



Alianza para la Sostenibilidad del Transporte Aéreo

COMBUSTIBLES SOSTENIBLES PARA AVIACIÓN - SAF

ALIANZA PARA LA SOSTENIBILIDAD DEL
TRANSPORTE AÉREO



Octubre 2025

RESUMEN EJECUTIVO.....	3
Glosario	8
1. Introducción	10
1.1. Antecedentes	10
1.2. Definición de SAF	13
2. Cadena de suministro	15
2.1. Producción	15
2.2. Materias primas	22
2.3. Logística.....	30
3. Implicaciones de los SAF	36
3.1. Ecosistémicas	36
3.2. Mercado de combustibles	38
3.3. Huella de carbono. Emisiones netas de CO ₂ eq	39
3.4. Calidad del aire y efectos no CO ₂	41
3.5. Compatibilidad con la tecnología actual.....	42
3.6. Madurez tecnológica de producción	43
3.7. Tramitación administrativa	43
3.8. Seguridad de suministro e independencia energética	44
3.9. Tejido económico, industrial y empleo: Oportunidad para España, referente europeo	45
3.10. Costes operativos	46
4. Mecanismos de ayuda e incentivos para fomentar la producción y el uso de SAF	48
4.1. Introducción	48
4.2. Impacto del marco regulatorio.....	49
4.3. Mejora del proceso de tramitación para la habilitación técnica de los SAF en la aviación e integración de nuevas especificaciones	55
4.4. Mecanismos financieros, no financieros e incentivos para fomentar la producción y uso del SAF	58
4.5. Importancia de la colaboración, comunicación y divulgación	63
5. Certificación de sostenibilidad y trazabilidad.....	65
5.1. Esquema de certificación ISCC EU	66
5.2. Esquema de certificación ISCC Plus.....	68
5.3. Esquema de certificación ISCC CORSIA.....	69
5.4. Otros esquemas o normativas	69
5.5. Entidades certificadoras	70
6. Conclusiones: recomendaciones y propuestas para fomentar la creación de una cadena de valor para la producción y suministro de SAF en España.....	71
6.1. Retos para el despliegue del SAF	72
6.2. Ventajas competitivas de España para el SAF	72
6.3. Implicaciones de los SAF en otros sectores	73
6.4. Certificaciones de Sostenibilidad y trazabilidad	73

ANEXO I - Criterios de sostenibilidad CORSIA	75
ANEXO II - Materias primas contempladas para la fabricación de combustibles avanzados de segunda generación	78
ANEXO III - Métodos de fabricación aprobados en la actualidad y en desarrollo.....	80
ANEXO IV - Costes asociados a la producción de SAF (<i>OACI Rules of Thumb</i>).....	82
ANEXO V – Volúmenes de Materias Primas	84
ANEXO VI - Lista de materias primas que, debido a su origen, no se contabilizan en los objetivos de la RED.....	88
ANEXO VII - Impacto del Reglamento ReFuelEU Aviation en repostajes	89
ANEXO VIII - Documentación necesaria para justificar la trazabilidad de la materia prima usada en un proceso de fabricación de biocombustibles.	91

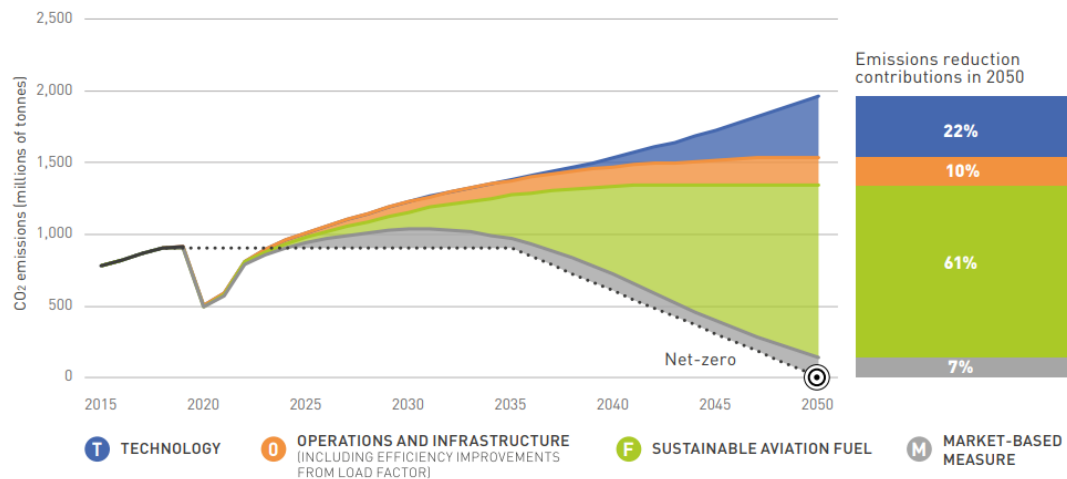
RESUMEN EJECUTIVO

Descarbonizando la aviación

En España, en 2023, un 12,8% del PIB provino del sector turístico¹ y más del 80% de los turistas que visitaron nuestro país llegaron por vía aérea.

El sector aéreo reconoce que la utilización de combustibles fósiles contribuye a las emisiones antropogénicas de gases de efecto invernadero, tal y como se indica en el sexto informe del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC), y **se ha comprometido a alcanzar la neutralidad de CO₂ para 2050**.

La hoja de ruta para la descarbonización del sector² se apoya en cuatro pilares para conseguir esa descarbonización, asignado la **mayor contribución en la reducción de CO₂ al uso de SAF**, que se estima será del 61%, considerando un escenario intermedio en el que las mejoras tecnológicas sean prioritarias y ambiciosas, de forma que se diseñen configuraciones de aviones no convencionales y haya, a la vez, una transición de la flota hacia aviones híbridos/eléctricos:



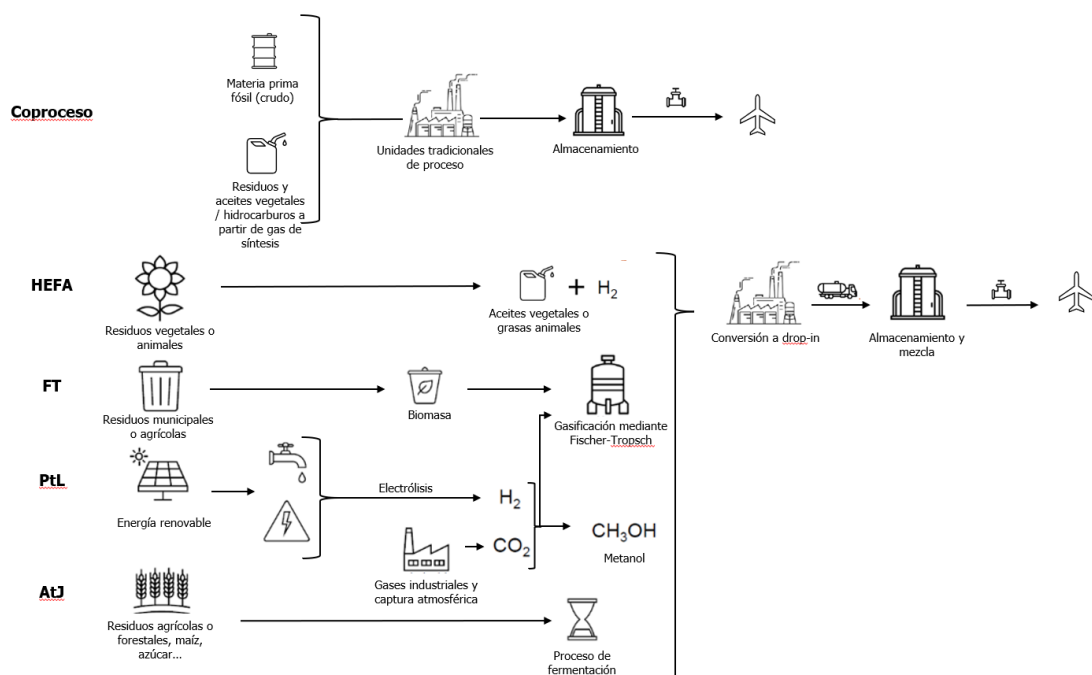
Escenario 1.-WayPoint 2050- ATAG

Los SAF permiten reducir las emisiones netas durante el ciclo de vida hasta valores superiores al 80% comparado con el queroseno fósil. Las **opciones tecnológicas para producir SAF** se pueden agrupar en los bloques siguientes:

- Coproceso en unidades tradicionales adaptadas.
- Hidrotratamiento de ésteres y ácidos grasos (HEFA).
- Fischer-Tropsch (FT): gasificación de biomasa para creación de gas sintético y posterior conversión en SAF. Se puede emplear con residuos para obtener biocombustibles de aviación o con hidrógeno verde y CO₂ para obtener combustibles de aviación sintéticos.
- *Alcohol-to-Jet*: (AtJ): Conversión catalítica de alcoholes en SAF.

¹ [El turismo consolidó su recuperación en España en 2023](#), ICEX

² [Air Transport Action Group - ATAG \(2021\), WAYPOINT 2050](#).



Adaptación propia sobre “Estudio sobre los impactos ligados a la transición ecológica en el sector de la aviación”. Fuente: PwC

Actualmente, los SAF ya están certificados para su uso en aviación en mezclas de hasta un 50% con el queroseno “convencional” sin realizar modificación alguna en las aeronaves en servicio. Es decir, **todos los aviones que actualmente usan queroseno pueden utilizar SAF. Los fabricantes de aeronaves, los fabricantes de motores y los productores de combustibles se han comprometido a que sea posible usar el 100% antes de 2030.**

La utilización de estos combustibles sostenibles contribuye además a una mejora en la calidad de aire al contener una menor proporción de compuestos aromáticos y azufres.

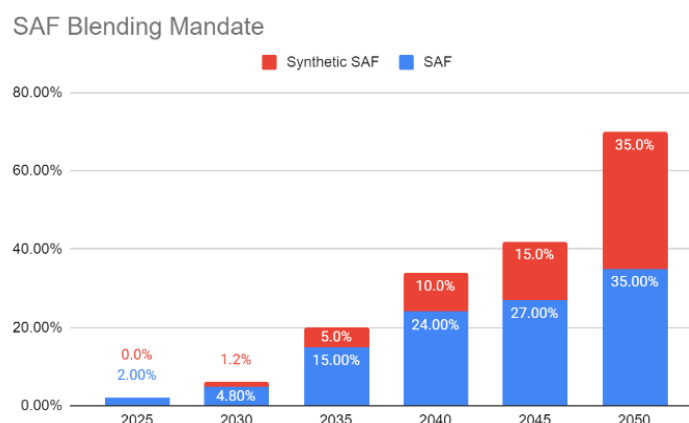
España en el mercado del SAF

El mercado de SAF está muy poco desarrollado a nivel mundial. Su producción y consumo representa menos del 1% del combustible mundial de aviación. Existe un diferencial de precio significativo y un nivel tecnológico diferente según el proceso de producción.

A nivel europeo, existen palancas regulatorias para fomentar este mercado, como el Reglamento ReFuelEU Aviation³, que impone unos porcentajes mínimos de uso creciente en el tiempo y la Directiva ETS⁴ (régimen de comercio de derechos de emisión), que limita las emisiones de CO₂ y establece un mercado de compensaciones.

³ Reglamento 2023/2405 del Parlamento Europeo y del Consejo relativo a la garantía de unas condiciones de competencia equitativas para un transporte aéreo sostenible.

⁴ Directiva 2003/87/CE del Parlamento Europeo y del Consejo por la que se establece un régimen para el comercio de derechos de emisión de gases de efecto invernadero en la Unión y por la que se modifica la Directiva 96/61/CE del Consejo



Porcentaje mínimo de SAF impuesto por ReFuelEU Aviation. Fuente: Elaboración propia

Adicionalmente, la Directiva relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables⁵, establece los criterios de sostenibilidad que deben cumplirse.

España dispone de ventajas para impulsar la producción de SAF en su territorio, y convertirse en el hub de fabricación del sur de Europa:

- Acceso a materias primas. Según un informe de Agroalnext⁶, **el potencial de disponibilidad actual de biomasa es de 54,78 Mt/año**.
- Capacidad de producción de energías renovables y de hidrógeno, gracias al elevado potencial de producción de energía solar, eólica y la disponibilidad de agua (salada), clave para la producción de combustibles sintéticos. Los datos de la Agencia Internacional de la Energía posicionan la Península Ibérica como un **área preferente para la producción de hidrógeno verde**.
- Excelente infraestructura y capacidades logísticas para **distribución en territorio nacional y para distribución de excedentes en mercados internacionales**. Nuestro modelo de funcionamiento integra las actividades de almacenamiento y transporte, lo que permite operar a la red como un banco de combustibles, siendo de los pocos del mundo que ofrece el servicio de acreditación instantánea
- Conocimientos en fabricación y comercialización de combustibles, que pueden ser objeto de aprovechamiento para la fabricación de combustibles sostenibles. **Tenemos el sistema de refino más flexible y competitivo de la UE.**

El **escalado de la producción** dependerá principalmente de dos factores la disponibilidad de materias primas y la madurez de las tecnologías aprobadas.

- **El aumento de la diversidad de materias primas elegibles**, cumpliendo los criterios de sostenibilidad, contribuye a aumentar la disponibilidad e incentiva la investigación de nuevas rutas tecnológicas. La diversidad y disponibilidad varía de unas regiones a otras. En cualquier caso, deben cumplirse los criterios de sostenibilidad establecidos por el marco regulatorio.

⁵ Directiva (UE) 2023/2413 del Parlamento y del Consejo por la que se modifican la Directiva (UE) 2018/2001, el Reglamento (UE) 2018/1999 y la Directiva 98/70/CE en lo que respecta a la promoción de la energía procedente de fuentes renovables y se deroga la Directiva (UE) 2015/652 del Consejo

⁶ [Evaluación de biomasa potencial en España a nivel provincial](#), Agroalnext (2023)

- La **aprobación de nuevas rutas tecnológicas** en los sistemas de certificación y normas de aplicación, a menudo a partir de distintas materias primas, facilitarán también esta diversificación que redundará en acelerar el escalado y la reducción de costes.

El impacto de los SAF

La producción nacional de SAF puede reducir la dependencia de los países de las importaciones de combustibles fósiles, lo que fortalece su seguridad de suministro energético. Al desarrollar capacidades de producción de SAF, los países pueden diversificar sus fuentes de energía y disminuir su vulnerabilidad a interrupciones o volatilidad en el suministro global.

El impulso de la producción nacional de SAF en España también fomentaría la innovación, el desarrollo tecnológico y la creación de empleo.

Según el estudio sobre los impactos ligados a la transición ecológica en el sector de la aviación⁷, se estima en **13.305 M€ el impacto de la industria de SAF en el PIB en España**, donde un 62% corresponde al impacto directo generado por la construcción de plantas de producción de SAF, lo que significa que por cada euro invertido se llega a generar 1,60 € de impacto en PIB.

En cuanto a la **generación de empleo**, este mismo informe estima que durante la operación de las plantas de producción de SAF, 19.703 empleos podrían ser creados y, si se contempla la fase de construcción de dichas potenciales plantas, se podría llegar hasta los 251.340 empleos desde 2025 a 2050.

Retos para el desarrollo de SAF en España

A pesar del enorme potencial de España para la producción de SAF, otros países, en particular Estados Unidos, están más avanzados en cuanto a capacidad productiva

Es importante desarrollar mecanismos e incentivos adicionales a los comunes a nivel internacional y europeo para fomentar la producción en España, así como reducir el diferencial del coste del SAF frente al combustible convencional.

La regulación debe establecer un marco estable, duradero y claro que facilite las evoluciones tecnológicas que contribuyan a la descarbonización del sector y al desarrollo de proyectos, que hagan posible las producciones necesarias para sustituir los combustibles actuales de origen fósil. Es crucial destacar la importancia de una trasposición y aplicación efectiva de las Directivas y Reglamentos relacionados con la producción de combustibles de aviación sostenible en un marco que sea accesible y fácil de implementar.

En este contexto **las limitaciones en el uso de las materias primas elegibles para la producción de SAF deben atender únicamente a criterios de sostenibilidad** dando flexibilidad a la utilización de otras materias.

Los mecanismos de flexibilidad se han identificado como una herramienta que permitiría escalar producciones y tecnologías para abaratar costes al menos en los primeros años, hasta que haya una consolidación tecnológica.

⁷ Estudio sobre los impactos ligados a la transición ecológica en el sector de la aviación, PwC (2023)

Otro mecanismo para favorecer el uso de SAF recogido en la normativa actual es el mercado de carbono del ETS. Estas medidas reducen el diferencial entre el queroseno fósil y los SAF, lo cual añade un incentivo adicional para la transición hacia un uso más generalizado de SAF.

Para que España pueda posicionarse como líder en la producción de SAF no sólo a corto sino a medio y largo plazo, **es crucial implementar programas de ayuda destinados a facilitar la construcción y operación de las primeras plantas de producción de las rutas innovadoras** con mayor potencial en el caso de España, para promover la innovación, minimizar los riesgos y potenciar la inversión y consecuente escalado.

En cuanto a los incentivos financieros, **algunos países como Dinamarca, Reino Unido y Estados Unidos están implementando mecanismos propios para incentivar la producción de SAF.**

Además, **los aeropuertos, al actuar como nodos críticos dentro del ecosistema de la aviación, desempeñan un papel fundamental en facilitar la disponibilidad y adopción de SAF.**

Es importante establecer **mecanismos de colaboración entre las partes interesadas, como la industria, las instituciones de investigación y los organismos gubernamentales.** Esto permite compartir información, abordar barreras y desarrollar las capacidades necesarias en áreas críticas para el despliegue comercial.

Adicionalmente, **una comunicación efectiva que demuestre de manera transparente los impactos y beneficios ambientales, climáticos y económicos de los SAF es vital** para construir la confianza pública y aumentar el apoyo. Para lograr la implantación del SAF a gran escala, será importante crear conciencia pública sobre los SAF como una de las soluciones para reducir las emisiones netas de GEI de la aviación.

El SAF es una oportunidad de país. Con las medidas adecuadas, España puede convertirse en líder europeo en producción y exportación, transformando un reto climático en motor de desarrollo económico y social.

Glosario

AST	Alianza para la Sostenibilidad del Transporte Aéreo
ATC	Control del tráfico aéreo
ATJ	<i>Alcohol-to-Jet</i>
CAAFI	<i>Commercial Alternative Aviation Fuel Initiative</i>
CCU	Captura y utilización de carbono
CCUS	Captura, utilización y almacenamiento de carbono
CO₂	Dióxido de carbono
CORES	Corporación de Reservas Estratégicas de Productos Petrolíferos
CORSIA	Plan de Compensación y Reducción de Carbono para la Aviación Internacional
CH₄	Metano
DKK	Coronas danesas
EASA	Agencia Europea de Seguridad Aérea
EEA	Espacio Económico Europeo
EI	<i>Energy Institute</i>
ETS	Régimen de comercio de derechos de emisión
FT	Método Fischer-Tropsch
GBP	Libras esterlinas
gCO₂	Gramos de dióxido de carbono
GEI	Gases de Efecto Invernadero
GNL	Gas natural licuado
H₂	Hidrógeno molecular
HEFA	Ésteres y ácidos grasos hidroprocesados
HVO	Aceite vegetal hidroprocesado
IATA	Asociación Internacional del Transporte Aéreo
IEA	<i>International Energy Agency</i>
ILUC	Cambio indirecto del uso de la tierra
IPCC	Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático

IRA	<i>Inflation Reduction Act</i>
ISCC	<i>International Sustainable & Carbon Certification</i>
JIG	<i>Joint Inspection Group</i>
LCA	<i>Life Cycle Assessment</i>
MJ	Megajulios
Mt	Megatoneladas
MTK	<i>Methanol-to-Kerosene</i>
N₂O	Dióxido de nitrógeno
OACI	Organización de Aviación Civil Internacional
PIB	Producto Interno Bruto
POME	<i>Palm Oil Mill Effluent</i>
PtL	<i>Power-to-Liquid</i>
RCF	Combustible de carbono reciclado
RED	Directiva (UE) 2018/2001 de energías renovables
RFNBO	Combustibles renovables de origen no biológico
ROT	Tiempo de ocupación de pista
SAF	Combustibles de Aviación Sostenibles
SARP	Prácticas y estándares recomendados por OACI
SBC	Componente sintético de mezcla
SPK	Queroseno parafínico sintético
SSJF	Combustible de aviación semi-sintético
t	Toneladas
UCO	Aceite usado de cocina
UE	Unión Europea

1. Introducción

1.1. Antecedentes

El sexto informe del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC)⁸ atribuye a la actividad humana el aumento de los gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera.

Este aumento de los GEI está alterando y poniendo en riesgo la biodiversidad y los servicios ecosistémicos al inducir cambios climáticos globalmente.

El desarrollo industrial ha estado muy vinculado a la generación y consumo de energía. Una energía que tradicionalmente se ha basado en el consumo de combustibles fósiles.

El consumo de combustibles fósiles es uno de los contribuidores del incremento de GEI, siendo el dióxido de carbono (CO₂) uno de los principales.

El sector aéreo está muy sensibilizado con el cambio climático y se ha comprometido a alcanzar la neutralidad de CO₂ en 2050.

