López-García, I., & Garcia-Garcia, G. (2023). Life cycle assessment of biofuels. In Handbook of Biofuels Production (pp. 25-54). Woodhead Publishing.
27. Nanda, S., Rana, R., Sarangi, P. K., Dalai, A. K., & Kozinski, J. A. (2018). A broad introduction to first-, second-, and third-generation biofuels. Recent advancements in biofuels and bioenergy utilization, 1-25.
28. Moodley, P. (2021). Sustainable biofuels: opportunities and challenges. Sustainable Biofuels, 1-20.
29. Ver Berna, L. Informe sobre el estado de los biocombustibles en España, ECODES, (2024, octubre).
30. Repsol Construye Una Planta de biocombustibles producidos a partir de residuos en Cartagena. CEOE. (2024, enero 16). <https://www.ceoe.es/es/ceoe-news/sostenibilidad/repsol-construye-una-planta-de-biocombustibles-producidos-partir-de>
31. Comienza la construcción de la mayor Planta de biocombustibles 2g del sur de europa. La Vanguardia. (2024, febrero 25). <https://www.lavanguardia.com/economia/20240225/9528048/comienza-construccion-mayor-planta-biocombustibles-2g-sur-europa.html>
32. Los Biocombustibles de Segunda Generación, Claves para acelerar La Transición Energética. La Vanguardia. (2023, noviembre 29). <https://www.lavanguardia.com/economia/20231129/9400499/biocombustibles-segunda-generacion-claves-para-acelerar-la-transicion-energetica-brl.html>
33. Ver Berna, L. Estado de los biocombustibles en España, ECODES, (2024, octubre).
34. Tao, L., Milbrandt, A., Zhang, Y. et al. Techno-economic and resource analysis of hydroprocessed renewable jet fuel. *Biotechnol Biofuels* 10, 261 (2017). <https://doi.org/10.1186/s13068-017-0945-3>
35. Ediciones El País, S. I. . Combustible Limpio para Los Barcos. EL PAÍS. <https://elpais.com/publico/especial/biocombustibles/combustible-limpio-para-los-barcos/>
36. Transport & Environment. (2023, December 14). 80% of Europe's 'used' cooking oil now imported raising concerns over fraud – study. https://www.transportenvironment.org/uploads/files/202312_TE_biofuels_update_report_clean-1-1.pdf
37. Biofuels: From unsustainable crops to dubious waste?. Transport & Environment. (2023a, diciembre 14). [Biofuels: From unsustainable crops to dubious waste?](https://www.transportenvironment.org/uploads/files/202312_Biofuels_update_report_clean-1-1.pdf)
38. Transport & Environment. (2023c, mayo 31). Pigs Do Fly: The Rise of animal fats in European Transport. [Pigs do fly: the rise of animal fats in European transport](https://www.transportenvironment.org/uploads/files/202305_Pigs_Do_Fly_The_Rise_of_animal_fats_in_European_Transport.pdf)
39. Las regulaciones de la Unión Europea distinguen tres tipos de grasas animales según su riesgo para la salud humana y su potencial de transmisión de enfermedades. Estas categorías se utilizan de manera diferente fuera del sector del transporte. Las categorías 1 y 2 son aptas para aplicaciones de calefacción, mientras que la categoría 3 tiene aplicaciones más amplias, como en alimentos para mascotas y la industria oleoquímica. Ver Pigs do Fly: The Rise of animal fats in European Transport.
40. European Commission.. Renewable energy directive. Energy. Renewable Energy Directive
41. Transport & Environment. (2023b). Red III fact sheet hydrogen efuels RFNBO. [RED III Fact sheet hydrogen efuels RFNBO](https://www.transportenvironment.org/uploads/files/202309_Red_III_fact_sheet_hydrogen_efuels_RFNBO.pdf)