La **hoja de ruta para la descarbonización del sector**⁹ es pública y está apoyada por las asociaciones sectoriales y organismos mundiales y europeos, y se han publicado varios documentos para su divulgación con un contenido muy similar, dónde los ejes fundamentales son:

- Mejoras tecnológicas en las aeronaves, tanto incrementales para disminuir los consumos de combustible, como las disruptivas con la utilización de energías sin emisiones de CO₂.
- Gestión del tráfico aéreo y de las operaciones, para reducir las duraciones de los vuelos y el tiempo de encendido de motores.
- Combustibles de aviación sostenibles (SAF, por sus siglas en inglés, *Sustainable Aviation Fuel*).
- Mecanismos de compensación de emisiones y medidas económicas. Son actuaciones que tratan de reparar los impactos negativos que no pueden ser evitados. Las compensaciones producen un efecto positivo, equivalente al negativo anterior, en el medio ambiente que permita restaurar servicios ecosistémicos.

De estos cuatro pilares para conseguir esa descarbonización, la mayor contribución en la reducción de CO₂ provendrá del uso de SAF, que se estima será del 61%, considerando un escenario intermedio en el que las mejoras tecnológicas sean prioritarias y ambiciosas de forma que se diseñen configuraciones de aviones no convencionales y haya, a la vez, una transición de la flota hacia aviones híbridos/eléctricos.

⁸ [AR6 Report, IPCC](#)

⁹ [Air Transport Action Group - ATAG \(2021\), WAYPOINT 2050.](#)

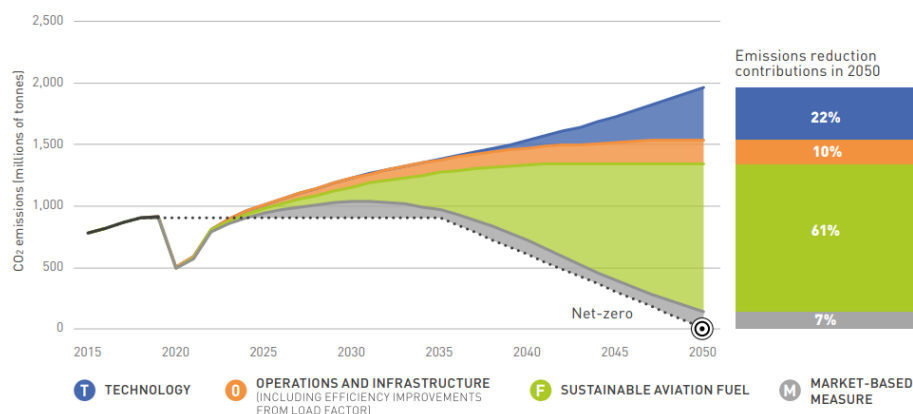


Figura 1 - Escenario 1.-WayPoint 2050- ATAG

Existe un vínculo entre el crecimiento económico y el desarrollo de la aviación. El sector tiene la ambición de seguir creciendo y seguir haciendo asequible la aviación a más personas.

España se está posicionando como un importante hub logístico en el sur de Europa. Más del 80% de los turistas que visitan España llegan por vía aérea.

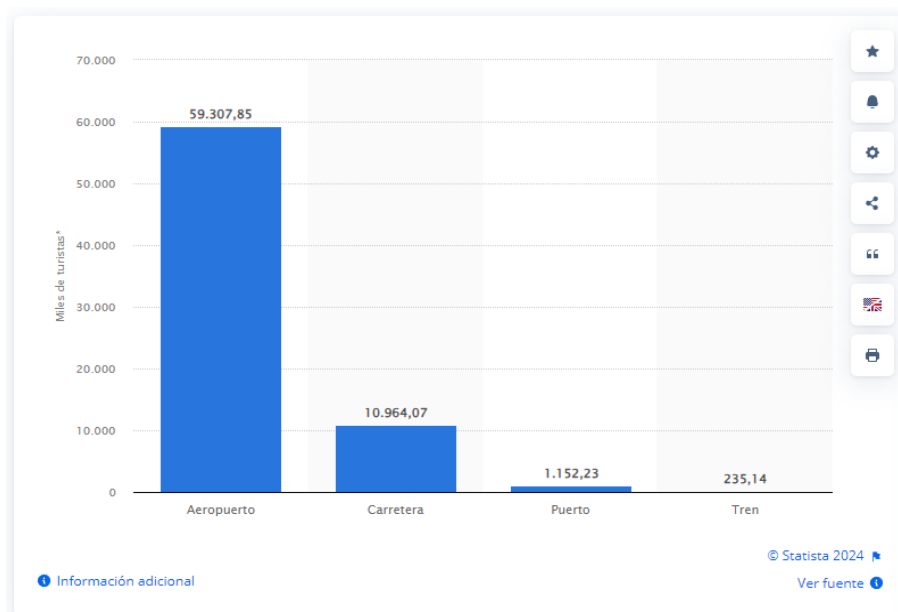


Figura 2.- Número (en miles) de turistas internacionales que visitaron España en 2023. Fuente: Statista Research Department (2024)

El transporte aéreo es actualmente dependiente de los combustibles fósiles líquidos, principalmente del queroseno (Jet- A1).

Este libro blanco para los combustibles de aviación sostenibles (SAF) trata de reflejar la situación actual en España y contribuir a su difusión.

Los SAF son el principal elemento de la hoja de ruta para la descarbonización del sector aéreo, permitiendo reducir las emisiones netas durante el ciclo de vida hasta valores

superiores al 80%. Este valor varía en función de todo el ciclo de vida, y en concreto de las materias primas, el proceso de producción y el transporte.

La utilización de estos combustibles sostenibles contribuye además a una mejora en la calidad de aire al contener una menor proporción de compuestos aromáticos y azufres. Existen otros aspectos a considerar en relación con los SAF:

- Ecosistémicos
- Tejido Industrial
- Socioeconómicos
- Independencia energética
- Empleo
- Tecnológico

Existen grupos de trabajo, como el subcomité D02.JO.01¹⁰ para combustibles de aviación de ASTM, dirigidos a modificar los estándares actuales para los combustibles convencionales de aviación y contribuir con ello a la mejora de la calidad del aire, lo que podría suponer una sinergia con el mayor uso de SAF.

Los SAF ya están certificados para su uso en aviación en mezclas de hasta un 50% con el queroseno “convencional” (JET-A1) sin realizar modificación alguna en las aeronaves en servicio. Es decir, **todos los aviones que actualmente usan Jet-A1 pueden utilizar SAF. Los fabricantes de aeronaves, los fabricantes de motores y los productores de combustibles se han comprometido a que sea posible usar el 100% antes de 2030.**

La compatibilidad con los combustibles convencionales es fundamental para su desarrollo y despliegue, ya que permite utilizar las actuales infraestructuras logísticas de combustible de aviación sin inversiones adicionales.

El mercado de SAF está muy poco desarrollado a nivel mundial. Su producción y consumo representa menos del 1% del combustible mundial de aviación. Existe un diferencial de precio significativo y un nivel tecnológico diferente según el proceso de producción.

Por ese motivo, dentro del sector, se está trabajando de forma continua para desarrollar nuevos procesos de producción de componentes sintéticos aprobados para la elaboración de SAF.

Hay consenso internacional para impulsar su despliegue. **A nivel europeo** las principales palancas regulatorias son el Reglamento ReFuelEU Aviation¹¹, que impone unos porcentajes mínimos de uso creciente en el tiempo y la Directiva ETS¹² (régimen de comercio de derechos de emisión), que limita las emisiones de CO₂ y establece un mercado de compensaciones.

¹⁰ [Subcommittee D02.JO.01 on Jet Fuel Specifications](#)

¹¹ Reglamento 2023/2405 del Parlamento Europeo y del Consejo relativo a la garantía de unas condiciones de competencia equitativas para un transporte aéreo sostenible.

¹² Directiva 2003/87/CE del Parlamento Europeo y del Consejo por la que se establece un régimen para el comercio de derechos de emisión de gases de efecto invernadero en la Unión y por la que se modifica la Directiva 96/61/CE del Consejo

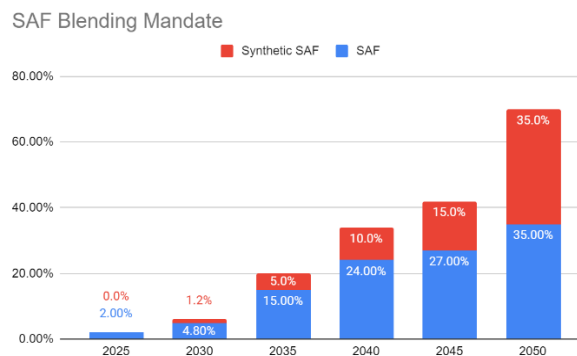


Figura 3 - Porcentaje mínimo de SAF impuesto por ReFuelEU Aviation. El Reglamento incluye un sub-mandato para los SAF sintéticos, aquellos que tienen un origen no biológico. Ejemplo: en 2035 el porcentaje mínimo de SAF es del 20%, siendo el mínimo de SAF sintético del 5%. Fuente: Elaboración propia

Adicionalmente, la Directiva relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables¹³, establece los criterios de sostenibilidad que deben cumplirse.

1.2. Definición de SAF

El concepto de SAF engloba propuestas de diferente tipo bajo un mismo propósito: disminuir o anular el impacto de las emisiones de CO₂ de los motores de aviación.

El objetivo de este apartado es definir de manera clara y concisa qué se entiende por SAF a lo largo de este documento.

Son muchas las definiciones existentes y diferentes sus alcances.

La primera definición la realiza la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) a través de su estándar contemplado en su esquema de compensación y reducción de carbono para la aviación internacional (CORSIA) en 2018 (Anexo 16, Volumen IV). Según este, el término “*Sustainable Aviation Fuel, SAF*” se define como el combustible aeronáutico renovable o derivado de residuos que cumple los criterios de sostenibilidad del CORSIA¹⁴.

En el [Anexo I](#), se detallan los criterios de sostenibilidad que deben cumplir los combustibles elegibles según CORSIA.

Por otro lado, el **Reglamento ReFuelEU Aviation define los combustibles de aviación sostenibles** como los combustibles de aviación que pertenecen a una de estas tres categorías:

1. **Combustibles de aviación sintéticos:** combustibles de aviación que son combustibles renovables de origen no biológico tal como se definen en la Directiva de Energías Renovables (“*combustibles líquidos o gaseosos cuyo contenido energético procede de fuentes renovables distintas de la biomasa*”); cumplen el umbral de reducción de emisiones durante el ciclo de vida a que se refiere el artículo 29 bis, apartado 1 de

¹³ Directiva (UE) 2018/2001 del Parlamento Europeo y del Consejo de 11 de diciembre de 2018 relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables

¹⁴ [https://www.icao.int/environmental-protection/pages/SAF.aspx#:~:text=Sustainable%20aviation%20fuels%20\(SAF\)%20are,that%20meets%20sustainability%20criteria1](https://www.icao.int/environmental-protection/pages/SAF.aspx#:~:text=Sustainable%20aviation%20fuels%20(SAF)%20are,that%20meets%20sustainability%20criteria1)

dicha Directiva (mínimo del 70%); y están certificados de conformidad con su artículo 30.

2. Biocombustibles de aviación: combustibles de aviación recogidos en alguna de estas definiciones:

2.1 Biocarburantes avanzados, tal y como se definen en la Directiva de Energías Renovables, esto es, “*biocarburantes producidos a partir de las materias primas enumeradas en el anexo IX, parte A*”. Para más información véase el [Anexo II](#).

2.2 Biocarburantes, tal como se definen en la Directiva de Energías Renovables (“*combustibles líquidos destinados al transporte y producidos a partir de biomasa*”) que cumplen uno de estos dos criterios:

- a) Son producidos a partir de las materias primas enumeradas en el anexo IX, parte B, de dicha Directiva, esto es, aceite de cocina usado o grasas animales clasificadas en las categorías 1 y 2 con arreglo al Reglamento (CE) n.º 1069/2009.
 - b) No son producidos a partir de los “cultivos alimentarios y forrajeros” definidos en dicha Directiva y cumplen los criterios de sostenibilidad y reducción de emisiones durante el ciclo de vida establecidos en el artículo 29 y estén certificados de conformidad con el artículo 30 de dicha Directiva.
3. Combustibles de aviación de carbono reciclado: combustibles de aviación que son combustibles de carbono reciclado tal como se definen en la Directiva de Energías Renovables (“*combustibles líquidos y gaseosos producidos a partir de flujos de residuos líquidos o sólidos de origen no renovable que no son adecuados para la valorización de materiales con arreglo al artículo 4 de la Directiva 2008/98/CE, o a partir de gases residuales de proceso y gases de escape de origen no renovable producidos como consecuencia inevitable e involuntaria del proceso de producción en instalaciones industriales*”); cumplen el umbral de reducción de emisiones durante el ciclo de vida a que se refiere el artículo 29 bis, apartado 2, de dicha Directiva (mínimo del 70%); y están certificados de conformidad con su artículo 30.

En este documento, el término combustibles de aviación sostenible o simplemente SAF, engloba a cualquiera de los 3 puntos de la definición, el grupo de combustibles de aviación sintéticos (ReFuelEU Aviation, punto 1), biocombustibles de aviación (ReFuelEU Aviation punto2) y los combustibles de aviación de carbono reciclado (RefuelEU Aviation punto3).

Los términos eSAF o PtL (*Power-to-Liquid*) se emplearán para los combustibles de aviación sintéticos de origen no biológico (RefuelEU Aviation punto1).

A efectos de cumplir las obligaciones mínimas de combustibles de aviación sostenible establecidas en el Reglamento ReFuelEU Aviation, **también podrán considerarse los siguientes combustibles:**

- 1) Hidrógeno renovable para la aviación: hidrógeno destinado a ser utilizado en aeronaves que se considera «combustible renovable de origen no biológico» tal como se definen en la Directiva de Energías Renovables y que cumple el umbral de reducción de emisiones durante el ciclo de vida a que se refiere el artículo 29 bis, apartado 1 de dicha Directiva (mínimo del 70%) y está certificado de conformidad con su artículo 30.

2) Combustibles de aviación con bajas emisiones de carbono:

- a) Combustibles de aviación sintéticos con bajas emisiones de carbono: los combustibles de aviación de origen no biológico cuyo contenido energético deriva de hidrógeno no fósil con bajas emisiones de carbono, que cumplan el umbral de reducción de emisiones durante el ciclo de vida del 70% y las metodologías para evaluar dicha reducción de conformidad con el Derecho de la Unión aplicable.
- b) Hidrógeno con bajas emisiones de carbono para la aviación: el hidrógeno destinado a utilizarse en aeronaves cuyo contenido energético procede de fuentes no fósiles no renovables, que cumple un umbral de reducción de emisiones durante el ciclo de vida del 70% y las metodologías para evaluar dicha reducción de conformidad con el Derecho de la Unión aplicable.

Tanto en las definiciones de OACI como en las del Reglamento ReFuelEU Aviation, se hace referencia a los SAF en su forma previa a cualquier mezcla o, en el caso del coprocesado, al componente sostenible del producto final. Sin embargo, en el ámbito de la certificación de calidad y manejo del combustible se utiliza una terminología más precisa. Se define SBC, *Synthetic Blend Component* o componente sintético de mezcla como aquellos combustibles sintéticos conformes a la norma ASTM D7566. Estos componentes no están aprobados para su uso como combustible de suministro directo a aeronaves, es necesario mezclarlo con combustible convencional en un porcentaje determinado. Tras la mezcla con combustible convencional, se obtiene un SSJF, que también se evalúa conforme a la norma ASTM D7566. Es importante indicar que no todos los SBC son sostenibles.

SSJF, *Semi-synthetic Jet Fuel*, combustibles semisintéticos o SAF-semisintéticos son productos conformes a la norma ASTM D1655, que contienen SBC, y que pueden utilizarse para suministro directo a aeronaves en lugar de los combustibles convencionales.

Las referencias a SSJF y SBC son muy habituales en la bibliografía de organizaciones como el Energy Institute (norma EI 1533) o el *Joint Inspection Group* (TID 4), donde se desarrollan estándares y documentos relacionados con el SAF. Estas organizaciones son referentes en lo relativo a las mejores prácticas para la fabricación, transporte y manipulación de combustibles.

En el [Anexo III](#), se listan los SBC aprobados, según la norma ASTM D7566 para su uso, así como el máximo porcentaje de los mismos que se puede usar en la mezcla. Es importante reseñar que no está permitida la mezcla de distintos SBC previa a la mezcla con combustible convencional, pero no hay limitaciones a la mezcla entre SSJF.

2. Cadena de suministro

2.1. Producción

El presente apartado tiene por objeto listar las alternativas actuales (o previsibles) de producción, su implantación en España, presentar estudios sobre costes de producción y medidas que puedan facilitar el escalado. Cabe señalar que la mera fabricación de combustible de aviación siguiendo estas tecnologías no garantiza su condición de sostenible, que vendrá dada por el cumplimiento de los criterios de sostenibilidad establecidos por la Directiva Europea de Renovables y certificados por los sistemas

voluntarios aprobados a tal efecto (ISCC EU, RSB, etc, cuyo funcionamiento será explicado en el [apartado 5](#)) durante todo el ciclo de vida del combustible.

Estado del arte de las tecnologías de producción

Las **opciones tecnológicas para producir SAF** se pueden agrupar en los bloques siguientes (el detalle de todas las tecnologías disponibles se encuentra en el [Anexo III](#)):

- Coproceso en unidades tradicionales adaptadas.
- Hidrotratamiento de ésteres y ácidos grasos (HEFA).
- Fischer-Tropsch (FT): gasificación de biomasa para creación de gas sintético, y posterior conversión en SAF. Se puede emplear con residuos para obtener biocombustibles de aviación o con hidrógeno verde y CO₂ para obtener combustibles de aviación sintéticos.
- *Alcohol-to-Jet*: (AtJ): Conversión catalítica de alcoholes en SAF.

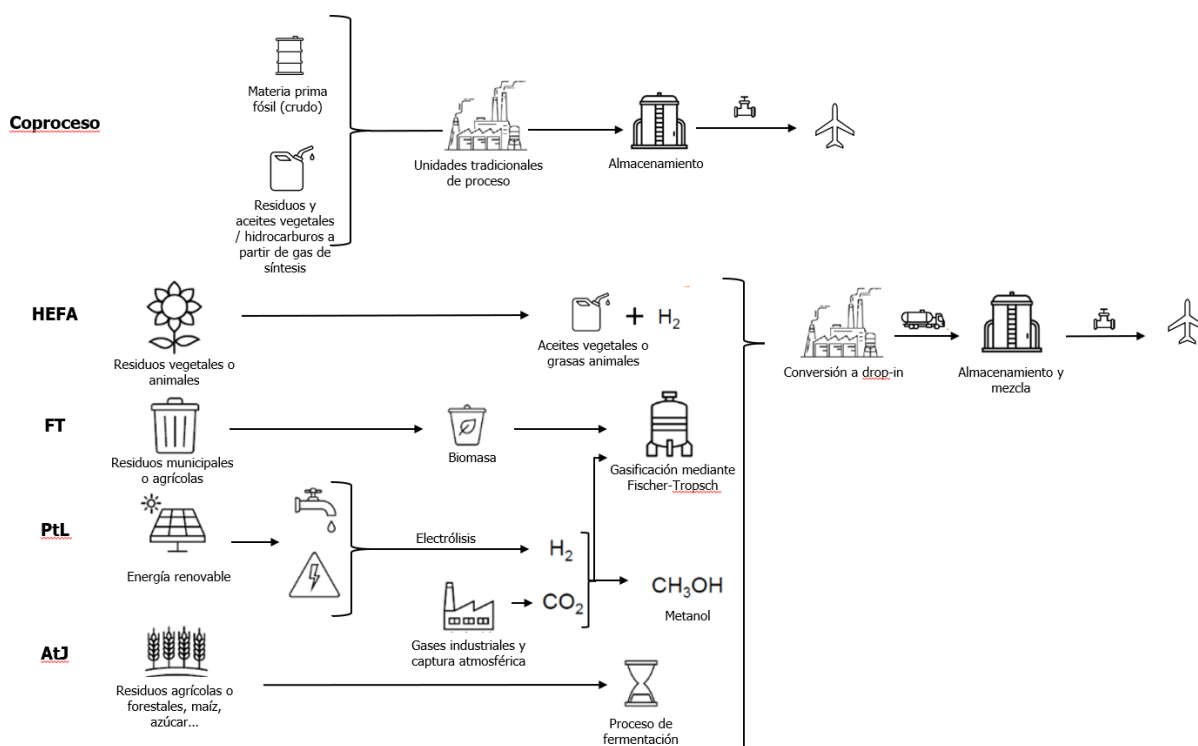


Figura 4 – Adaptación propia sobre “Estudio sobre los impactos ligados a la transición ecológica en el sector de la aviación”. Fuente: PWC

El detalle de las rutas tecnológicas aprobadas para crear combustibles se recoge actualmente en **dos normas de la ASTM International**¹⁵:

- La norma ASTM D1655, sobre combustibles de aviación, que recoge las opciones de coproceso (empleo conjunto de materias primas tradicionales fósiles, como el crudo, junto con materias primas renovables).

¹⁵ ASTM International, anteriormente conocida como American Society for Testing and Materials, es una organización internacional de normalización que desarrolla y publica normas técnicas de consenso voluntario para una amplia gama de materiales, productos, sistemas y servicios.