42. Transport and Environment (2023, octubre). Combustibles sostenibles de aviación (SAF).
43. Tao, L., Milbrandt, A., Zhang, Y. et al. Techno-economic and resource analysis of hydroprocessed renewable jet fuel. *Biotechnol Biofuels* 10, 261 (2017). <https://doi.org/10.1186/s13068-017-0945-3>
44. The Role of E-fuels in Decarbonising Transport. IEA. enero 2024.
45. MITECO. (2020, octubre). Hoja de Ruta del Hidrógeno renovable. [Hoja de Ruta del Hidrógeno Renovable](https://www.miteco.es/gestor/documentos/2020/10/20201020_Hoja_de_Ruta_del_Hidrogeno_Renovable.pdf)
46. Transport and Environment (2023, Octubre). Combustibles sostenibles de aviación (SAF).
47. The Role of combustibles sintéticos in Decarbonising Transport. IEA. enero 2024.
48. Ibid.
49. Ibid.

50. IRENA (2019), Hydrogen: A renewable energy perspective, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.
51. Agora Verkehrswende e International PtX Hub(2024) Defossilising Aviation with e-SAF
52. Más información en [State of the EU SAF market in 2023 - Fuel reference prices, SAF capacity assessments | EASA](#)
53. Millard, R. (2024b, agosto 15). Ørsted scraps flagship European Green Fuels Project. Financial Times. <https://www.ft.com/content/abdd1c41-b6bd-4d15-9aa4-502c9ad70cb3?countryCode=ESP&multistepRegForm=multistep>
54. ICAO, 2022. Report on the Feasibility of a Long-Term Aspirational Goal. ICAO LTAG Report Appendix M5
55. Red Eléctrica de España (diciembre de 2023) Las renovables baten récord y generan más de la mitad de toda la electricidad en España en 2023
56. CNMC. (2024, abril 18). BOLETÍN ANUAL DE MERCADOS A PLAZO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN ESPAÑA (BALANCE 2023). https://www.cnmc.es/sites/default/files/1557578_8.pdf
57. The Role of E-fuels in Decarbonising Transport. IEA. enero 2024.
58. Adami, R., Lamberti, P., Tucci, V., Guadagno, L., Valdés, A. R., Zaporozhets, O., ... & Burmaoglu, S. (2021). Alternative fuels for aviation: possible alternatives and practical prospects of biofuels. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 1024, No. 1, p. 012113). IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1024/1/012113>
59. The Role of E-fuels in Decarbonising Transport. IEA. enero 2024.
60. Transport and Environment (2023, octubre). Combustibles sostenibles de aviación (SAF).
61. Transport & Environment. (2023, noviembre). Sustainable Aviation Fuels (SAF) Sustainability Guide for Corporate Buyers. 2023-10-Corporate SAF Buyers guide | DigitalOcean
62. Grubert, E. (2023). Water consumption from electrolytic hydrogen in a carbon-neutral US energy system. Cleaner Production Letters, 4, 100037.
63. The Role of E-fuels in Decarbonising Transport. IEA. enero 2024.
64. Ibid
65. Ibid
66. MITECO. (2020, octubre). Hoja de Ruta del Hidrógeno renovable.
67. Foro Económico Mundial (2021) <https://www.weforum.org/stories/2021/07/clean-energy-green-hydrogen/>
68. MITECO. (2020, octubre). Hoja de Ruta del Hidrógeno renovable.
69. Michael Liebreich/Liebreich Associates, Clean Hydrogen Ladder, Version 5.0, 2023. Concept credit: Adrian Hiel, Energy Cities. CC-BY 4.0
70. International Renewable Energy Agency. (2020, noviembre). Green hydrogen policies and technology costs. Making the breakthrough: Green hydrogen policies and technology costs
71. Transport & Environment. (2024, febrero 13). Hydrogen hype: Why the EU should be cautious about uncertain imports from far-flung places. <https://www.transportenvironment.org/discover/hydrogen-hype-why-the-eu-should-be-cautious-about-uncertain-imports-from-far-flung-places/>
72. Ibid.
73. Clean hydrogen monitor 2022. Hydrogen Europe. (2022, diciembre 13).
74. REPSOL. (2022, enero 19). Nace Shyne, el mayor consorcio en España para impulsar El Hidrógeno renovable. <https://www.repsol.com/es/sala-prensa/notas-prensa/2022/nace-shyne--el-mayor-consorcio-en-espana-para-impulsar-el-hidrog/index.cshtml>
75. International Energy Agency. (2023, septiembre). Global Hydrogen Review 2023. Global Hydrogen Review 2023

76. European Commission. (2022, mayo 18). REPowerEU: A plan to rapidly reduce dependence on Russian fossil fuels and fast forward the green transition. REPowerEU: A plan to rapidly reduce dependence on Russian fossil fuels and fast forward the green transition
77. Transport&Environment Hydrogen hype: Why the EU should be cautious about uncertain imports from far-flung places. February, 13 2024
https://www.transportenvironment.org/uploads/files/202402_H2_imports_TE_briefing.pdf
78. IRENA and Bluerisk (2023), Water for hydrogen production, International Renewable Energy Agency, Bluerisk, Abu Dhabi, United Arab Emirates.
79. Tonelli, D., Rosa, L., Gabrielli, P., Caldeira, K., Parente, A., & Contino, F. (2023). Global land and water limits to electrolytic hydrogen production using wind and solar resources. *Nature communications*, 14(1), 5532.
80. IRENA and Bluerisk (2023), Water for hydrogen production, International Renewable Energy Agency, Bluerisk, Abu Dhabi, United Arab Emirates.
81. Ibid.
82. Tonelli, D., Rosa, L., Gabrielli, P., Caldeira, K., Parente, A., & Contino, F. (2023). Global land and water limits to electrolytic hydrogen production using wind and solar resources. *Nature communications*, 14(1), 5532.
83. Rehbein, J. A., Watson, J. E., Lane, J. L., Sonter, L. J., Venter, O., Atkinson, S. C., & Allan, J. R. (2020). Renewable energy development threatens many globally important biodiversity areas. *Global change biology*, 26(5), 3040-3051.
84. Environmental, Health, Safety, and Social Management of Green Hydrogen in Latin America and the Caribbean: A scoping study. abril 2023. Inter American Development Bank .
<https://publications.iadb.org/publications/english/viewer/Environmental-Health-Safety-and-Social-Management-of-Green-Hydrogen-in-Latin-America-and-the-Caribbean.pdf>
85. Clean hydrogen monitor 2022. Hydrogen Europe.
86. Council of the EU. (2023, septiembre 10). Initiative «ReFuelEU Aviation»: Council adopts new law to decarbonise the aviation sector
<https://www.consilium.europa.eu/es/press/press-releases/2023/10/09/ReFuelEU-aviation-initiative-council-adopts-new-law-to-decarbonise-the-aviation-sector>
87. Council of the EU. (2023b, julio 5). FuelEU maritime initiative: Council adopts new law to decarbonise the maritime sector. <https://www.consilium.europa.eu/en/press/press-releases/2023/07/25/fueleu-maritime-initiative-council-adopts-new-law-to-decarbonise-the-maritime-sector>
88. Council of the EU. (2023, septiembre 10). Initiative «ReFuelEU Aviation»: Council adopts new law to decarbonise the aviation sector
89. Ibid.
90. MITECO. (2020, octubre). Hoja de Ruta del Hidrógeno renovable.
91. European Commission. (2022, mayo 18). REPowerEU: A plan to rapidly reduce dependence on Russian fossil fuels and fast forward the green transition. https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_22_3131
92. Clean hydrogen monitor 2022. Hydrogen Europe. (2022, diciembre 13).
93. Ibid
94. Delegated regulation - 2023/1184 - en - EUR-lex. EUR-Lex. (10AD). [Delegated regulation - 2023/1184 - EN - EUR-Lex](#)
95. Delegated regulation - 2023/1184 - en - EUR-lex. EUR-Lex. (10AD).
96. European Commission.. Renewable energy directive. Energy. [Renewable Energy Directive](#)

97. Transport & Environment. (2023e, septiembre). Red III fact sheet biofuels final. [RED III Fact sheet biofuels FINAL](#)
98. New Regulatory Framework in the EU (red II). ISCC. (2022). [New Regulatory Framework in the EU \(RED II\) – Opportunities for Latin America | ISCC System](#)