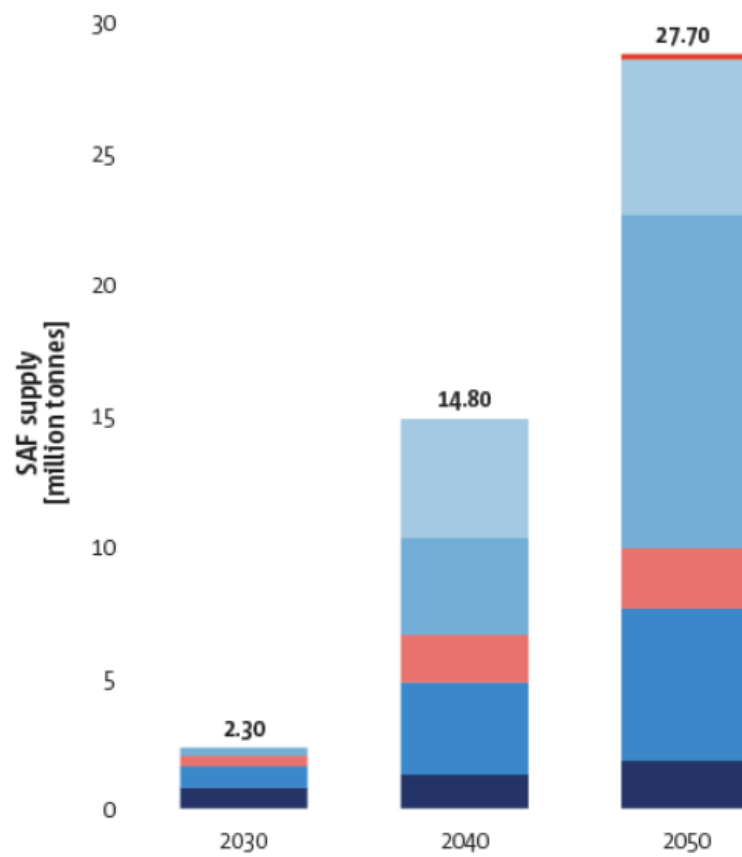
- La norma ASTM D7566, sobre combustibles de aviación que contienen combustibles sintéticos (es decir, fabricados a partir de materias primas alternativas, distintas del crudo fósil).

El [Anexo III](#) muestra las tecnologías de fabricación aprobadas bajo esas dos normas. En el [apartado 4.3](#) se explica el proceso de aprobación que se rige por la norma ASTM D4054.

La **tecnología de coprocesado** consiste en adaptar unidades de producción tradicionales para poder sustituir parte de las materias primas tradicionales por materias primas alternativas, habitualmente biogénicas y sostenibles, procesándolas conjuntamente, y obteniendo así un porcentaje de la producción que puede considerarse sostenible. Al basarse en unidades de producción ya existentes, el coproceso constituye una alternativa para incrementar, en el corto plazo, la disponibilidad de SAF, poniéndolo a disposición de los operadores aéreos mientras se construyen plantas productivas basadas en otras tecnologías.

La ruta de fabricación con mayor incremento de capacidad previsto de aquí a 2028 es la **tecnología HEFA**. Consiste en el hidrot ratamiento (para eliminar oxígeno e impurezas) y posterior proceso siguiendo tecnologías convencionales, como el craqueo, la isomerización y el fraccionamiento de ésteres y ácidos grasos. Las materias primas empleadas son aceites vegetales, aceites usados y grasas animales. Esta ruta de fabricación cuenta con el inconveniente de que las materias primas sostenibles son limitadas (se prevé alcanzar su tope de disponibilidad en torno a 2030), por lo que la penetración de otras tecnologías con mayor disponibilidad de materias primas (principalmente FT y AtJ) deberá incrementarse durante los próximos años.

En la siguiente gráfica se muestra la **producción de SAF prevista por tecnología en la Unión Europea (UE) para 2030, 2040 y 2050**.



	2030	2040	2050
Electricity	0.00	0.00	0.20
Gasification+FT	0.00	4.50	5.90
PtL	0.30	3.70	12.70
Imports	0.40	1.80	2.30
ATJ	0.80	3.50	5.80
HEFA	0.80	1.30	1.80

Figura 5 - Fuente: EASA

Situación actual y potencial de la producción de SAF en España

La situación de la producción del SAF en España en la actualidad se refleja en la siguiente figura.

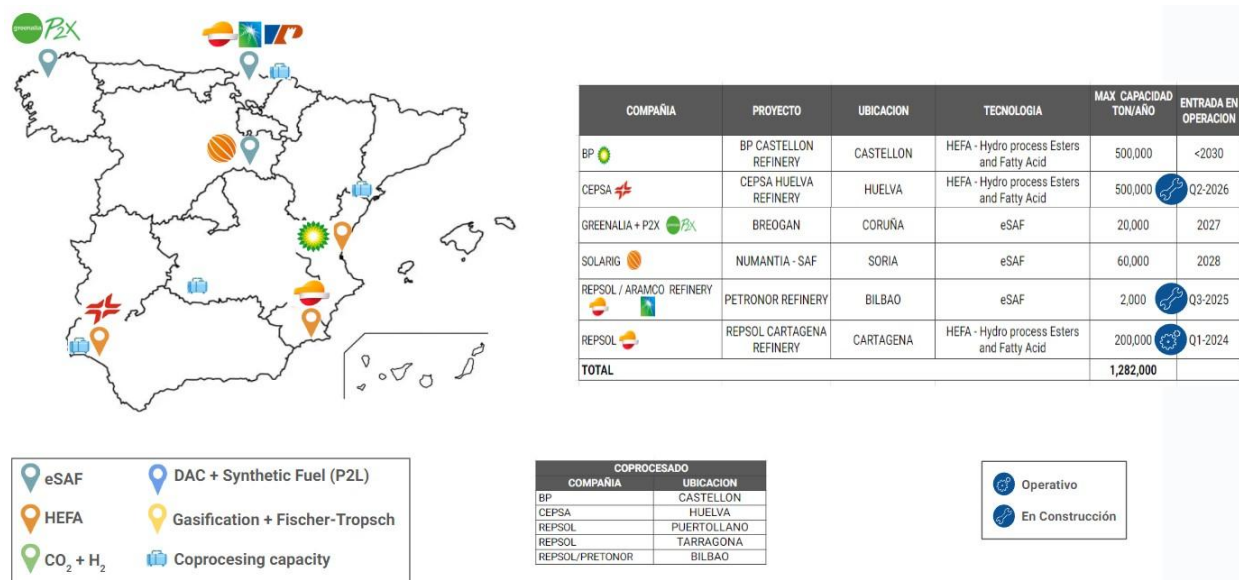


Figura 6 - Fuente: Elaboración propia sobre noticias en medios

España dispone de ciertas ventajas para impulsar la producción de SAF en su territorio, convirtiéndose en el hub de fabricación del sur de Europa:

- Acceso a materias primas, ya sea locales (ver [apartado 2.2](#)), siendo España el cuarto país europeo en disponibilidad de biomasa agrícola; como importadas por vía marítima, gracias a su acceso al Mediterráneo y a la Cuenca Atlántica.
- Capacidad de producción de energías renovables y de hidrógeno, gracias al elevado potencial de producción de energía solar, eólica y la disponibilidad de agua (salada), clave para la producción de combustibles sintéticos.
- Excelente infraestructura y capacidades logísticas para distribución en territorio nacional y para distribución de excedentes en mercados internacionales.
- Conocimientos en fabricación y comercialización de combustibles, que pueden ser objeto de aprovechamiento para la fabricación de combustibles sostenibles.

Situación actual de la producción de SAF en Europa

A nivel europeo proliferan los anuncios de proyectos para la producción de SAF. La siguiente gráfica muestra por tecnología una **visión macro de proyectos en Europa**.

Current announced SAF projects within Europe, March 2022

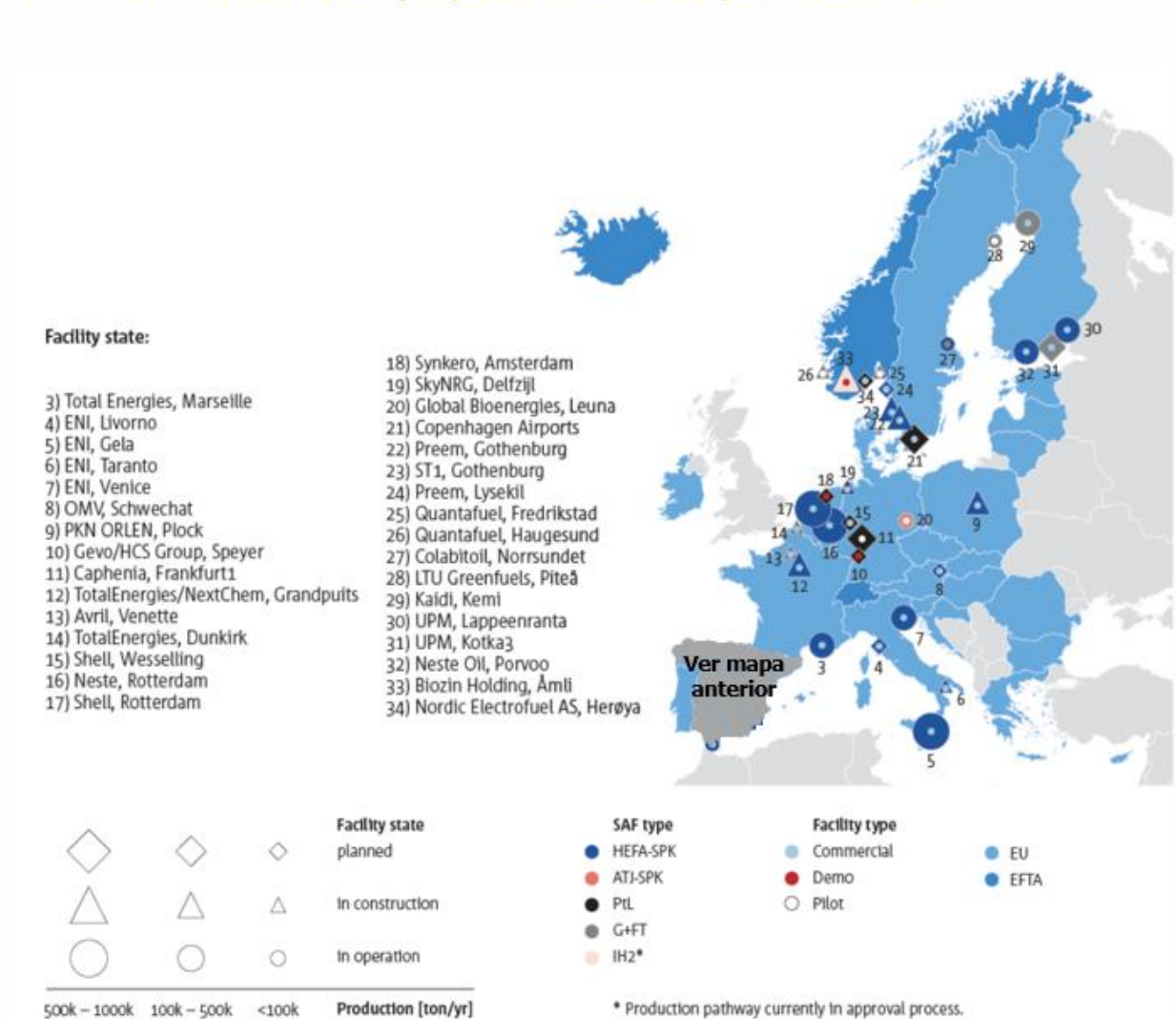


Figura 7 - Fuente: EASA (modificado)

A principios de 2024, T&E publicó un informe focalizado en los anuncios y capacidad previstos para la producción de eSAF.

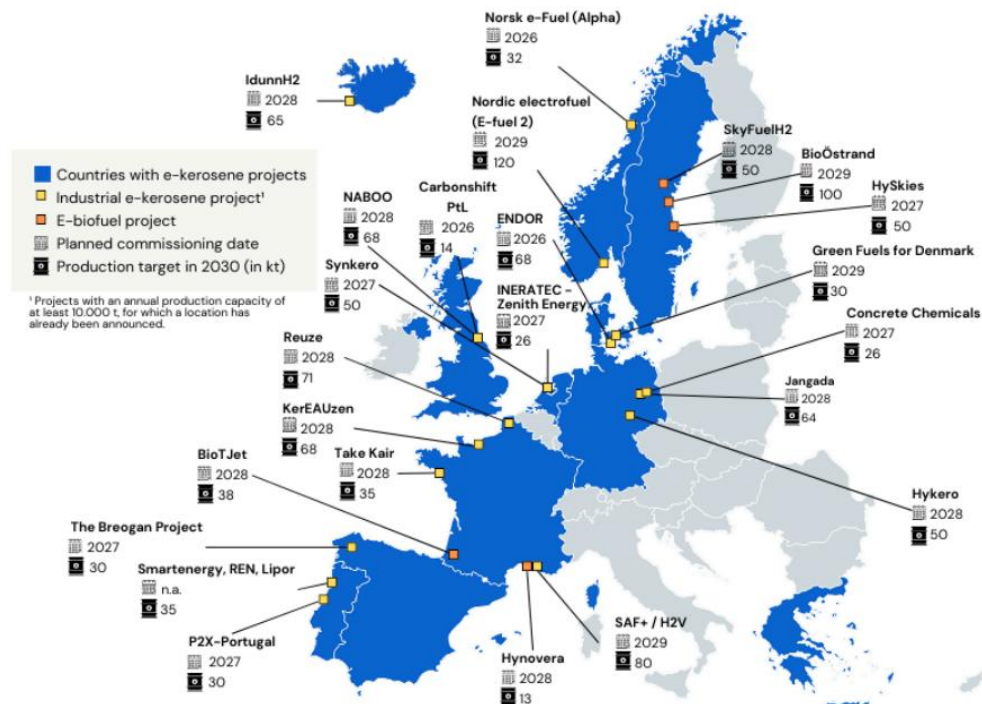


Figura 8 – Mapa europeo de proyectos de eSAF. Fuente: T&E

La Organización Internacional de Aviación Civil (OACI) mantiene un listado y un mapa actualizados con todos los anuncios públicos relativos a construcción de plantas de SAF. Se puede encontrar en la página web¹⁶.

Medidas para facilitar el escalado

El escalado de la producción dependerá principalmente de los factores siguientes:

- Número y disponibilidad de materias primas aprobadas. Aumentar la diversidad de materias primas elegibles, cumpliendo los criterios de sostenibilidad, contribuye a aumentar la disponibilidad e incentiva la investigación de nuevas rutas tecnológicas. La diversidad y disponibilidad varía de unas regiones a otras. Deben cumplirse los criterios de sostenibilidad establecidos por el marco regulatorio.
- Número y madurez de tecnologías aprobadas. La aprobación de nuevas rutas tecnológicas en las normas ASTM, a menudo a partir de distintas materias primas, facilitarán también esta diversificación que redundará en acelerar el escalado y la reducción de costes. Las tecnologías disponibles no compiten entre sí, sino que se complementan para poder emplear un número cada vez mayor de materias primas e incrementar la producción. Para facilitar la ampliación de las tecnologías y su llegada al mercado, que en todo caso pasa por el proceso de aprobación ASTM D4054, en 2023 se pone en marcha la creación de la *UK Clearing House* y de la *EU Clearing House*, que tienen por misión la aceleración de la aprobación de tecnologías para producir SAF, con el objetivo de colaborar de forma conjunta entre las tres (ya existía previamente la *US Clearing House*) para acelerar la

¹⁶ <https://www.icao.int/environmental-protection/GFAAF/Pages/Production-Facilities.aspx>

investigación y el desarrollo. Se incluye como parte del [Anexo III](#) el grado de madurez tecnológica actual de las diversas tecnologías optando actualmente a aprobación.

En el [apartado 4](#) se analizan en detalle las medidas para aumentar la disponibilidad de SAF y reducir su diferencial en precio.

2.2. [Materias primas](#)

Las materias primas para SAF

Tal y como se explica en el [apartado 2.1](#) de este mismo documento, existen distintas rutas para la producción de SAF, en distinto estado de desarrollo y con distinta flexibilidad de cara al empleo de las múltiples materias primas disponibles, con distintas características, disponibilidad e impacto en la reducción de emisiones de GHG.

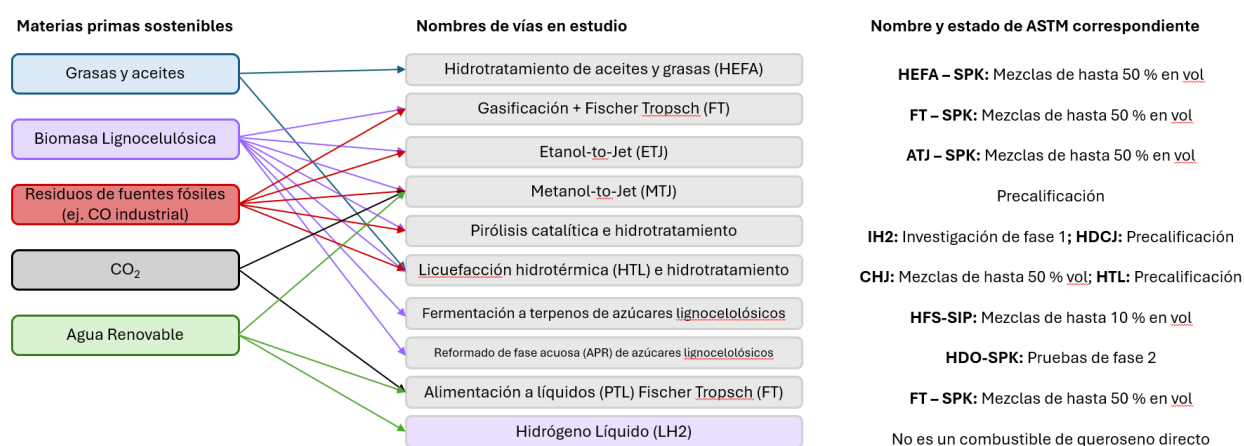


Figura 9 - Diagrama esquemático de distintas materias primas y rutas de ASTM de producción de SAF.
Fuente: Concawe report 52

1. **Grasas y aceites:**

Cultivos de Cobertura: El Reglamento ReFuelEU Aviation no permite para la contabilización hacia sus objetivos la utilización de cultivos oleaginosos (que producen aceite) alimentarios y forrajeros (para alimentar animales) para la fabricación de SAF.

Los aceites procedentes de cultivo que sí se incluyen en el Anexo IX, Parte A (avanzados), y por tanto permitidos en el Reglamento, son los cultivos de cobertura. Estos cultivos se siembran con el objetivo de proteger el suelo y mejorar la fertilidad de este, además de evitar la evaporación del agua, controlar la maleza y plagas, e incrementar la biodiversidad en sistemas de producción agroecológicos. Al cultivarse entre fases convencionales de cultivo, no generan demanda adicional de tierras, lo que debe ser certificado por un esquema reconocido de certificación de sostenibilidad.

Del mismo modo, una vez extraído el aceite o la biomasa para su uso para la producción de SAF, los cultivos de cobertura pueden además ofrecer una fuente alternativa de otros productos alimentarios y forrajeros, como es la harina de proteína.

Algunos ejemplos de plantas que pueden emplearse como cultivos de cobertura son la carinata o la camelina.

Aceites y grasas residuales: Desde el punto de vista de la trazabilidad, los residuos se originan en el punto de emisión/generación del proceso de producción primaria, por ejemplo, la fritura que origina el aceite de cocina usado (UCO). A partir de su origen, la cadena de valor de los residuos es independiente, pero en última instancia está relacionada con la cadena de valor primaria. Un desecho o residuo normalmente tiene un valor no energético limitado (de lo contrario, se considerarían un subproducto, no un desecho) y solo pueden crearse a partir de una cadena de valor primaria. Existe el riesgo de que el uso de desechos y residuos como materias primas para combustible cree un incentivo económico para su creación artificial, por lo que se necesitan procesos sólidos de aseguramiento y verificación de sostenibilidad para estos desechos y residuos (más información en el [apartado 5](#)).

La materia prima de biomasa residual más utilizada en la producción de biocombustibles es el aceite de cocina usado (UCO).

Además, el Reglamento ReFuelEU Aviation permite la utilización de grasas animales residuales, o sebo, siempre que no son consideradas adecuadas para la alimentación (categorías I y II).

Otra grasa considerada para la producción de biocarburantes avanzados por la regulación es el POME (*Palm Oil Mill Effluent*), la fracción sobrenadante de aceite, impurezas y agua que se produce en las aguas residuales de los molinos de palma aceitera.

2. **Biomasa lignocelulósica:** El término lignocelulósico abarca biomasa que contiene celulosa y diferentes cantidades de lignina, con distintas longitudes de cadena y grados de polimerización. Este grupo de materias primas incluye residuos y desechos derivados de la agricultura y los bosques, así como cultivos energéticos lignocelulósicos, como *miscanthus*, *switchgrass*, cañas, *elephant-grass*, y especies arbóreas como sauce, álamo y eucalipto, cultivadas en rotaciones relativamente cortas en sistemas de plantación de rebrote o con replantación después de cada cosecha.

La biomasa lignocelulósica puede ser agrícola (residuos agrícolas y cultivos no alimentarios ni forrajeros en tierras marginales, evitando la competencia con cultivos alimentarios y el cambio indirecto de uso de la tierra) o forestal (derivada de las explotaciones forestales y del manejo de masas forestales empleando tecnologías de conversión avanzadas).

3. **CO₂ (biogénico, atmosférico e industrial):** Es una materia prima en la producción de combustibles sintéticos. En un sistema de cero emisiones netas es importante que el carbono utilizado provenga principalmente de CO₂ biogénico o atmosférico, cada uno aportando diferentes consideraciones de sostenibilidad y tecnoeconómicas.

El CO₂ biogénico puede: capturarse del biogás en forma de biometano, producirse como gas residual durante la fermentación de biomasa para obtener etanol, o capturarse directamente a través de instalaciones de bioenergía y captura y almacenamiento de carbono. Cuando es utilizado para la fabricación de eSAF debe provenir de biomasa que haya pasado por una certificación de sostenibilidad para garantizar el impacto ambiental positivo.