99. Transport & Environment. (2023c, septiembre). Red III fact sheet on Red Targets.
100. Transport & Environment. (2023b). Red III fact sheet hydrogen efuels RFNBO.
101. MITECO. (2023) [El comercio de derechos de emisión.](#)
102. Directiva 2023/958. Reforma de la Directiva 2003/87/EC concerniente a la aviación. [Directiva \(UE\) 2023/958 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 10 de mayo de 2023](#)
103. MITECO https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/energia/files-1/pniec-2023-2030/PNIEC_2024_240924.pdf
104. MITECO (junio de 2024) [ESTUDIO AMBIENTAL ESTRATÉGICO ACTUALIZACIÓN DEL PLAN NACIONAL INTEGRADO DE ENERGÍA Y CLIMA 2023-2030](#)
105. MITECO. (2020, octubre). Hoja de Ruta del Hidrógeno renovable.
106. MITECO. (2024, septiembre). PNIEC 2023-30. https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/energia/files-1/pniec-2023-2030/PNIEC_2024_240924.pdf. Pg. 19.
107. Orden TED/728/2024, de 15 de julio, por la que se desarrolla el mecanismo de fomento de biocarburantes y otros combustibles renovables con fines de transporte. BOE. (2024, julio 16). <https://www.boe.es/eli/es/o/2024/07/15/ted728/con>
108. Ibid.
109. AESA. (2020, septiembre). Libro blanco del I+D+i para la sostenibilidad de la aviación en España.
110. AESA, & MITMA. (2021, junio). Plan de acción sobre reducción de emisiones de CO2 del sector aéreo internacional en España
111. MITECO. (2020, octubre). Hoja de Ruta del Hidrógeno renovable.
112. AESA, & MITMA. (2021, junio). Plan de acción sobre reducción de emisiones de CO2 del sector aéreo internacional en España
113. MITECO. (2020, octubre). Hoja de Ruta del Hidrógeno renovable.
114. MITECO. (2023, junio). Borrador actualización PNIEC 2023-30_web2. https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/energia/files-1/layouts/15/Borrador_para_la_actualización_del_PNIEC_2023-2030-64347.pdf
115. Transport & Environment. (2023d, diciembre). Halt deforestation-driving soy biofuels before it is too late.
116. Transport & Environment. (2023d, diciembre). Analysis of the European biofuels market. https://www.transportenvironment.org/wp-content/uploads/2023/12/202312_TE_biofuels_update_report_clean-1-1.pdf
117. Transport & Environment. (2023b). Red III fact sheet hydrogen efuels RFNBO.
118. En un escenario teórico en el que la demanda de queroseno de aviación en España en 2030 es la misma que en 2023.
119. Europapress. La demanda aérea a España aumenta un 13% este verano, a pesar de las protestas contra el turismo. (2024, julio 16). La demanda aérea a España aumenta un 13% este verano, a pesar de las protestas contra el turismo
120. Lista no exhaustiva. Sólo se muestran proyectos a gran escala centrados principalmente en el transporte.
121. MITECO. (2020, octubre). Hoja de Ruta del Hidrógeno renovable.
122. Solarig desarrolla una de las plantas de combustible sostenible “saf” para aviones más innovadoras del mundo. Solarig. (2024, mayo 23). [Solarig desarrolla una de las plantas de combustible sostenible ‘SAF’ para aviones más innovadoras del mundo](#)

123. Como se menciona anteriormente, en torno a un 20% del producto total será nafta, por lo que se menciona el combustible final después de extraer la nafta.
124. Greenalia. (2024, julio 18). Greenalia y p2x-Europe solicitan que su proyecto para producir combustibles sintéticos en Galicia sea iniciativa empresarial prioritaria. [Greenalia y P2X-Europe solicitan que su proyecto para producir efuels en Galicia sea iniciativa empresarial prioritaria](#)
125. International Energy Agency. (2023, septiembre). Global Hydrogen Review 2023.
126. Projects. BH2C. <https://www.bh2c.org/en/projects>
127. Europe's first major Green Hydrogen Corridor. H2med.. <https://h2medproject.com/>
128. Endesa. Renewable hydrogen, the Green Revolution.. [Renewable hydrogen, the green revolution](#)
129. Cózar, C. R. (2023, febrero 24). Endesa se aleja del hidrógeno verde y del h2med: "Un hidroducto es carísimo y hay cierta burbuja." El Independiente. [Endesa se aleja del hidrógeno verde y del H2Med: "Un hidroducto es carísimo y hay cierta burbuja"](#)
130. Antonio Barrero F. (2021, marzo 3). Mapa Español del Hidrógeno. Energías Renovables, el periodismo de las energías limpias. [Mapa español del hidrógeno](#)
131. ACCIONA. Power to green hydrogen mallorca: Acciona: Business as Unusual. [Power to Green Hydrogen Mallorca | ACCIONA | Business as unusual](#)
132. Iberdrola. (2022, junio 9). Así funciona la primera hidrogenera de uso público en España [Así funciona la primera hidrogenera de uso público en España - IBERDROLA](#)
133. Proyecto ChemCon. Oficina de Proyectos Europeos. <https://ope.unizar.es/chemcon>
134. Biogreenfinery. BIOGREENFINERY. <https://biogreenfinery.com/presentacion/presentacion>
135. Fundación Ciudad de la Energía.(2 de diciembre de 2024) [CIUDEN prepara una plataforma única en España para el desarrollo tecnológico de bio y electro combustibles a partir de biomasa, electricidad renovable e hidrógeno verde](#)
136. Magariño, J. F. (2024, julio 9). Airbus, AENA, Air Nostrum, Iberia, Exolum y Repsol se alían para facilitar la llegada del hidrógeno al sector aéreo. Cinco Días. [Airbus, Aena, Air Nostrum, Iberia, Exolum y Repsol se alían para facilitar la llegada del hidrógeno al sector aéreo | Empresas | Cinco Días](#)
137. Home. Planta de Palos de la Frontera - Cepsa Química. (n.d.). [Planta de Palos de la Frontera - Cepsa Química](#)
138. Cepsa. (2023a, junio 6). Cepsa y volotea SE Alían Para Impulsar la Aviación Sostenible. CEPSA.com. [Cepsa y Volotea se alían para impulsar la aviación sostenible](#)
139. Combustibles renovables. REPSOL. (2024, julio 16). <https://cartagena.repsol.es/es/sobre-complejo/nuestras-instalaciones/combustibles-renovables/index.cshmtl>
140. 20 minutos. (2024, mayo 6). El Hidrógeno Verde generará 2.000 millones de inversión y 5.000 empleos en Castellón. [www.20minutos.es - Últimas Noticias. El hidrógeno verde generará 2.000 millones de inversión y 5.000 empleos en Castellón](#)
141. AENA, Informe Anual 2023. <https://www.aena.es/es/estadisticas/inicio.html>
142. Los combustibles de aviación sostenibles elegibles y los combustibles sintéticos de aviación incluyen biocombustibles certificados, combustibles renovables de origen no biológico (incluido el hidrógeno renovable) y combustibles de aviación de carbono reciclado que cumplen con los criterios de sostenibilidad y reducción de emisiones de la Directiva de Fuentes de Energía Renovables (Véase 3.1.3 and 3.1.4). Más información en Council of the EU. (2023, 10 de septiembre). Initiative «ReFuelEU Aviation»: Council adopts new law to decarbonise the aviation sector.
143. En un escenario teórico en el que la demanda de queroseno de aviación en España en 2030 es la misma que en 2023.
144. Europapress. La Demanda aérea a España Aumenta un 13% este verano, a pesar de las protestas contra el turismo. (16 de julio de 2024).

ENERO 2025

EL FUTURO VERDE DE LA AVIACIÓN EN ESPAÑA

ecodes
tiempo de actuar

www.ecodes.org