Por su parte, el CO₂ atmosférico se obtiene mediante tecnologías de captura directa del aire. Estas tecnologías aún están en un estadio muy incipiente, pero tienen

potencialmente mayor capacidad de escalado (técnicamente infinito), ya que no dependen de fuentes puntuales de CO₂. Los eSAF también pueden producirse a partir de CO₂ fósil, pero para que esto contribuya a la mitigación del cambio climático, el CO₂ fósil debe ser una emisión residual, y deben tomarse medidas para evitar que su demanda impulse el aumento o el mantenimiento de emisiones de CO₂ evitables.

Los combustibles producidos a partir de CO₂, se denominan en la regulación europea¹⁷ combustibles renovables de origen no biológico (RFNBO, por sus siglas en inglés).

4. **Agua:** El agua es una materia prima esencial para la producción de los eSAF como elemento base para la obtención de hidrógeno. Mediante el proceso químico-eléctrico de la hidrólisis se descompone la molécula de agua en hidrógeno y oxígeno, obteniendo 1 kg de H₂ por cada 9 kg de agua.

Para este proceso, el agua que debe usarse es de tipo 1 ASTM, es decir, ultrapura, por lo que es necesario contar con una planta de tratamiento de agua.

Según el informe “*Water for hydrogen production*” realizado por IRENA¹⁸, el hidrógeno verde (producido usando energía renovables) es el más eficiente en el uso del agua de todos los tipos de hidrógeno limpio, con un consumo de 17,5 litros por kilogramo de hidrógeno.

España cuenta con áreas con un alto estrés hídrico. La utilización del agua para producir H₂ debe ser compatible con las necesidades ecosistémicas y con otros consumos, tanto agrícolas como domésticos e industriales, tanto si se parte de aguas residuales desaladas, como de agua dulce.

Evaluación de materias primas para SAF

El Reglamento ReFuelEU Aviation categoriza los combustibles de aviación sostenibles según la naturaleza de las materias primas y los vectores de energía utilizados en su producción (principalmente biocombustibles y combustibles sintéticos). El Anexo IX de la RED es la referencia legislativa que lista las materias primas dependiendo de la madurez de las tecnologías que las emplean, y determinando si pertenecen a la Parte A (avanzada) o a la Parte B (madura) respectivamente (ver [Anexo II](#)).

Al evaluar una materia prima para los SAF, hay varias **consideraciones que deben tenerse en cuenta**:

- Descripción de la materia prima, proceso(s) de producción y posibles usos.
- Alineación de la materia prima con los principios de economía circular y la jerarquía de residuos. El enfoque de la UE hacia la economía circular depende principalmente de la necesidad de reducir los residuos y prolongar el uso de materiales de los productos tanto como sea posible antes de ser preferiblemente reciclados.

¹⁷ Reglamento Delegado (UE) 2023/1185 de la Comisión de 10 de febrero de 2023 que completa la Directiva (UE) 2018/2001 del Parlamento Europeo y del Consejo estableciendo un umbral mínimo para la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero aplicable a los combustibles de carbono reciclado y especificando una metodología para evaluar la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero derivada de los carburantes líquidos y gaseosos renovables de origen no biológico y de los combustibles de carbono reciclado

¹⁸ [Water for hydrogen production, IRENA](#)

- Cumplimiento de los criterios de sostenibilidad y ahorro de emisiones de gases de efecto invernadero en comparación con los combustibles fósiles.
- Priorización del uso de residuos, excluyendo aquellos que compiten con el consumo humano.

Un elemento clave del Reglamento ReFuelEU Aviation es la exclusión de los cultivos alimentarios y forrajeros, y por lo tanto de los biocombustibles tradicionales de primera generación hechos a partir de estos cultivos. De este modo se garantiza que la producción de SAF y la descarbonización del sector de la aviación no impacte en la producción de alimentos y forraje y, por lo tanto, en la seguridad alimentaria. Además, se establecen requisitos adicionales, como la exigencia de cumplir con estrictos estándares de sostenibilidad y de asegurar un ahorro mínimo en las emisiones de gases de efecto invernadero durante todo el ciclo de vida, del 65% para biocombustibles y del 70% para combustibles sintéticos. Esto se garantiza certificando los biocombustibles bajo un esquema de gestión de la sostenibilidad que esté aprobado por la Comisión Europea.

Disponibilidad de materias primas

Actualmente, los usos energéticos, incluyendo la producción de biocombustibles, representan el 22% del uso de la biomasa disponible¹⁹, mostrando una clara tendencia al aumento de su demanda en la UE en los últimos años. Se espera que esta tendencia al alza en la demanda de las materias primas de biocombustibles continúe en los próximos años, como consecuencia de las políticas y objetivos establecidos por los países, entre ellos España, para apoyar la descarbonización. Lógicamente, **la disponibilidad de biomasa sostenible es un factor clave para el logro de los objetivos de SAF**. Un informe del Centro Común de Investigación de la UE²⁰, publicado en 2023, proporciona una evaluación actualizada del suministro, usos y flujos de **biomasa en la Unión Europea en la actualidad**. El informe cuantificó en 1,2 millones de toneladas la disponibilidad total de biomasa en la UE, 264 Mt de ellas dedicadas a biocombustibles, procediendo el 70% de las mismas del sector agrícola (incluidos los alimentos) y el 27% del sector forestal.

Los residuos orgánicos de la agricultura, la industria y los hogares totalizaron alrededor de 147 Mt en 2018, con una recuperación del 90%, dando indicación de la importancia de esta partida como materias primas para biocombustibles, entre ellos los SAF.

La movilización de la biomasa depende de las prácticas agrícolas y forestales, de la proporción de tierras no utilizada, abandonada o degradada que se dedicara a los cultivos de la biomasa, y al grado de utilización de residuos y desechos.

Para comprender la disponibilidad futura de la biomasa adecuada para la producción de SAF, se han publicado varios estudios, en los últimos años, cada uno utilizando diferentes suposiciones, restricciones y modelos. Recientemente, el Imperial College de Londres ha realizado una evaluación de la disponibilidad potencial futura de biomasa sostenible en Europa, centrándose en las materias primas nacionales de origen agrícola, forestal y de residuos incluidas en el Anexo IX de la RED (Partes A y B, en su

¹⁹ [Suministro y usos de la biomasa en la UE' del Centro Común de Investigación](#)

²⁰ [Suministro y usos de la biomasa en la UE' del Centro Común de Investigación](#)

versión previa a la última modificación del mismo²¹), y considerando tres escenarios potenciales para el futuro (alta, media y baja movilización de biomasa). Por otro lado, este ejercicio de predicción de las materias primas futuras se desarrolló bajo varios supuestos clave, incluida una fuerte voluntad política para lograr los objetivos del Pacto Verde Europeo, el impacto positivo de la recuperación económica de COVID-19 en el despliegue de biomasa y el marco regulatorio de RED y el Anexo IX. Los escenarios también consideraron el concepto de biocombustibles de bajo riesgo de cambio indirecto del uso de la tierra (ILUC) y tuvieron como objetivo evitar impactos negativos en la biodiversidad.

El estudio estimó que el potencial de biomasa sostenible para bioenergía, después de excluir los usos no energéticos, osciló entre 210 y 340 Mtep en 2030 y entre 215 y 360 Mtep en 2050 aproximadamente.

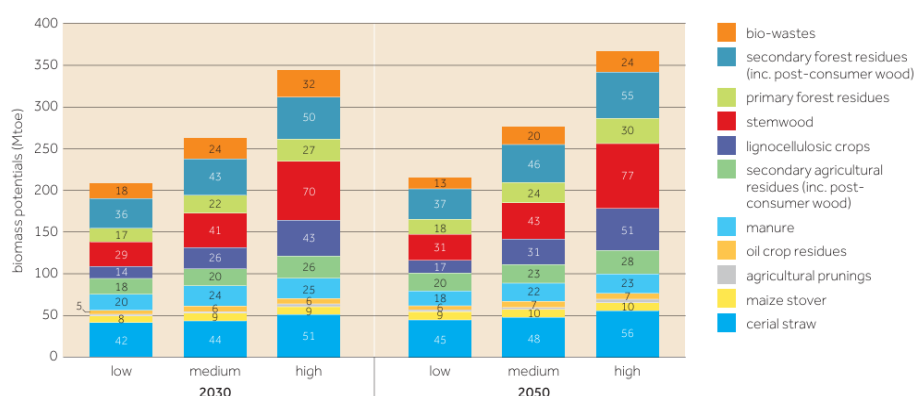


Figura 10 – Potencial de biomasa sostenible para bioenergía. Fuente: 'Suministro y usos de la biomasa en la UE' del Centro Común de Investigación

Los potenciales de materias primas entre 2030 y 2050 son muy similares, a pesar de las mejoras anticipadas en la movilización de biomasa y la innovación. Esto se atribuye a varios factores:

- Fuerte presión sobre el uso sostenible de la tierra y los recursos hídricos, con una reducción proyectada del 30% en la tierra cultivable para 2050.
- La lenta naturaleza de las mejoras en el manejo forestal debido a los largos ciclos de crecimiento.
- Mayor conciencia de la necesidad de reducir los residuos y fuertes compromisos con el reciclaje.

Es importante destacar que este potencial de biomasa para bioenergía podría utilizarse para otros sectores distintos del transporte, como energía, industria, servicios, agricultura y calefacción residencial. Descontando estos usos no relacionados con el transporte, y añadiendo las importaciones de biomasa, la **biomasa neta estimada disponible para la producción de biocombustibles para el transporte oscila entre aproximadamente 126 y 262 Mtep en 2030 y entre 101 y 252 Mtep en 2050**.

21 Imperial College London, (2021). Sustainable biomass availability in the EU: Part I and II. <https://www.concawe.eu/wp-content/uploads/Sustainable-Biomass-Availability-in-the-EU-Part-I-and-II-final-version.pdf>

En España, según un informe de Agroalnext²², el potencial de disponibilidad actual de biomasa es de 54,78 Mt/año. Los residuos y subproductos de agricultura y silvicultura constituyen la mayor parte de estos materiales, con la paja de cereal sobresaliendo como una agrupación especialmente significativa, representando el 59% (32,29 Mt) del total de residuos inventariados. Los residuos ganaderos ocupan el segundo lugar en términos de importancia, con una cantidad sustancial de 11,87 Mt.

Un **informe del Consejo Internacional del Transporte Limpio**²³ estimó que en 2030 la mayor parte de la biomasa disponible para la producción de SAF será residuos agrícolas (83.7 Mt) y residuos sólidos urbanos (21.2 Mt).

Materia prima	Cantidad de materia prima disponible (Mt)	Producción máxima de SAF (Mt)	% 2030 Demanda de combustible para aviones
Grasas residuales, aceites y grasas	2.4	1.2	1.9%
Residuos agrícolas, cultivos de cobertura	83.7	0.9	1.4%
Residuos forestales	5.1	0.2	0.3%
Residuos municipales e industriales	21.2	0.3	0.4%
Gases de combustión industriales	12.1	0.8	1.2%
Electrocombustibles	-	0.1	0.2%
Total	124.4	3.4	5.5%

Figura 11 – Producción y contribución de SAF al total de la demanda de combustible para aviación en la UE por materia prima en 2030. Fuente: Informe del Consejo Internacional del Transporte Limpio

En cuanto a la producción de SAF, además de la disponibilidad total de materia prima, el análisis considera también la madurez de las diferentes rutas tecnológicas, estimando que la mayor contribución a su producción en 2030 provendrá de aceites y grasas usados. Pueden consultarse en el [Anexo V](#) los volúmenes de materias primas para la producción de SAF en función de la ruta tecnológica.

²² [Evaluación de biomasa potencial en España a nivel provincial](#), Agroalnext (2023)

²³ [Informe del Consejo Internacional del Transporte](#) ICCT (2021)

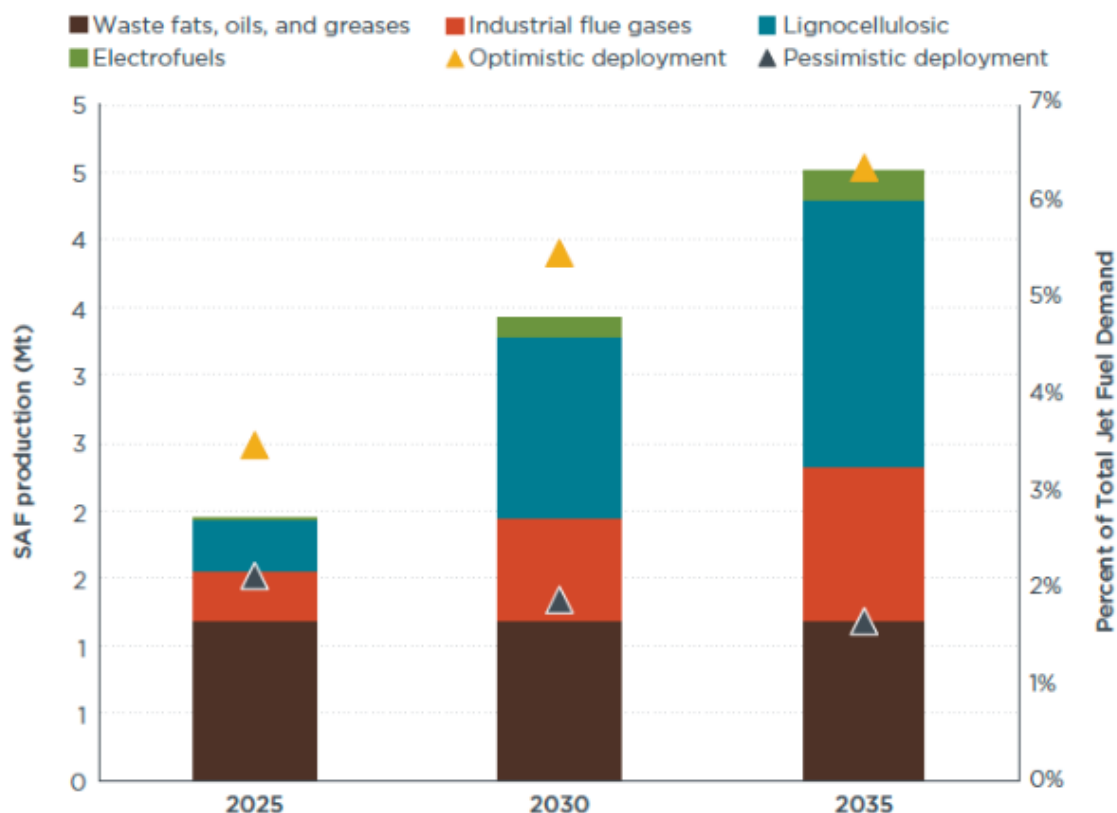


Figura 12 – Producción anual estimada de SAF (eje de la izquierda) y porcentaje sobre el total de la demanda de combustible para aviación según el escenario de éxito del despliegue tecnológico (eje de la derecha). Fuente: Informe del Consejo Internacional del Transporte Limpio

En el estudio, se consideran dos escenarios de desarrollo de SAF. En el escenario optimista, la puesta en marcha de políticas ambiciosas maximiza el desarrollo de nuevas rutas de producción y facilitan la priorización de la biomasa para producir SAF, lo que resulta en una producción estimada de SAF que en 2030 cubriría el 5,5% de la demanda de Jet-A1 en Europa. En el escenario pesimista, las materias primas se utilizan prioritariamente para producir otros combustibles líquidos, resultando en una producción de SAF que cubriría el 1,9% de la demanda de combustible de aviación europea.

Reconociendo las incertidumbres en la disponibilidad de biocombustibles avanzados y combustibles sintéticos, y la necesidad de priorizar su uso en sectores difíciles de descarbonizar, la RED aplica un multiplicador de 1,5 a combustibles sintéticos renovables (RFNBO) y de 1,2 a biocombustibles avanzados (Anexo IX, Parte A) cuando se usan en los sectores de aviación y transporte marítimo siempre y cuando no se produzcan a partir de cultivos alimentarios ni forrajeros.

Limitaciones actuales, inversiones requeridas y riesgos

La limitación actual de materias primas para SAF requiere afrontar los riesgos e incertidumbres asociados a la eficiencia de las cadenas de suministro, sus costes, y los potenciales riesgos asociados a su sostenibilidad.

El desarrollo de **cadenas de suministro** de materias primas para SAF plantea oportunidades y desafíos que tienen que ser afrontados por el conjunto de la sociedad española:

- La biomasa agrícola sufrirá presión para su desarrollo en energía de otras aplicaciones medioambientalmente positivas, como la captura de carbono o la degradación de los suelos, por erosión, salinización o desaparición de nutrientes. Para evitar estos riesgos, debe invertirse en nueva maquinaria agrícola, así como en nuevas prácticas de cultivo eficiente que maximicen la eficiencia de los cultivos actuales, asegurando la transmisión del conocimiento mediante nuevas tecnologías a nuevas generaciones de agricultores. Del mismo modo, inversión en nuevas variedades de especies adaptadas a las condiciones agronómicas locales.
- La biomasa forestal está amenazada por las sequías originadas por el cambio climático, que reducen su crecimiento y aumentan el riesgo de incendios, especialmente en el sur de Europa. Existe un potencial no utilizado en toda Europa que podría aprovecharse mediante el desarrollo y uso de tecnologías para acceder a terrenos difíciles, por ejemplo, laderas pronunciadas (especialmente en Europa central y meridional). Los bosques y el sector forestal podrían beneficiarse de mejoras en su gestión, ya que reduce el riesgo de incendios, protege contra plagas y enfermedades y proporciona materia prima para la industria forestal.
- Los biorresiduos reducirán su disponibilidad para la producción de bioenergía, debido al aumento de la concienciación sobre la reducción de residuos y el aumento de las tasas de reciclaje. Sin embargo, es posible que los esquemas mejorados de recolección de biorresiduos en los Estados miembros creen oportunidades para acceder directamente a los biorresiduos. Es necesario realizar inversiones en el aumento de la concienciación sobre la recogida y separación de biorresiduos entre el público, mejorar los sistemas de recogida y selección de residuos, así como utilizar tecnologías modernas de separación industrial para maximizar el rendimiento de los residuos orgánicos de los flujos de residuos mixtos.

Los costes de la biomasa son una de las principales barreras para su desarrollo.

Con una demanda creciente, estos precios se espera que aumenten, estando sometidos a una importante volatilidad. Para reducirlos es esencial el desarrollo de las cadenas de suministro, tal y como se ha explicado en el párrafo anterior, para ir creando un mercado competitivo, al tiempo que, gracias a la tecnología, se habilitan nuevas materias primas de calidad mejorada.

Respecto a los riesgos asociados con las características de **sostenibilidad de las materias primas**, es crucial que todos los actores implicados sigan trabajando en la mejora continua de los sistemas de gestión de la sostenibilidad, proporcionando sistemas de auditoría y verificación robustos para minimizar este riesgo.

La Comisión Europea²⁴ en preparación de la revisión del Anexo IX de la RED, realizó un **informe analizando los impactos asociados a las nuevas materias primas**.

Este análisis incluye la alineación con los principios de la economía circular y la jerarquía de residuos, el posible cumplimiento de los criterios de sostenibilidad, el posible ahorro de emisiones de gases de efecto invernadero en comparación con los combustibles fósiles y otros impactos negativos sobre el medio ambiente y la biodiversidad. Del mismo modo, evaluó el riesgo de distorsión del mercado y el potencial de desencadenar impactos ambientales o socioeconómicos indirectos negativos adicionales, además de la necesidad de tierra adicional, junto con los potenciales riesgos de fraude con las materias primas y las posibles medidas de mitigación de los mismos.

En este estudio, algunas materias primas suscitaron preocupación acerca de uno o más de uno de estos criterios de evaluación. Las medidas de mitigación frente a los riesgos evaluados se centraron en hacer más robustas las reglas de certificación de las materias primas.

La citada **Directiva Delegada 2024/2405, que recoge las nuevas materias primas introducidas en el Anexo IX**, tuvo en cuenta los resultados de este informe de análisis de los impactos asociados a las materias primas, e introdujo algunas nuevas materias primas, con las condiciones requeridas para asegurar la protección contra los riesgos que se habían identificado.

Con este objetivo, recientemente se ha puesto en marcha **la base de datos de la UE**, que es una herramienta de trazabilidad global cuyo objetivo es rastrear los movimientos de biocombustibles y sus materias primas desde su generación hasta que el biocombustible es empleado por el consumidor final. Con una trazabilidad completa de la cadena de suministro se minimiza el riesgo de irregularidades y fraudes.

Otro elemento esencial para la movilización de materias primas para SAF es la **inversión en I+D e innovación tecnológica**. La tecnología actual, en especial la pirólisis en España, están consiguiendo resultados de rendimiento y calidad cada vez mejores, con un desarrollo en I+D+i puntero en Europa, si bien dichos procesos son muy dependientes de la calidad de la materia prima de entrada.

2.3. Logística

La compatibilidad de los SAF con los combustibles convencionales es una ventaja intrínseca para su desarrollo y despliegue, ya que permite utilizar las actuales infraestructuras logísticas de combustible de aviación sin inversiones adicionales.

En este apartado se proporciona una visión integral de la logística de los combustibles para la aviación en España, destacando la importancia de un almacenamiento seguro y eficiente, la red logística de Exolum, los requisitos normativos para los combustibles de aviación sostenibles, y las necesidades de adaptación de la infraestructura logística para manejar estos combustibles. Se enfatiza en la homogeneidad de los productos y en la eficiencia y sostenibilidad del sistema de transporte y almacenamiento.

Descripción del sistema de almacenamiento y transporte de combustibles para la aviación en España

²⁴ <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/ec9c1003-76a7-11ed-9887-01aa75ed71a1/language-en> p 145-152

Descripción del almacenamiento en el punto de producción

Las plantas de producción (ya sean de combustibles convencionales como de combustibles sostenibles) necesitan disponer de una capacidad de almacenamiento suficientes para cubrir sus necesidades logísticas y regulatorias:

- Capacidad de almacenamiento de materias primas.
- Capacidad de almacenamiento y mezclas de productos intermedios.
- Capacidad de almacenamiento de productos terminados.
- Conexiones logísticas para la recepción y expedición de productos (por transporte marítimo, terrestre, ferroviario o por oleoducto).

La capacidad de almacenamiento debe ser suficiente para cubrir tanto los stocks operativos de cada planta (con los márgenes de seguridad que cada operador establezca), como los requisitos de reservas estratégicas fijados por CORES (destinados a mantener la seguridad de suministro en el territorio nacional). Debe asimismo permitir llevar a cabo los mantenimientos y revisiones programadas de cada tanque sin poner en riesgo la operativa rutinaria de la planta.

Los tanques de almacenamiento son necesarios para la conservación en condiciones de seguridad de diversos productos necesarios durante el proceso de fabricación o resultantes de ello. Permiten el acceso al producto garantizando la continuidad de la producción, así como el mantenimiento de las propiedades de los productos (evitando entre otros la evaporación, contaminación, estratificación) y asegurando que se cumplen los requisitos de seguridad aplicables a cada producto (ya sea por riesgos para la salud, riesgos de explosión o riesgos para el medio ambiente entre otros).

Cada tanque tendrá las conexiones, tamaño e infraestructura adecuados a tipos concretos de producto y a partes concretas del proceso (por ejemplo, habitualmente los tanques de materia prima se encontrarán próximos a las terminales marítimas, mientras que los cargaderos de cisternas se encontrarán próximos a los tanques de productos terminados).

De cara a las plantas de producción de biocombustibles, la mayor diferencia en cuanto a la logística respecto de una planta tradicional radica en la metalurgia empleada, dada la diferente composición de las materias primas. Es necesario verificar que estas son compatibles con los materiales de construcción de las tuberías y tanques, así como con los materiales elastómeros presentes en las juntas.

Otro aspecto importante que debe garantizarse en el punto de producción es la homogeneidad en los tanques, la estratificación no es aceptable en este caso. La mezcla de los SBC con el queroseno puede realizarse mediante mezcla en línea (recomendable) o mezcla secuencial por lotes, siendo en este segundo caso necesario disponer de difusores o sistemas de recirculación para cumplir los requisitos de homogeneidad.

Logística en la red de Exolum

La red logística en España está liderada por el sistema logístico de Exolum, que cubre la gran mayoría de la Península Ibérica e Islas Baleares. Su red de infraestructuras está formada por más de 4.000 kilómetros de oleoductos y 39 instalaciones de almacenamiento, con una capacidad de 8 millones de metros cúbicos.

Los oleoductos conectan las refinerías y puertos directamente con las instalaciones de almacenamiento intermedias desde donde se suministra el producto a las instalaciones

de almacenamiento aeroportuarias, ya sea a través de oleoducto o camiones cisterna para aquellos aeropuertos que no estén directamente conectados a la red.

En la siguiente infografía se puede apreciar las instalaciones que componen la red de Exolum, así como las refinerías e instalaciones aeroportuarias que abastecen la red.

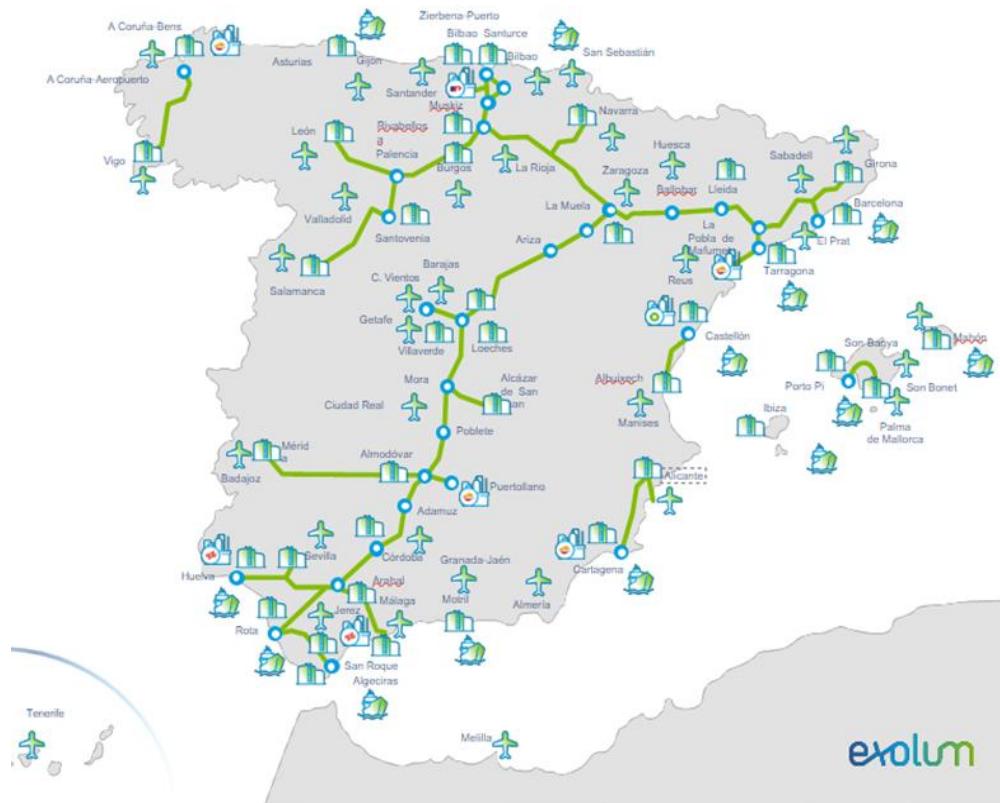


Figura 13 - Fuente: Exolum

Su modelo de funcionamiento en España integra las actividades de almacenamiento y transporte, lo que le permite operar como un banco de combustibles y carburantes líquidos y ser una de las pocas empresas del mundo que ofrece el servicio de acreditación instantánea.

Es decir, cualquier operador puede depositar su combustible o biocombustible en una planta y recogerlo, de forma inmediata, en una instalación de otra zona geográfica, según sus necesidades.

La red logística conectada en su mayoría por oleoducto permite el movimiento de cualquier combustible manejado en la red por toda la Península y Baleares de manera eficiente y reduciendo al mínimo el número de desplazamientos por carretera. Se estima que mediante la utilización de esta red logística se evitan en torno a 400.000 toneladas de CO₂ al año en comparación con el hipotético traslado del combustible mediante camiones cisterna por carretera.

Logística fuera del sistema Exolum

Existe un porcentaje muy pequeño fuera de esta red que pueda abastecer pequeños aeropuertos o aeródromos o puntualmente a algún aeropuerto como es el de Castellón o el aeropuerto de Corvera (Murcia), entre otros. En la península ese porcentaje es cercano a cero, prácticamente todo el queroseno que se suministra sale de la red de Exolum. En la mayoría de los aeropuertos el suministro de combustible es con camión cisterna por carretera, desde el punto más cercano a la red, a excepción de los aeropuertos más importantes donde el suministro se realiza con tubería dedicada.

Si se tienen en cuenta también las islas Canarias, supone un porcentaje en torno al 17% de las salidas totales de queroseno en España.

A efectos de SAF, dicha logística no supone variaciones relevantes respecto a la actual para el combustible convencional.

Fundamentos normativos y requisitos de manejo y distribución de los distintos tipos de SAF

La norma EI 1533 Ed 1 (*Quality assurance requirements for semi-synthetic jet fuel and synthetic blending components* (SBC)), elaborada por el Comité de Aviación del Energy Institute, y que complementa a la norma EI/JIG 1530 (*Quality assurance requirements for the manufacture, storage and distribution of aviation fuel to airports*), establece las pautas para el manejo del SAF, entre las que destacan:

- Los SBC deben analizarse con una serie de propiedades extra definidas en ASTM D7566 previamente a su mezcla y, por tanto, se requiere un tanque específico para ellos.
- En el punto de fabricación el queroseno convencional con el que se mezcle el SBC debe estar dentro de unos márgenes en parámetros de la especificación, como el contenido de aromáticos (al menos un 8% en la mezcla final).
- Debe garantizarse la mezcla y evitar estratificaciones debidas a las diferencias de densidades (en los tanques de fabricación no se permite la estratificación).
- En un mismo tanque de SBC no se puede mezclar más de un tipo de SBC (correspondiente a cada uno de los 8 anexos actualmente aprobados).
- En un mismo tanque de fabricación de SAF-semisintético tampoco se puede mezclar más de un tipo de SBC.
- En el punto de producción se puede utilizar un queroseno que contenga coprocesado para mezclar con SBC y generar SAF-semisintético (se recomienda tener en cuenta ese contenido de materias no convencionales coprocesadas como parte del SBC máximo en la mezcla final).
- Una vez analizado un SBC y mezclado con combustible fósil, se podría mezclar aguas abajo con otro SBC, según ASTM D1655 (*Standard Specification for Aviation Turbine Fuels*), y según Def Stan 91-091.
- Dos SAF-semisintéticos que contengan SBC de distintos Anexos procedentes de mezclas que se hayan hecho aguas arriba se pueden mezclar tanto en instalaciones intermedias como en aeropuerto.
- Otros aspectos sobre el manejo de un combustible semisintético son idénticos al de queroseno convencional (equipos de filtración, controles de calidad, ...).

El siguiente esquema resume los requisitos más relevantes en la cadena de distribución del SBC:

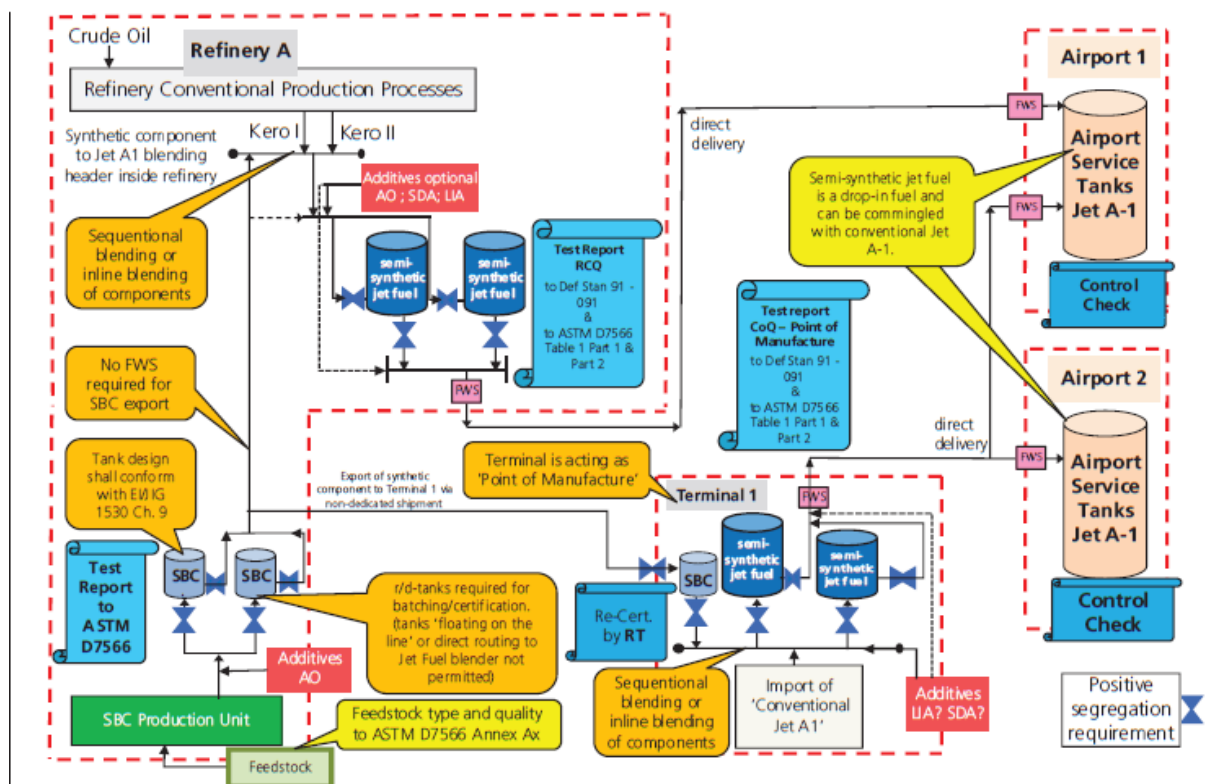


Figura 14 - Producción y exportación de SBC, fabricación (*blending*) de SAF-semisintético en las refinerías y/o terminales (donde Def Stan 91-091 sea de aplicación). Fuente: EI1533 Quality assurance requirements for semi-synthetic jet fuel and synthetic blending components (SBC) 1st edition

Los criterios de manejo de estos combustibles pueden modificarse, ya que es previsible que la norma EI 1533 se actualice conforme se adquiera experiencia en el manejo de estos combustibles o se produzcan modificaciones en otras normas que regulan las especificaciones de los combustibles de aviación como son la Def Stan 91-091, ASTM D1655 o ASTM D7566 entre otras.

Necesidades de desarrollo/adaptación de las infraestructuras logísticas

Como se ha comentado anteriormente, son necesarias algunas consideraciones para almacenar SBC, como es la compatibilidad de materiales. El SBC es un componente de mezcla y no un combustible “*drop-in*” certificado para ser utilizado en aviones puro, por tanto, los tanques de SBC tienen que estar diseñados como tanques de productos de no aviación y les aplican los mismos requisitos de segregación, por ejemplo, separación de los tanques de envío directo al aeropuerto.

Otro punto relevante es la necesidad de garantizar la homogeneidad en el punto de fabricación de los combustibles semisintéticos, siendo necesario instalar los sistemas de mezcla que garantizan que no hay estratificación en los tanques.

En cuanto al transporte y almacenamiento del SAF hasta el aeropuerto, una vez certificado como combustible de aviación no requiere adaptaciones en la infraestructura, ya que a efectos de producto se considera que no hay diferencia en relación con el producto convencional, ni requiere líneas de transporte independientes. Podría tener una afección mayor en el punto de producción del SAF según las necesidades de

almacenamiento que puedan tener las diferentes materias primas utilizadas en la producción.

No obstante, como se detallará en el punto de certificación ([apartado 5](#)), es necesario mantener la trazabilidad y las características de sostenibilidad a lo largo de la cadena logística. Adicionalmente, el Reglamento RefuelEU Aviation requiere un reporte adicional de propiedades, lo que supone la necesidad de realizar desarrollos adicionales en la cadena logística para poder facilitar esta información en los puntos de envío al aeropuerto.

3. Implicaciones de los SAF

La introducción del SAF tiene **implicaciones significativas más allá de los sectores asociados tradicionalmente a la aviación.**

Estas implicaciones, para dar una visión extensa y clara de las mismas, se clasifican en 10 categorías:

- [Ecosistémicas.](#)
- [Mercado de combustibles.](#)
- [Emisiones netas de CO₂.](#)
- [Calidad del aire y efectos no CO₂.](#)
- [Compatibilidad con la tecnología actual.](#)
- [Madurez Tecnológica.](#)
- [Tramitación administrativa.](#)
- [Seguridad de suministro e independencia energética.](#)
- [Tejido económico, industrial y empleo.](#)
- [Costes operativos.](#)

3.1. Ecosistémicas

La producción del SAF, como la de cualquier producto, tiene implicaciones ecosistémicas que deben analizarse, tanto local como globalmente.

Partiendo de la definición de SAF establecida por el Reglamento ReFuelEU Aviation y sus criterios de sostenibilidad asociados, se analizan las implicaciones asociadas a las materias primas necesarias. Las implicaciones ecosistémicas asociadas a las plantas de producción no son analizadas ya que no presentan diferencias reseñables frente a una instalación industrial química energética.

La adecuada utilización de las materias primas requeridas para la producción de SAF es un factor clave para cumplir los criterios de sostenibilidad y obtener las certificaciones exigidas. Parte de las materias primas orgánicas están asociadas al entorno rural y agrario, lo que puede suponer una oportunidad para muchas regiones. Su utilización debe contribuir a la llamada transición justa y a fijar población en estos territorios, además de ser compatibles con los ecosistemas, minimizando los riesgos de impactos negativos para la biodiversidad.

La extensión del uso de estas materias no puede dañar los ecosistemas locales y debe contribuir a su cuidado y conservación. Un buen ejemplo, son las limpiezas forestales, que contribuyen a reducir los riesgos de incendios.

En el caso de los eSAF, el recurso hídrico es fundamental. En zonas hídricamente estresadas no debe usarse “agua limpia” de acuíferos/ríos, sino aguas “grises” procedentes de otros procesos que no puedan retornarse a los acuíferos.

Se centra el análisis en los siguientes 3 impactos:

Cambio de uso del suelo

Se parte de la premisa de que las materias primas empleadas, ya sean de producción autóctona o importadas, son elegibles para el cumplimiento de ReFuelEU Aviation, reduciendo con ello significativamente los impactos relacionados con el cambio de los usos del suelo.

Es importante prestar atención por sus mayores riesgos en este sentido, a las materias primas incluidas en la parte A del Anexo IX de la RED, como son los cultivos energéticos celulósicos (por ejemplo sorgo y cáñamo) y los cultivos energéticos leñosos (por ejemplo, sauce, álamo o eucalipto, dependiendo del lugar), que sólo son elegibles cuando se acredite que han sido cultivados en tierras no destinadas a la agricultura, abandonadas o marginales y en ningún caso en terrenos con vocación de conservación y recuperación forestal.

Una elección adecuada de los lugares de ubicación de estos cultivos energéticos, con una gestión respetuosa con el suelo de las plantaciones forestales ya existentes, serían complementarios a los cultivos agrícolas destinados a la alimentación y forestales, y tendrían un efecto netamente positivo en la conservación del suelo y la fijación y de la población rural.

Biodiversidad

Se debe respetar la diversidad y la estructura del territorio. La utilización de fertilizantes y sustancias para mejorar la productividad de las materias primas deben cumplir la normativa fitosanitaria, reduciéndose su uso al mínimo posible, debido a su impacto en la biodiversidad.

Por otro lado, la elección de nuevos cultivos tiene impacto en la flora y la fauna locales, y la correcta ubicación y adecuada gestión contribuyen a conservar el tradicional paisaje rural en mosaico, que es altamente beneficioso para la conservación de la biodiversidad. Es recomendable la elaboración de estudios de biodiversidad que certifiquen una contribución local positiva.

Las energías renovables necesarias para la elaboración de SAF pueden producir impactos ambientales relevantes sobre la biodiversidad, por lo que es necesario analizarlos en profundidad. Es posible que una instalación de renovables mejore la biodiversidad de la zona con una gestión adecuada.

Agua

El agua, como se ha mencionado en el [apartado 2.2](#), es una materia prima necesaria para la producción de SAF.

España es un país con zonas que sufren alto estrés hídrico, por lo que es preciso considerar este factor al elegir las zonas donde se implanten cultivos con fines energéticos. Según la Agencia Internacional de Energía Renovable, es probable que más del 46% de los proyectos de hidrógeno planificados en España se ubiquen en zonas de gran escasez de agua de aquí a 2040²⁵.

²⁵ <https://www.irena.org/Publications/2023/Dec/Water-for-hydrogen-production>

3.2. Mercado de combustibles

El SAF es un producto relativamente nuevo en los mercados internacionales de combustibles, con unos volúmenes muy bajos en comparación con el Jet-A1 (IATA prevé triplicar en 2024 la producción de 2023, alcanzar 1875 Millones de litros, y llegar al 0,53% de la necesidad de combustibles para aviación²⁶).

Para establecer una referencia entre las cotizaciones de SAF y el combustible Jet-A1 se puede emplear, entre otras fuentes, el índice Platts. En la siguiente gráfica se muestra la diferencia de coste entre SAF y queroseno convencional.

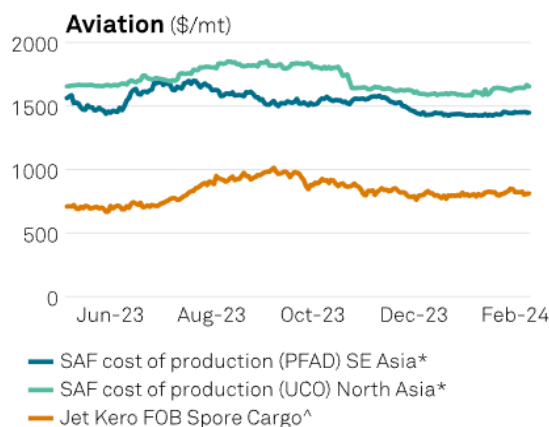


Figura 15 – Costes de producción de SAF y queroseno. Fuente: [S&P Global Commodity Insights](#)

En su memoria de 2024²⁷, IATA ha estimado un consumo mundial entre 450-500 Kt de SAF durante 2023 con un precio medio 2,8 veces superior al combustible de aviación convencional.

En el [Anexo IV](#) (costes asociados a la producción de SAF) se presenta la **información publicada por la OACI**, que ayuda a entender las magnitudes y métricas más relevantes. Las principales conclusiones que se desprenden son:

- Alta variabilidad en los costes de materias primas, con rendimientos diferentes, siendo el hidrógeno verde el que presenta mayores costes actualmente.
- Las necesidades de inversión de capital en las plantas varía igualmente con la tecnología y las materias primas. HEFA y AtJ presentan las menores necesidades de inversión.
- Amplio rango de costes de producción, alcanzando una ratio de 30 a 1, en los casos más extremos.

Por otro lado, la **relación oferta/demanda viene determinada por las variables que influyen en la producción y en el consumo**:

- **Materias primas:** El SAF puede producirse usando diferentes materias primas, siendo el proceso de fabricación diferente en función de estas y por extensión la capacidad de mezcla con Jet-A1 convencional. No todas las rutas de fabricación de SAF han alcanzado el mismo grado de desarrollo tecnológico y comercial. La ruta de producción de HEFA (ruta lipídica) es de las tecnologías más maduras y

²⁶ <https://h2businessnews.com/iata-en-2023-se-duplico-la-produccion-mundial-de-saf/>

²⁷ [Annual Review 2024](#), IATA (2024)

disponibles a nivel comercial, pero hay limitaciones en cuanto a la disponibilidad de materias prima (información más detallada en el [apartado 2.2](#)). En el [Anexo IV](#), Tabla 1, aparecen como referencia los costes de las diferentes materias primas publicados por la OACI. La volatilidad en los mercados y su disponibilidad genera incertidumbre por la disponibilidad de estas. La aviación es un sector de difícil descarbonización con un limitado número de rutas para producir combustibles sostenibles por lo que la disponibilidad de materias primas es un punto que requiere una especial atención.

- Tecnología de producción: Existen diferentes rutas aprobadas y certificadas (consultar en el [Anexo IV](#)) cuyo grado de madurez y sus posibilidades de escalado y desarrollo difieren. Las inversiones económicas necesarias para iniciar la producción de SAF son muy elevadas (centenares de millones de euros) y requieren largos periodos para obtener rentabilidad económica, por lo que la estabilidad regulatoria es importante para promoverlas.
- Diferentes legislaciones y/o regulaciones: La ausencia de un marco único, intersectorial, a nivel mundial genera circunstancias de desigualdad que se traducen en mercados fragmentados, aparición de barreras regulatorias, y dificultades para el reconocimiento mutuo de certificaciones entre diferentes regiones. Fomentar la cooperación internacional y desarrollar marcos regulatorios estables y coordinados facilita el crecimiento del mercado de SAF.
- Incentivos y/o ayudas: Es necesario desarrollar mecanismos que ayuden a escalar más rápidamente la producción/consumo y con ellos reducir costes para hacer estos combustibles más competitivos económicamente (consultar el [apartado 4.4](#) para más información).
- Diferencial cotización SAF – Jet-A1: Junto con la escasez de oferta, el diferencial es la principal barrera en la actualidad para el consumo del SAF. Según IATA, el combustible supone, aproximadamente, un 30% de los costes operativos de las aerolíneas. Esta diferencia en el coste, si no se mitiga, es probable que se traslade al precio del billete de los usuarios, haciendo que estos opten por rutas con más emisiones de CO₂ y precios menores.

3.3. [Huella de carbono. Emisiones netas de CO₂eq](#)

La reducción de emisiones de los SAF, en comparación con el queroseno de origen fósil, se da a nivel del ciclo de vida completo: extracción de materias primas, producción, transportes y consumo del combustible.

Las dos principales referentes para el cálculo de emisiones de CO₂eq durante el ciclo de vida son CORSIA y la RED, midiendo las intensidades de emisiones en gCO₂/MJ.

CORSIA describe cómo se debe hacer este cálculo para combustibles SAF, permitiendo el uso de valores de referencia o el cálculo real de la intensidad de emisiones en cada uno de los pasos de producción y consumo del combustible²⁸.

²⁸ https://www.icao.int/environmentalprotection/pages/SAF_LifeCycle.aspx

Sin embargo, **en este documento detallamos el mecanismo establecido por la RED para el caso de los biocombustibles, a modo de ejemplo.**

Una buena referencia es la guía publicada por ISCC²⁹ en la que se detalla cómo se debe hacer el cálculo para cada uno de los puntos del ciclo de vida completo.

Entrando en mayor detalle, y tratando de resumir los puntos principales, el cálculo de las emisiones GEI derivadas de la producción y consumo de los biocombustibles se deben calcular del siguiente modo (extraído de la RED):

$$E = e_{ec} + e_l + e_p + e_{td} + e_u - e_{sca} - e_{ccs} - e_{ccr}$$

Siendo:

- E, las emisiones totales procedentes del uso del combustible
- e_{ec} , las emisiones procedentes de la extracción o del cultivo de las materias primas
- e_l , las emisiones anualizadas procedentes de las modificaciones en las reservas de carbono causadas por el cambio en el uso de la tierra
- e_p , las emisiones procedentes de la transformación
- e_{td} , las emisiones procedentes del combustible durante su consumo
- e_u , las emisiones procedentes del transporte y la distribución
- e_{sca} , la reducción de emisiones derivada de la acumulación de carbono en el suelo mediante la mejora de la gestión agrícola
- e_{ccs} , la reducción de emisiones derivada de la captura y el almacenamiento geológico del CO₂
- e_{ccr} , la reducción de emisiones derivada de la captura y sustitución del CO₂.

De este modo, una vez se calculan las emisiones en cada uno de los pasos descritos anteriormente, se debe comparar con los valores de referencia del queroseno de origen fósil para poder calcular cual es el porcentaje real de reducción de emisiones a lo largo del ciclo de vida completo:

$$\text{REDUCCIÓN} = (E_{F(t)} - E_B) / E_{F(t)}$$

siendo:

- E_B , las emisiones totales procedentes del biocarburante
- $E_{F(t)}$, las emisiones totales procedentes del combustible fósil de referencia para el transporte.

La referencia de emisiones del combustible fósil es de 94 gCO₂eq/MJ según RED III, mientras que en CORSIA se define un valor de 89 gCO₂eq/MJ.

Es importante mencionar, que los gases de efecto invernadero que se deben de tener en cuenta serán CO₂, óxido nitroso (N₂O) y metano (CH₄), siendo la equivalencia entre ellos la siguiente:

CO₂: 1

N₂O: 298

CH₄ :25

²⁹ [ISCC EU 205 – Greenhouse Gas Emissions](#)

3.4. Calidad del aire y efectos no CO₂

Además del CO₂, el transporte aéreo emite otros gases y partículas, en su mayor parte producto de la combustión dentro de los motores de los aviones. Entre estas sustancias se encuentran los óxidos nitrosos (NO_x), óxidos de azufre (SO_x), monóxido de carbono (CO), vapor de agua, partículas volátiles y no volátiles, hidrocarburos aromáticos policíclicos o compuestos orgánicos volátiles.

Gran parte de estas emisiones se relacionan con la composición del combustible usado en aviación. En concreto, los compuestos aromáticos favorecen la emisión de partículas no volátiles y de hidrocarburos aromáticos policíclicos, mientras que la combustión de los compuestos de azufre emite partículas volátiles y óxidos de azufre³⁰. Estas emisiones generan un impacto en el clima, que se engloban en los efectos no-CO₂³¹, que, aunque puede provocar enfriamiento, de forma agregada, provocan un efecto de calentamiento, que puede ser dos veces superior al del CO₂ emitido por la aviación.

Por una parte, las partículas no volátiles actúan como agentes nucleantes para favorecer la formación de estelas de condensación, aumentando la retención de radiación solar en la atmósfera y, por tanto, el calentamiento³². Por otro lado, los aerosoles de azufre provocan un ligero enfriamiento al reflejar parte de la radiación solar incidente, pero también pueden actuar como agentes nucleantes en condiciones de bajas concentraciones de partículas no volátiles³³. El efecto directo de las emisiones de partículas no volátiles en el balance radiativo (balance de la radiación solar), así como las emisiones de vapor de agua, también tienen un impacto en el clima, pero comparativamente menor al de los efectos anteriormente descritos.

Asimismo, estos compuestos tienen un impacto en la calidad del aire. Este impacto afecta particularmente a los aeropuertos y zonas aledañas³⁴, pero también puede afectar a otras zonas geográficas, por deposición desde las trayectorias de vuelo hacia la superficie³⁵.

Debido a las materias primas y a los procesos de producción con los que se elaboran, la mayor parte de los SAF son naturalmente bajos en compuestos aromáticos y azufres³⁶. Gracias a ello, las emisiones de partículas, hidrocarburos aromáticos policíclicos y óxidos

³⁰ B. Owen et al. (2022). Review: Particulate Matter Emissions from Aircraft. <https://doi.org/10.3390/atmos13081230>

³¹ D.S. Lee et al. (2021). The contribution of global aviation to anthropogenic climate forcing for 2000 to 2018. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2020.117834>

³² No todas las estelas de condensación tienen el mismo efecto. Su impacto depende de su persistencia (algunas desaparecen a los pocos segundos de formarse, otras duran horas), densidad, si se producen durante el día o la noche, o la presencia de nubes sobrepuestas.

³³ B. Kärcher (2018). Formation and radiative forcing of contrail cirrus. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-04068-0>

³⁴ N. Hudda et al. (2014). Emissions from an International Airport Increase Particle Number Concentrations 4-fold at 10 km Downwind. <http://dx.doi.org/10.1021/es5001566>

³⁵ S. R. H. Barrett et al. (2010). Global Mortality Attributable to Aircraft Cruise Emissions. <https://doi.org/10.1021/es101325r>

³⁶ Md F. Shahriar et al. (2022). The current techno-economic, environmental, policy status and perspectives of sustainable aviation fuel (SAF). <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.124905>

de azufre se ven reducidas, lo que conlleva beneficios en términos de calidad del aire e impacto climático (en caso de usar una mezcla de SAF con Jet-A1 fósil, las reducciones de emisiones y los beneficios asociados serán lógicamente tanto mayores cuanto mayor sea el porcentaje de SAF utilizado).

Diversas pruebas han demostrado una reducción de partículas no volátiles al utilizar SAF sin aromáticos ni azufre, que puede llegar a ser de hasta un 75% en número y 90% en masa³⁷. A esto, habría que añadir la disminución de emisiones de partículas volátiles, tanto en número como en masa, debido a la reducción del azufre presente en el combustible.

La reducción de la emisión de partículas asociada al uso de SAF puede conllevar asociada una disminución del calentamiento asociado a las estelas de condensación de hasta un 45%³⁸. Este efecto compensa la reducción del enfriamiento debido al bajo contenido en azufre.

Por otro lado, campañas de medida han demostrado los beneficios de utilizar SAF en la calidad del aire en los aeropuertos³⁹.

Actualmente las mezclas de SAF con queroseno fósil tienen que tener un mínimo del 8% de aromáticos, por tanto, el queroseno convencional con el que se mezcla el SBC tiene que tener un contenido de aromáticos que haga que la mezcla final esté por encima del 8%.

Se está explorando la **posibilidad de añadir SBCs del tipo aromáticos sintéticos (SAK) al SAF naturalmente bajo en aromáticos**. Ello resultaría en un combustible con una composición más parecida a la del Jet-A1 fósil actual, pero limitaría los beneficios descritos anteriormente, ya que esos compuestos aromáticos añadidos aumentarían las emisiones de partículas frente a un combustible 100% SAF con un contenido muy bajo de aromáticos.

3.5. Compatibilidad con la tecnología actual

La industria de la aviación ha adoptado **rigurosos estándares de seguridad y procedimientos en la operación y mantenimiento de las aeronaves**, imponiendo estrictos estándares y los combustibles no son una excepción.

El desarrollo de soluciones que integren la utilización de los medios existentes es un elemento importante para agilizar el despliegue de una nueva tecnología. El SAF es un combustible que puede utilizar todas las infraestructuras actuales del Jet-A1 sin realizar modificación alguna, respetando los porcentajes de mezcla (ver [Anexo IV](#)).

Como se ha explicado en el [apartado 2.3](#), esta compatibilidad engloba toda la cadena de distribución y almacenaje del combustible: vehículos cisterna, tuberías de distribución y depósitos de almacenamiento.

³⁷ P. Lobo et al. (2015). Evaluation of Non-volatile Particulate Matter Emission Characteristics of an Aircraft Auxiliary Power Unit with Varying Alternative Jet Fuel Blend Ratios. <https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.5b01758>

³⁸ R. Teoh et al. (2022). Targeted Use of Sustainable Aviation Fuel to Maximize Climate Benefits. <https://doi.org/10.1021/acs.est.2c05781>

³⁹ Alight Project. Biofuel Improves Air Quality. <https://alight-aviation.eu/onewebmedia/Press%20Release%20-%20Biofuel%20Improves%20Air%20Quality.pdf>

La principal diferencia en la composición del combustible reside, como se ha dicho, en la reducción de compuestos aromáticos y contenido de azufre. El queroseno fósil típicamente contiene un 10-20% de compuestos aromáticos y de 300-600 partes por millón de azufre, mientras que los SAF tienen cantidades mínimas de estos compuestos, lo que influye en la lubricidad y en los materiales de sellado de los sistemas de combustible de las aeronaves.

Las limitaciones actuales de mezcla de SAF están vinculadas a resguardar, con suficiente margen, la seguridad de las operaciones, lo que con los sistemas de combustible actuales requiere garantizar unos contenidos mínimos de azufre y de aromáticos. No obstante, hay un compromiso de los fabricantes de aeronaves, los fabricantes de motores y los productores de combustibles para alcanzar una compatibilidad absoluta antes de 2030 en las nuevas aeronaves que entren en el mercado.

El sector quiere **evitar segregaciones de SAF en los aeropuertos, no solo por evitar infraestructuras y costes adicionales, sino fundamentalmente por reducir riesgos** en la seguridad de las aeronaves por la carga de combustible no compatible. Es decir, la mezcla de SAF debe realizarse antes del suministro al aeropuerto, asegurando con ello que el combustible disponible en los mismos cumple las certificaciones del Jet-A1, sin riesgo adicional alguno.

3.6. [Madurez tecnológica de producción](#)

La madurez tecnológica de los SAF abarca varios aspectos críticos que determinan su capacidad para reemplazar los combustibles fósiles convencionales de manera efectiva y eficiente. Uno de los aspectos más importantes es la **capacidad de producción a gran escala para satisfacer la demanda del sector aéreo**, lo que requiere tecnologías de producción maduras y escalables.

La madurez de las diferentes tecnologías explicadas en el [apartado 2.1](#) se pueden consultar en el [Anexo III](#).

A medida que estas tecnologías evolucionan y se perfeccionan, se abren nuevas posibilidades para reducir las emisiones de carbono y mitigar el impacto ambiental asociado del sector aéreo. Para ello, **es necesario disponer de ayudas para seguir invirtiendo en investigación y desarrollo y con ello superar los desafíos tecnológicos** y enfrentar los riesgos asociados a estos proyectos que requieren un alto nivel de inversión, para lograr un mayor despliegue comercial de los SAF.

3.7. [Tramitación administrativa](#)

El empleo de estos combustibles exige **rigurosos procesos de validación y certificación** formal que garanticen tres aspectos fundamentales:

- Certificación de seguridad o aeronavegabilidad. La demostración de las características de seguridad del SAF, tanto en su empleo en las aeronaves y sus sistemas de propulsión, como en los medios de almacenamiento, distribución y suministro.
- Certificación de las rutas de producción de SAF. Para asegurar que el SAF cumple con las características técnicas requeridas.
- Certificación de sostenibilidad. La verificación del beneficio que el uso de estos SAF tiene en el impacto ambiental del transporte aéreo, principalmente en forma

de una reducción medible y certificada de la emisión de GEI, fundamentalmente CO₂, durante el ciclo de vida de producción y uso de estos combustibles.

En el [apartado 5](#) se tratan de forma separada los procesos de certificación y se describen las principales organizaciones, normativa y estándares empleados internacionalmente en general y en el entorno europeo en particular.

3.8. Seguridad de suministro e independencia energética

En primer lugar, **la producción nacional de SAF puede reducir la dependencia de los países en las importaciones de combustibles fósiles**, lo que fortalece su seguridad de suministro energético. Al desarrollar capacidades de producción de SAF a nivel nacional o estatal, los países pueden diversificar sus fuentes de energía y disminuir su vulnerabilidad a interrupciones o volatilidad en el suministro global. A continuación, se detallan las consecuencias de producir SAF dentro de un país y cómo esto afecta a las relaciones internacionales entre estados.

Desde un punto de vista geopolítico, la producción de SAF a nivel nacional o regional también puede reducir la influencia de los países productores de petróleo en la política y la economía globales. Al disminuir la dependencia de estas naciones, los países pueden fortalecer su autonomía y flexibilidad en las relaciones internacionales, minimizando los riesgos asociados con la inestabilidad política en las regiones productoras de petróleo. Adicionalmente, la no dependencia de potencias extranjeras puede otorgar a un estado una posición de mayor peso en la política internacional, ya que quedaría liberado de la presión que supone el riesgo de recibir una sanción o un embargo (que supondrían un aumento de los precios e, incluso, la interrupción total o parcial del suministro energético).

Independientemente de las negociaciones entre Estados, la independencia energética también actúa como barrera frente a crisis económicas y fluctuaciones del mercado en un sector tan cambiante como es el energético. Una distribución y consumo autóctonos contribuyen a la estabilización de los precios en el seno del mercado nacional.

En el sector de defensa, la certeza de contar con suministro energético es vital para garantizar la operatividad y la capacidad de respuesta de las fuerzas armadas y otros cuerpos o servicios en todo momento. La disponibilidad de SAF puede proporcionar una fuente de combustible más segura y sostenible, reduciendo la exposición a interrupciones en el suministro de combustibles convencionales en situaciones críticas o de conflicto.

En el caso específico de España, un país con una alta dependencia de las importaciones de energías no renovables, la transición hacia la producción y utilización de SAF podría tener un impacto significativo en su seguridad de suministro e independencia energética. Si bien hoy en día España importa recursos de otros países, el territorio español cuenta con un gran potencial en el desarrollo de energías renovables, incluyendo la biomasa, la energía solar y la eólica, lo que le brinda una oportunidad única para diversificar su matriz energética y reducir su dependencia de las importaciones de combustibles fósiles.

Las ventajosas particularidades del caso español en cuanto a producción de SAF son analizadas en el siguiente apartado.

Si bien la dependencia de las importaciones en España se ha ido reduciendo en los últimos años, todavía en 2021 se contabilizó un 69% de energía proveniente del extranjero (más de dos tercios de la energía total consumida).

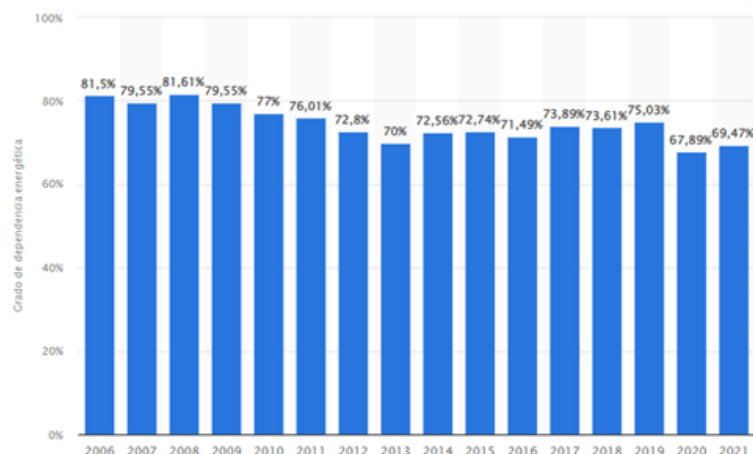


Figura 16 – Porcentaje de energía importada en España cada año⁴⁰. Fuente: [Estatista](https://es.statista.com/estadisticas/493962/dependencia-de-las-importaciones-de-energia-de-espana/#:~:text=En%20el%20a%C3%B1o%202021%2C%20el,con%20respecto%20al%20a%C3%B1o%20anterior.)

El impulso de la producción nacional de SAF en España no solo contribuiría a mejorar su seguridad energética, sino que también fomentaría la innovación, el desarrollo tecnológico y la creación de empleo. Además, al reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y otros contaminantes, el uso de SAF también ayudaría a España a cumplir con sus objetivos de mitigación del cambio climático y a avanzar hacia una economía más sostenible y resiliente, a la vez que contribuiría, con sus excedentes, a ayudar a otros países europeos a conseguir esos mismos objetivos y a disminuir los suministros de SAF provenientes de Estados Unidos (EE. UU.), mejorando la posición e imagen de España dentro de la Unión Europea.

3.9. Tejido económico, industrial y empleo: Oportunidad para España, referente europeo

Teniendo en cuenta las tasas de crecimiento del sector de la aviación hasta 2050, la demanda de biocombustibles en España rozará los 3,3 millones de toneladas y 2,6 millones de toneladas en el caso de los combustibles sintéticos para este año según el informe de PwC para Iberia y Vueling⁴¹. Esto representa una gran oportunidad país, tanto a nivel de Producto Interior Bruto (PIB), innovación industrial y tecnológica, como de generación de empleos y fijación de población en áreas desfavorecidas.

Analizando brevemente la potencial demanda de SAF de aquí a 2050, se puede rápidamente extraer, al menos, la inquietud de pensar que la industria del SAF representaría una gran oportunidad para cualquier país.

Existen varios informes publicados, que analizan el potencial de esta industria en diferentes regiones del mundo. El informe que Iberia presentó junto con Vueling y PwC sobre dicha oportunidad en España, del que se confirma el potencial de esta industria en

⁴⁰ <https://es.statista.com/estadisticas/493962/dependencia-de-las-importaciones-de-energia-de-espana/#:~:text=En%20el%20a%C3%B1o%202021%2C%20el,con%20respecto%20al%20a%C3%B1o%20anterior.>

⁴¹ Estudio sobre los impactos ligados a la transición ecológica en el sector de la aviación, PwC (2023)

nuestro país, estima unos **13.305 M€ de impacto en el PIB**, donde un 62% corresponde al impacto directo generado por la construcción de plantas de producción de SAF, lo que significa que por cada euro invertido se llega a generar 1,60 € de impacto en PIB.

En cuanto a la **generación de empleo**, este mismo informe estima que durante la operación de las plantas de producción de SAF, 19.703 podrían ser creados, y si se contempla la fase de construcción de dichas potenciales plantas se podría llegar hasta los 251.340 empleos desde 2025 a 2050.

En la misma línea, el análisis realizado por el gobierno de UK sobre el mandato de SAF que habrá en Reino Unido, estima que la industria tendrá un impacto de 1,8 billones de libras esterlinas en su PIB y 10.000 empleos en la economía⁴².

En términos globales, haciendo referencia al informe de ATAG⁴³, 14 millones de empleos y hasta 7.000 plantas de producción se estiman para la demanda global esperada para 2050.

No obstante, independientemente de la fuente y los datos, **existe consenso a nivel mundial sobre el impacto del SAF, como oportunidad para el tejido industrial de cualquier economía, tanto en creación de empleo como en PIB.**

3.10. Costes operativos

Impactos operativos por la entrada en vigor de RefuelEU Aviation y de la obligación del 90% en los operadores de aeronaves (*anti-tankering*)

El artículo 5 del Reglamento ReFuelEU Aviation establece la obligación de repostaje para los operadores de aeronaves:

“La cantidad de combustible de aviación de la que se abastezca anualmente un operador de aeronaves determinado en un aeropuerto de la Unión determinado representará, como mínimo, el 90% del combustible de aviación requerido anualmente.”

Esta disposición tendrá diversos **impactos en las operaciones** de los operadores de aeronaves, entre los que se incluyen:

- Aumento de número de repostajes de combustible.
- Reducción de la flexibilidad: Los operadores pueden tener menos flexibilidad a la hora de planificar sus rutas de vuelo. Esto se debe a que tendrán que asegurarse tener suficiente combustible a bordo para cumplir con el requisito del 90%.
- Mayor complejidad operativa: Los operadores deberán implementar nuevos procedimientos para realizar un seguimiento de su consumo de combustible y asegurarse de que cumplen con el requisito del 90%.
- Beneficios ambientales: La Comisión estima que el requisito del 90% reducirá las emisiones de CO₂ debido a la disminución de peso derivado de una menor carga de combustible que, a su vez, conlleva un menor consumo durante el vuelo.

Detalles adicionales sobre el requisito del 90%:

- El requisito se basa en la cantidad total de combustible que un operador carga en todos los aeropuertos de la UE en un año determinado.

⁴² <https://www.gov.uk/government/news/aviation-fuel-plan-supports-growth-of-british-aviation-sector>

⁴³ <https://atag.org/industry-topics/sustainable-aviation-fuel>

- Los operadores están exentos del cumplimiento de este artículo si pueden demostrar que sería impracticable o imposible cumplirlo, lo cual genera más carga administrativa.

Cuando esté debidamente justificado y por razones de cumplimiento de las normas aplicables en materia de seguridad del combustible, los operadores de aeronaves podrán situarse por debajo del umbral establecido (90%).

Más información en el [Anexo VII](#): Impacto del Reglamento ReFuelEU Aviation en repostajes.

Modificaciones en motores y sistemas:

Las aeronaves que actualmente utilizan queroseno convencional de aviación no requieren modificaciones para usar mezclas de SAF que cumplen con las especificaciones ASTM D7566⁴⁴ y ASTM D1655⁴⁵.

- **Motores:** Los motores de aviación modernos están diseñados para funcionar con una variedad de combustibles, incluyendo mezclas de SAF. Se han realizado pruebas exhaustivas para garantizar la compatibilidad y el rendimiento adecuado.
- **Sistemas de combustible:** Los sistemas de combustibles de aeronaves no requieren modificaciones para poder utilizar SAF mezclado con combustible convencional en los porcentajes marcados por la normativa. Sin embargo, con el objetivo de mejorar aún más el rendimiento del sistema, se han realizado algunos ensayos para determinar si las propiedades físicas del SAF, como la viscosidad o la lubricidad, siendo ligeramente distintas al queroseno convencional, pueden requerir modificaciones menores en casos muy concretos y en porcentajes mayores de mezcla. Estas modificaciones pueden incluir:
 - Calentadores de combustible: sistema de calentadores de combustible para reducir la viscosidad del SAF y mejorar su flujo.
 - Materiales de componentes: Utilización de materiales más resistentes al desgaste en las bombas y otros componentes del sistema de combustible.
 - Software de control del motor: Actualización del software de control del motor para tener en cuenta las propiedades del SAF.

Estas modificaciones se pueden realizar durante el mantenimiento regular de la aeronave.

En general, fabricantes de motores y componentes han encontrado que el SAF es compatible para su uso en sus productos sin necesidad de modificaciones ni de recertificación o validación adicional.

⁴⁴ [ASTM D7566: Especificación estándar para combustibles de aviación a base de hidroprocesamiento y ésteres sintéticos](#)

⁴⁵ [ASTM D1655: Especificación estándar para combustible para turbinas de aviación](#)

4. Mecanismos de ayuda e incentivos para fomentar la producción y el uso de SAF

4.1. Introducción

El despliegue de la producción de combustibles de aviación sostenibles en España se enfrenta a una serie de retos a los que se debe prestar atención, entre los que se encuentran las dificultades para consolidar la inversión de los proyectos de producción ante la incertidumbre de rentabilidad, sustentada esta incertidumbre en causas diversas. Para acelerar el despliegue, otros países como Estados Unidos o Reino Unido han apostado de forma decidida por subvencionar la producción, en especial de las rutas menos maduras tecnológicamente y, por tanto, de mayor riesgo. La Unión Europea, sin embargo, ha optado por combinar estas subvenciones con obligaciones de mezcla que, si bien no reducen en la misma medida que las subvenciones directas el impacto económico para los usuarios finales, sí garantizan una estabilidad de la demanda a largo plazo, algo fundamental para facilitar las inversiones. España, como miembro de la UE, tiene a su disposición estos mismos incentivos, si bien aún no ha desplegado mecanismos adicionales que fomenten el enorme potencial productor de que dispone.

La oportunidad que tiene España para convertirse en un productor y exportador de combustibles sostenibles de aviación es única:

1. Primero, por las características naturales de nuestro país con unos menores costes en la generación de energías renovables y menores costes de mano de obra altamente especializada que Europa Central.
2. En segundo lugar, por la disponibilidad estimada de residuos viables para la generación de estos combustibles sostenibles (según un estudio de PwC⁴⁶, un 10% de los residuos disponibles en España sería suficiente para el autoabastecimiento de combustibles renovables y todo el excedente podría ser usado para exportación).
3. En último lugar, por la singular y muy eficiente infraestructura logística de combustibles, así como la disponibilidad de refinerías de las más eficientes y aeropuertos con el mayor tráfico de Europa.

A pesar del enorme potencial de España para la producción de SAF, otros países, en particular Estados Unidos, están más avanzados en cuanto a capacidad productiva (en el [apartado 4.4](#) se analiza en más detalle sus particularidades).

Es importante desarrollar mecanismos e incentivos adicionales a los comunes a nivel internacional y europeo para fomentar la producción en España, así como reducir el diferencial del coste del SAF frente al combustible convencional, que es la principal barrera para su uso.

En particular, si bien los incentivos a la producción establecidos a nivel europeo deberían bastar para un desarrollo armonizado, es importante prestar atención a las incertidumbres aún presentes entre la conexión de la oferta y demanda y, en su caso, el posible impacto del sobrecoste de los SAF frente al combustible convencional en las aerolíneas y, por ende, en los aeropuertos de nuestro país.

⁴⁶ Estudio sobre los impactos ligados a la transición ecológica en el sector de la aviación, PwC, 2023

Pese a que las principales aerolíneas se han comprometido con un uso progresivo de SAF, incluso superior a lo marcado por las regulaciones, los sistemas financieros y de compra de los usuarios finales es, en muchos casos, incierto.

4.2. Impacto del marco regulatorio

Los mercados energéticos, al igual que el transporte aéreo, tienen un carácter internacional y las regulaciones aplicadas de los Estados/regiones pueden alterar sensiblemente las condiciones de la competencia. **La descarbonización de la aviación es un reto global** que debe coordinarse dentro de la llamada transición justa, en el que no todos los países podrán ir al mismo ritmo.

Estas diferentes velocidades no deben poner en riesgo la competitividad de las empresas ni, por supuesto, el estricto cumplimiento de los criterios de sostenibilidad. Las regulaciones deben incentivar la optimización de los recursos (en línea con la máxima circularidad) y la búsqueda de nuevas soluciones tecnológicas. En este contexto **es fundamental abogar por la neutralidad tecnológica**, donde las limitaciones deben asociarse a indicadores de sostenibilidad/ambientales (como la reducción de emisiones en ciclo de vida) y no a tecnologías, que pueden evolucionar y presentar mejoras. Sin embargo, no puede desdeñarse que las tecnologías con mayores dificultades de escalado, pero mayor potencial de producción en los escenarios a largo plazo, deben apoyarse en su desarrollo, o este se vería inevitablemente retrasado.

Las limitaciones en el uso de las materias primas elegibles para la producción de SAF deben atender únicamente a criterios de sostenibilidad dando flexibilidad a la utilización de otras materias. A este respecto, las limitaciones en cuanto a las materias primas elegibles para la producción de SAF introducidas por RefuelEU Aviation (excluyendo totalmente los cultivos alimentarios y restringiendo el uso de ciertos residuos) limitan las posibilidades de producción de SAF con respecto a combustibles para otros sectores, aunque su limitación sea menor en cuanto al uso de ciertos residuos (Anexo IX, Parte B). Si bien, en este sentido resulta importante la reciente inclusión de los cultivos intermedios, los cultivos intercalados, los cultivos de cobertura y los cultivos plantados en tierras altamente degradadas en el Anexo IX parte a de la Directiva de Energías Renovables, para la producción de SAF.

La regulación debe establecer un marco estable, duradero y claro que facilite las evoluciones tecnológicas que contribuyan a la descarbonización del sector y al desarrollo de proyectos, que hagan posible las producciones necesarias para sustituir los combustibles actuales de origen fósil. Es crucial destacar la importancia de una trasposición y aplicación efectiva de las directivas y reglamentos relacionados con la producción de combustibles de aviación sostenible en un marco que sea accesible y fácil de implementar. La complejidad de la regulación y su aplicación representan un obstáculo significativo para el avance de proyectos y tecnología. Por tanto, debe avanzarse en la optimización de los procesos de reporte, así como en la transparencia y claridad de los requisitos que puedan diferir en función de las distintas fronteras. Por ejemplo, algunos Estados europeos han limitado, sobre la directiva europea, unas materias primas o favorecido otras (por ejemplo, aceite usado en Alemania, energía nuclear en Francia) en el marco de la RED, con potencial de incidir en los precios de los SAF en dichas regiones.

Los mecanismos de flexibilidad se han identificado como una herramienta que permitiría escalar producciones y tecnologías para abaratar costes al menos en los

primeros años, hasta que haya una consolidación tecnológica. Es prioritario que el mecanismo de flexibilidad previsto en el Reglamento ReFuelEU Aviation en el que la Comisión Europea está trabajando permita que los incentivos al SAF bajo el sistema de comercio de emisiones puedan utilizarse de forma efectiva. El coste es la principal barrera para la utilización del SAF, por lo que son claves los mecanismos que permitan a los operadores y proveedores reclamar beneficios por el uso del SAF.

Este Reglamento en su artículo 4 impone un porcentaje mínimo de combustibles de aviación sostenibles disponible que debe cumplirse en cada aeropuerto de la Unión (ver figura 3, en el [apartado de antecedentes](#)). El propio reglamento en su artículo 15 recoge el mecanismo de flexibilidad para los porcentajes que establece.

La flexibilidad es aplicable al periodo comprendido entre el 1 de enero de 2025 y el 31 de diciembre de 2034 indicando que *“un proveedor de combustible de aviación podrá suministrar los porcentajes mínimos de combustibles de aviación sostenibles definidos en el anexo I como una media ponderada de todo el combustible de aviación que haya suministrado en todos los aeropuertos de la Unión durante dicho periodo de notificación”*.

En este mismo artículo, se indica la posibilidad de establecer, en posteriores revisiones del Reglamento, un sistema de negociabilidad de combustibles de aviación sostenibles para permitir el suministro de combustible en la Unión sin estar físicamente conectado a un emplazamiento de suministro (requisito básico de la aplicación del balance de masas), con vistas a facilitar aún más el suministro y la utilización de combustibles de aviación sostenibles para la aviación durante el período de flexibilidad.

Este posible sistema podría permitir a los operadores de aeronaves o a los proveedores de combustible, o a ambos, adquirir combustibles de aviación sostenibles mediante acuerdos contractuales con los proveedores de combustible de aviación y declarar el uso de combustibles de aviación sostenibles en los aeropuertos de la Unión.

La revisión de los mecanismos de flexibilidad parte de un informe que debería haberse publicado por la Comisión Europea a más tardar el 1 de julio de 2024, en el que se enunciarían las posibles mejoras o medidas adicionales en materia de medidas de flexibilidad, acompañado, si procede, de una propuesta legislativa.

En febrero de 2025, la Comisión Europea presentó el informe que concluye que el actual mecanismo recogido en el artículo 15, junto con la continua expansión de la capacidad de producción de SAF en la UE, ya está impulsando el cumplimiento de los objetivos de SAF, y que **mecanismos adicionales de flexibilidad más complejos no parecen ser necesarios en esta etapa**.

El informe también destaca áreas clave de mejora, incluyendo el aumento de la trazabilidad y la transparencia en las transacciones de SAF, la reducción de las cargas administrativas y la simplificación de las obligaciones de reporte para proveedores de combustible y aerolíneas.

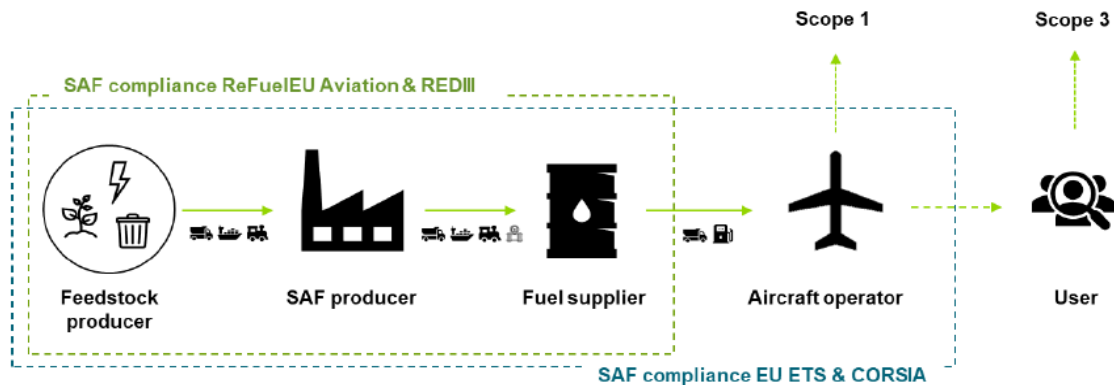
La Comisión está preparando una evaluación adicional de los mecanismos de contabilidad del SAF, incluidos aquellos que permiten el comercio virtual de certificados de SAF y presentará un Plan de Inversión en Transporte Sostenible a finales de 2025, delineando un enfoque estratégico para ampliar y priorizar las inversiones en soluciones de descarbonización del transporte, incluyendo los SAF.

Posibles mejoras o medidas adicionales del mecanismo de flexibilidad

La Comisión contrató a Guidehouse para evaluar diferentes opciones y parámetros de diseño de un posible mecanismo de contabilización de SAF, que estudiaron 3 posibles opciones:

Opción 1: Mecanismo de contabilidad de SAF dentro del Estado miembro.

Figura 17 - Fuente: Guidehouse. Workshop II: ReFuelEU Aviation–SAF flexibility mechanism and possible SAF accounting mechanism options



- Los proveedores de combustible de aviación pueden vender SAF virtualmente a los operadores de aeronaves en los aeropuertos de la Unión donde ya suministran físicamente combustible de aviación convencional.
- Los operadores de aeronaves pueden adquirir SAF virtual incluso en aeropuertos de la Unión donde no esté disponible físicamente SAF, si este operador recibe suministro físico de combustible para aviones convencionales del proveedor de combustible de aviación.
- El proveedor de combustible está en conformidad con ReFuelEU Aviation a través del primer aeropuerto donde suministra SAF físico.
- El operador de la aeronave puede reclamar el beneficio del ETS por la compra de SAF.
- El alcance en principio es dentro de los Estados miembros; sin embargo, indica que un suministrador puede operar en varios Estados miembros y esto no quedaría excluido, aunque no se representa en esta opción.

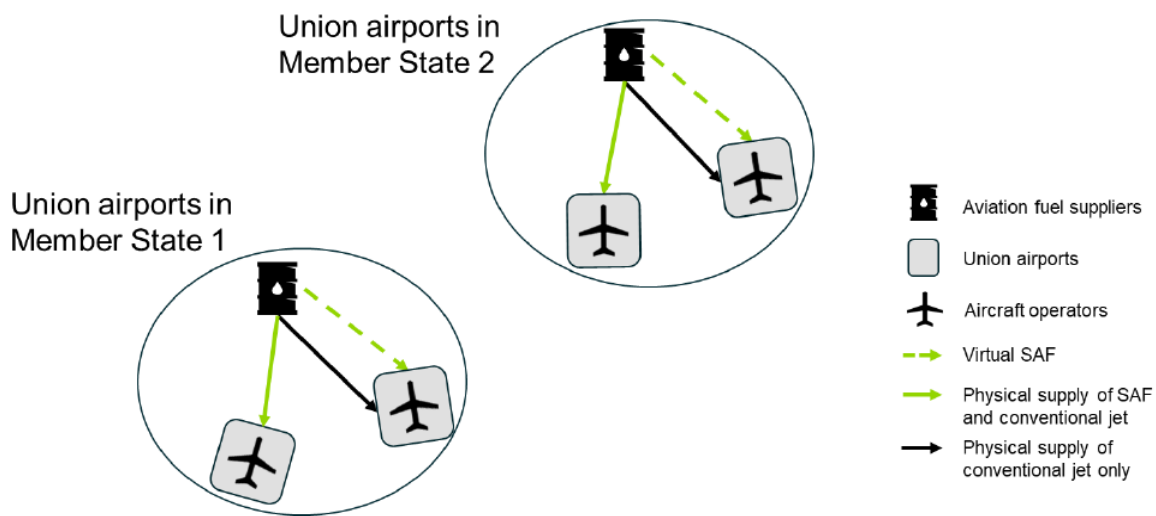


Figura 18 - Fuente: Guidehouse. Workshop II: ReFuelEU Aviation–SAF flexibility mechanism and possible SAF accounting mechanism options

Opción 2: Mecanismo de contabilidad de SAF entre proveedores de combustible de aviación

- En esta opción, los proveedores de combustible de aviación pueden comerciar SAF virtualmente entre sí, pero este SAF no puede contabilizarse para el cumplimiento de ReFuelEU Aviation.
- El proveedor de combustible aún debe suministrar físicamente la obligación mínima de ReFuelEU Aviation a al menos un aeropuerto de la Unión.
- El operador de la aeronave puede reclamar el beneficio del ETS por su compra de SAF virtual.

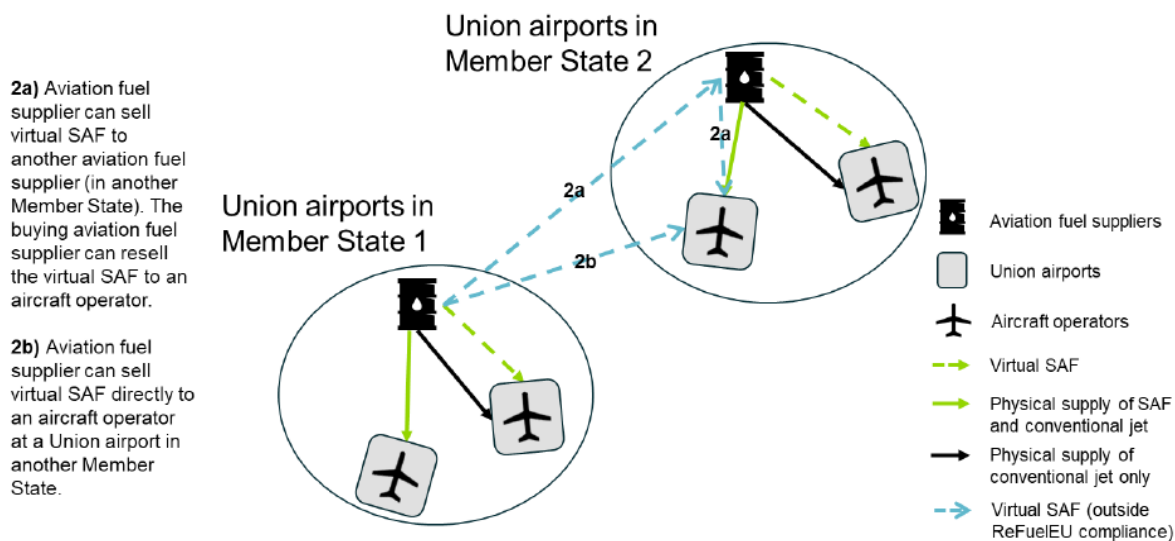


Figura 19 - Fuente: Guidehouse. Workshop II: ReFuelEU Aviation–SAF flexibility mechanism and possible SAF accounting mechanism options

Opción 3: Mecanismo de contabilidad de SAF externo con cumplimiento de ReFuelEU Aviation

- En esta opción, los proveedores de combustible de aviación pueden utilizar los intercambios virtuales de SAF para cumplir con su mandato de ReFuelEU Aviation incluso si el intercambio es entre diferentes Estados miembros.

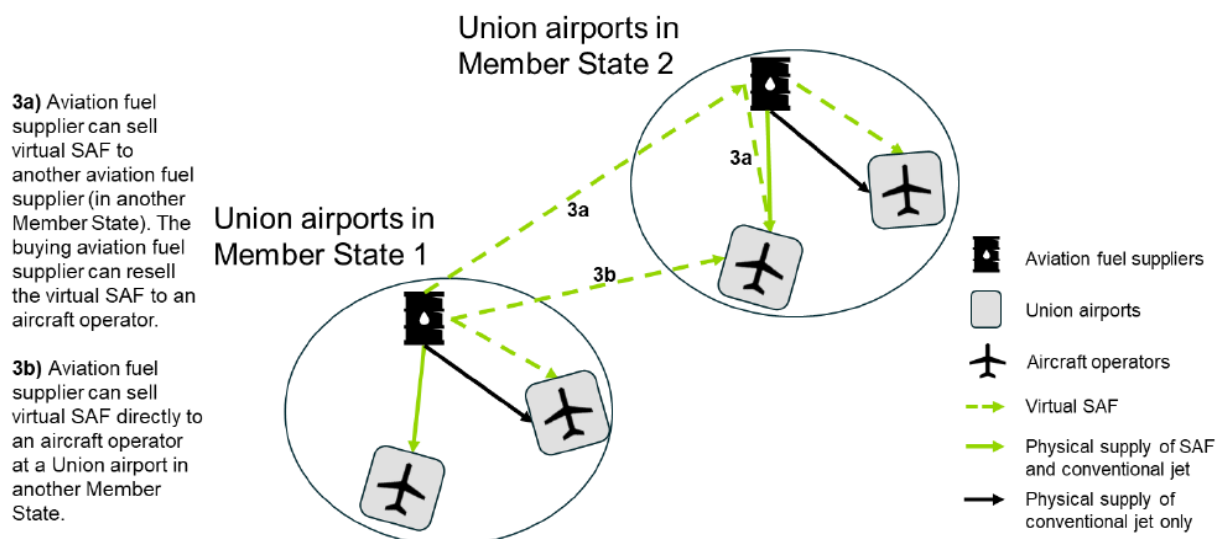


Figura 20 - Fuente: Guidehouse. Workshop II: ReFuelEU Aviation–SAF flexibility mechanism and possible SAF accounting mechanism options

En todas las opciones se requieren modificaciones al flujo documental ya existente (certificados de cumplimiento EU RED y declaraciones de sostenibilidad), para obtener acreditación de cara al cumplimiento de cada mandato, manteniendo la trazabilidad y garantizando los controles suficientes para evitar doble cómputo. Por tanto, una opción en estudio es la creación de certificados de cumplimiento de ReFuelEU Aviation así como certificados de SAF, a recibir por parte de las aerolíneas de cara a aportar en sus informes de emisiones en ETS.

La aplicación de cualquiera de estas opciones requeriría, a su vez, modificar el marco regulatorio existente, de cara a garantizar la coherencia entre normas. Principalmente, se deberían adaptar:

- **ETS:** La redacción actual de esta Directiva requiere que el SAF sea suministrado a cada aeropuerto para poder solicitar derechos gratuitos por SAF para los diferentes vuelos de salida de dicho aeropuerto (y podría interpretarse como una limitación al acceso a los beneficios previstos en la propia Directiva por el consumo de SAF, impidiendo la reducción del diferencial del precio entre el SAF y el combustible fósil y por ende desincentivando la producción y consumo del mismo por encima de los mínimos establecidos en el Reglamento). Es necesario actualizar esta Directiva en línea con la normativa relacionada y los mecanismos de flexibilidad que finalmente se puedan establecer en el Reglamento ReFuelEU Aviation.
- **RED:** Únicamente permite balance de masas, para asegurar la coherencia en todas las normas relacionadas. Por ejemplo, debería clarificarse, y de forma armonizada a nivel europeo, si el cumplimiento de los objetivos nacionales se

sujeta en los suministros físicos o en los suministros virtuales, así como las normas para su contabilización.

Por tanto, **la valoración de cualquier medida adicional de flexibilidad deberá ser analizada desde varios puntos de vista:**

- Contribución al objetivo de facilitar el cumplimiento a los operadores aéreos y suministradores sin acceso físico a SAF.
- Contribución al desarrollo de los mercados de SAF.
- Plazo de implementación, teniendo en cuenta que es necesario modificar y trasponer directivas, y que los mecanismos de flexibilidad actuales únicamente estarán en vigor hasta el 31 de diciembre de 2034.
- Las medidas que se implanten deberán asegurar la inversión en plantas de producción y desarrollo de logística de distribución por todo el territorio de la Unión (objetivo final de ReFuelEU tras el periodo de flexibilidad), evitando que se concentre la producción de SAF en regiones que ya disponen de plantas, dificultando la generación de una red de plantas que se proveyeran de recursos locales minimizando las emisiones en el ciclo de vida del SAF.
- También será necesario establecer los mecanismos adecuados para evitar el fraude y garantizar la libre competencia.

Por otro lado, es importante tener también en cuenta el **Reglamento de Ejecución (UE) 2022/996** de la Comisión de 14 de junio de 2022, que establece las **normas para verificar los criterios de sostenibilidad y de reducción de las emisiones** de gases de efecto invernadero y los criterios de bajo riesgo de provocar un cambio indirecto del uso de la tierra. Este Reglamento es en el que se basan los sistemas de certificación definidos en el [apartado 5](#).

En él aparece la definición de infraestructura interconectada:

“«infraestructura interconectada»: sistema de infraestructuras, tales como gasoductos, terminales de gas natural licuado (GNL) e instalaciones de almacenamiento que transportan gases, compuestos principalmente de metano y que incluyen el biogás y el gas procedente de la biomasa u otros tipos de gases que pueden técnicamente inyectarse y transportarse de forma segura en los sistemas de gasoductos de gas natural, sistemas de hidrógeno, así como redes de gasoductos e infraestructuras de transporte y distribución de combustibles líquidos;”

Esto supone una medida de flexibilidad respecto al balance de masas por emplazamiento según recoge el artículo 18, punto 3 de este Reglamento:

“3. Con el fin de hacer un seguimiento de las partidas de combustibles líquidos o gaseosos introducidos en una infraestructura interconectada y sujetos al mismo sistema de balance de masas, las características de sostenibilidad y de reducción de las emisiones de GEI y el resto de la información descrita en el apartado 1 se registrarán en la base de datos de la Unión en el primer punto de entrada y se registrarán como consumidos en el punto de consumo final.”

La consideración de infraestructura interconectada (ver [apartado 2.3](#)) es interesante de cara a facilitar el despliegue del SAF, ya que permite realizar un único balance en toda la infraestructura interconectada, y por tanto, la asignación de partidas de SAF cuyos movimientos no serían posibles o resultarían más complejos o ineficientes desde el punto

de vista de la sostenibilidad del transporte, si tienen que realizarse siguiendo el balance de masas por emplazamiento.

4.3. Mejora del proceso de tramitación para la habilitación técnica de los SAF en la aviación e integración de nuevas especificaciones

Los SAF pueden reemplazar de manera directa al queroseno, obteniendo como beneficio una alta reducción de las emisiones de GEI desde el punto de vista del análisis de ciclo de vida.

Hay que tener en cuenta que las aeronaves repostan en distintos países y se mezclan combustibles de diferentes orígenes, de ahí la importancia de contar con especificaciones técnicas de combustible armonizadas internacionalmente.

Existen ocho rutas tecnológicas aprobadas y recogidas en la Norma ASTM D7566 para la fabricación de combustibles de aviación sostenibles, y otra adicional a través del coprocesado recogida en la norma ASTM D1655.

El proceso de aprobación de rutas para producción de SAF, de acuerdo con la Norma ASTM D4054, es muy exigente y riguroso y en él participan diversas entidades, especialmente fabricantes de motores y fuselajes.

Este proceso puede durar entre 3 y 7 años, y los costes pueden superar los 5 millones de € por ruta productiva, requiriendo cantidades de combustible superiores a los 300.000 litros para garantizar que el combustible sea compatible con la infraestructura y los equipos existentes. Este procedimiento se basa en un proceso escalonado de 4 niveles sucesivos (*Tier*), de creciente complejidad, escala y, por tanto, coste:

- Tier 1: Pruebas de especificación estándar básica.
- Tier 2: Pruebas de ajuste para el propósito que incluyen principalmente ensayos a escala de laboratorio de una gama más amplia de propiedades, análisis de composición (a granel y trazas), compatibilidad de materiales y propiedades de rendimiento, etc.
- Tier 3: Pruebas en componentes a escala de plataforma para evaluar el comportamiento en condiciones simuladas de fuselaje y/o motor para cubrir parámetros tales como estabilidad térmica, flujo en frío, combustión en condiciones adversas (operabilidad), etc.
- Tier 4: Prueba completa del motor para evaluar el impacto en el rendimiento, la durabilidad, las emisiones, etc.

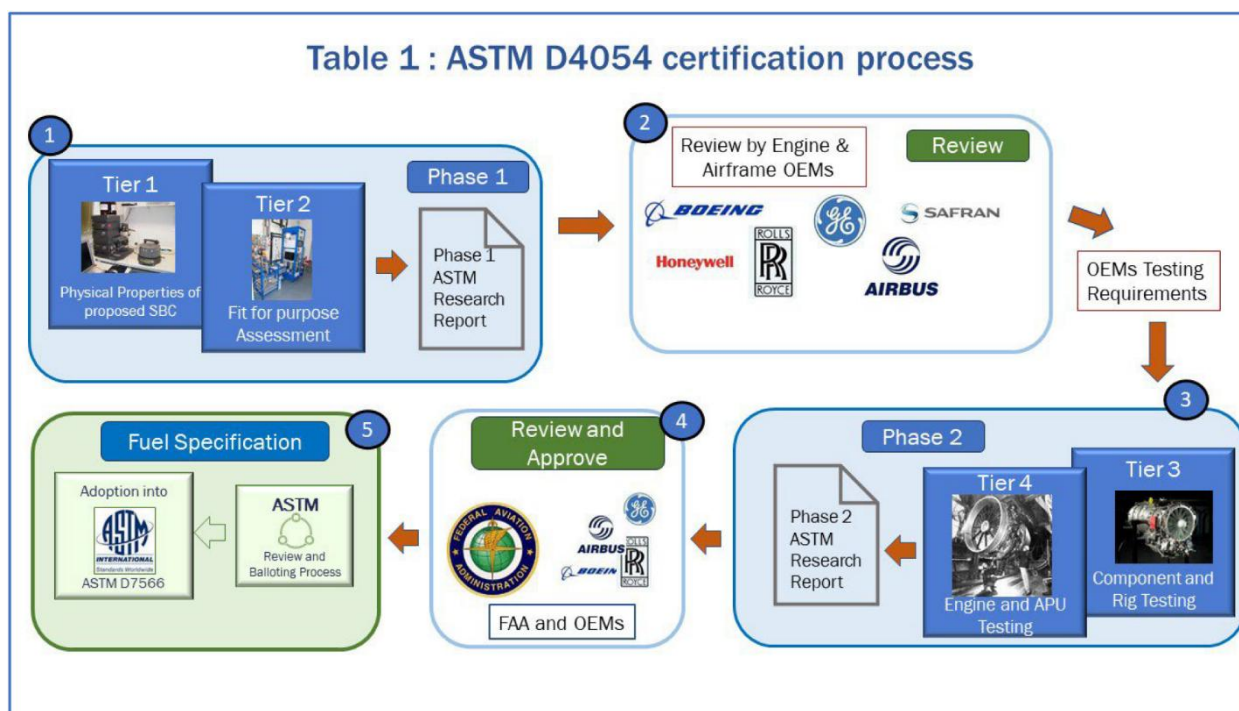


Figura 21 - Fuente: Technical Information Document #4, JIG, nov-23

Este proceso podría suponer una importante barrera para el despliegue comercial de nuevas tecnologías de los SAF. Por ello, desde 2020, existe la posibilidad de aprobar rutas de producción de combustibles de aviación sostenible mediante un proceso rápido conocido como *fast track*, que permite reducir el tiempo de aprobación por debajo de los 2 años, el coste por debajo de 1 millón de euros y la cantidad de combustible necesaria es inferior a 50.000 litros. Este proceso reduce los requisitos de ensayo, aunque tiene el inconveniente de que el máximo contenido de SAF en las rutas aprobadas en este caso es del 10 %v/v, aunque permite un inicio del desarrollo comercial que facilite al promotor escalar para abordar el proceso completo con mayores garantías.



Figura 22 - Resumen esquemático de los procesos de certificación de rutas tecnológicas según la Norma ASTM D4054. Fuente: Technical Information Document #4, JIG, nov-23

Adicionalmente, para superar estas barreras de entrada e impulsar nuevos productos se han desarrollado procesos de evaluación preliminar ("*pre-screening*") que permiten a los

productores desarrollar nuevos procesos productivos con certificaciones experimentales, como el “National Jet Fuel Combustion Program” (NJFCP) impulsado por la Iniciativa de Combustible para la Aviación Comercial (“*Commercial Aviation Alternative Fuel Initiative*”, CAAFI) y el proyecto JETSCREEN de la Unión Europea.

En esta línea, y tratando de optimizar también los recursos de ensayo para agilizar los procesos de la forma más eficiente, Estados Unidos ha desarrollado un sistema de preselección y apoyo, denominado *Clearing House*, que evalúa las probabilidades de éxito de nuevas rutas antes de que estas se sometan a los ensayos y les facilita el proceso. De forma equivalente y coordinada, Reino Unido y la Unión Europea están desarrollando, respectivamente, sus propios *clearing houses*.

Sin embargo, **para acelerar la implementación de nuevas rutas de obtención de SAF, es necesario continuar agilizando las pruebas de seguridad, evaluación y especificación de combustibles**. Esto implica reducir tanto el coste como el tiempo requerido para obtener nuevas aprobaciones, al mismo tiempo que se amplía el rango de combustibles calificados. Este enfoque permitirá una expansión más rápida y eficiente del suministro de SAF. En la Figura 22 se muestra un resumen de ambos procesos de certificación según la Norma ASTM D4054.

Asimismo, **las Normas ASTM D1655 y Def Stan 91-091 permiten producir combustible de aviación mediante coprocesado** con hasta un 24%v/v de materias primas alternativas junto con la alimentación de materias primas convencionales. Las materias aprobadas para coprocesado en la producción de combustibles de aviación son:

- Mono-, di- y triglicéridos, ácidos grasos libres y ésteres de ácidos grasos (hasta el 5%).
- Hidrocarburos derivados de gas de síntesis vía Fischer-Tropsch utilizando catalizadores de cobalto o de hierro (hasta el 5%).
- Hidrotatados (hasta el 24%).

Sólo puede utilizarse un tipo de materia prima para la producción de un lote determinado de queroseno y el Certificado de Calidad (CoC) del producto deberá indicar que éste puede contener hasta un 5 (o 24) % en volumen de queroseno sintético coprocesado. Estas limitaciones en cuanto al volumen de materia prima a incorporar también suponen una limitación para la producción de SAF. Actualmente, ASTM está evaluando la posibilidad de incrementar la cantidad de materia prima sostenible en el coprocesado en procesos convencionales hasta el 30 %v/v, lo que, de aprobarse, contribuirá a poder tener disponible un mayor volumen de SAF producido por esta vía, que aplica a instalaciones ya existentes (aun cuando éstas puedan requerir adaptaciones), reduciendo los tiempos de puesta en mercado frente a nuevas instalaciones.

Por otra parte, **una de las grandes ventajas de los SAF frente a otras posibilidades de descarbonización es el aprovechamiento de la infraestructura existente** (ver [apartado 2.3](#)). Sin embargo, el hecho de que las aeronaves y sus motores no estén todavía certificadas para operar al 100% de SAF, obliga a tener que mezclar los componentes sintéticos (sostenibles) con combustible de aviación convencional hasta un máximo del 50% dependiendo de la ruta de producción. No obstante, el compromiso de los principales fabricantes, Airbus y Boeing, es el de tener aeronaves certificadas para un uso del 100% de SAF en 2030 en las nuevas aeronaves.

El impulso y desarrollo del diseño de motores y sistemas de combustible (e infraestructuras de transporte y puesta a bordo) para hacerlos compatibles 100% con SAF es también una palanca importante para el fomento de estos combustibles, ya que facilita la entrada en mercado de nuevos suministradores y la optimización de la logística, ampliando además la posible contribución de estos combustibles a la descarbonización del sector de la aviación. El trabajo para desarrollar especificaciones al 100% implica una estrecha coordinación entre los interesados en el combustible de aviación, incluyendo fabricantes de aeronaves y motores, productores de combustible y organismos reguladores. Las especificaciones que definan los requisitos de calidad del combustible al 100% SAF pueden permitir a los productores de SAF simplificar la logística de sus procesos al eliminar la necesidad de mezclar SAF con combustible convencional. El uso de SAF al 100% también permitirá aumentar la sustitución del combustible para aviones convencional y maximizar los beneficios del ciclo de vida en cuanto a emisiones de gases de efecto invernadero y calidad del aire derivados del uso de SAF.

4.4. Mecanismos financieros, no financieros e incentivos para fomentar la producción y uso del SAF

Actualmente se puede considerar que la producción industrial de SAF, aunque existen plantas en operación, está aún en fase de desarrollo e implementación. A nivel mundial, se suministran combustibles de aviación sostenibles en algunos aeropuertos, aunque los volúmenes generales de combustible siguen siendo bajos (<1% a nivel global).

Según datos de IATA, el combustible representa en promedio, aproximadamente el 30% de los costes operativos del transporte aéreo y **los costes de producción de los SAF son significativamente superiores a los del queroseno convencional** (ver [apartado 2.1](#)). La evaluación de impacto de la Comisión Europea para la propuesta del Reglamento ReFuelEU Aviation explica este amplio rango de costes de producción debido a diferentes niveles de madurez industrial y tecnológica, y la poca certidumbre sobre los costes de producción reales de ciertas rutas de producción de SAF.

Según un estudio de IATA⁴⁷ de diciembre de 2023, la producción de SAF en Estados Unidos en 2030 (9Mt) va a ser dos veces y media (2,5x) superior a la de la Unión Europea (3,5Mt) a pesar de que ambos mercados cuentan con un número equivalente de plazas de pasajeros ofertados (en 2023, en Estados Unidos la oferta fue de 1,170 millones de asientos y en la UE de 1,020 millones de asientos). Según el informe de Skynrg⁴⁸, la producción de SAF en EU en 2030 será de 3,8Mt, superando el objetivo de ReFuelEU que necesitaría de 2,8 Mt. Esto se debe, entre otros, a los incentivos gubernamentales tempranos para facilitar la fabricación de SAF, así como a los criterios requeridos de dichos combustibles en cuanto a porcentaje de reducción de emisiones de CO₂. Mientras que en la UE los SAF deben tener una reducción mínima del 70%, en el caso de EE.UU. se requiere solamente una reducción mínima del 50% para poder optar a un incentivo mínimo de 1,25\$ por galón incrementando 0,01\$ adicionales por galón por cada punto porcentual de reducción de emisiones hasta alcanzar un incentivo adicional de 0,50\$ por

⁴⁷ [Sustainable Aviation Fuel, Hemant Mistry, IATA \(Diciembre 2023\)](#)

⁴⁸ [Sustainable Aviation Fuel Market Outlook, Skynrg \(Junio 2024\)](#)

galón⁴⁹. Otro aspecto importante que ha conllevado un incremento de la producción de SAF en Estados Unidos es el hecho de que hay mayor número de materias primas permitidas para la fabricación de SAF, frente a las restricciones que impone la RED III y ReFuelEU Aviation.

Para poner un ejemplo práctico de cómo se traducen estos incentivos en la generación, dos importantes compañías aéreas españolas, Iberia y Vueling, el pasado año 2023 consumieron un total de 2.035 toneladas de SAF de las cuales 1.500 toneladas -un 74%- se suministraron en Reino Unido a pesar de que su principal centro operativo se encuentra en España. La razón de este desequilibrio se debe principalmente a los incentivos del Reino Unido para la producción de estos combustibles sostenibles, lo que demuestra la importancia de este tipo de ayudas.

Esto demuestra la necesidad de mecanismos adicionales que apoyen las materias primas sostenibles y el acceso a la financiación a nivel europeo, nacional y regional para ayudar a garantizar la escala necesaria y que reduzcan el diferencial entre los precios de los combustibles fósiles y los precios SAF.

Otro mecanismo para favorecer el uso de SAF es la aplicación del principio “quien contamina paga”. En la normativa actual, este principio se ve reflejado en el mercado de carbono del ETS, así como la posible inclusión del queroseno fósil en la Energy Taxation Directive (ETD). Estas medidas reducen el diferencial entre el queroseno fósil y los SAF, lo cual añade un incentivo adicional para la transición hacia un uso más generalizado de SAF.

Disponer de incentivos y ayudas para impulsar los proyectos de Investigación y Desarrollo y la construcción de plantas demo para superar las barreras técnicas es fundamental. El objetivo de estas plantas es acelerar la curva de aprendizaje de la tecnología, permitiendo detectar y resolver aspectos operativos, de mantenimiento y tecnológicos en un ambiente industrial, obteniendo valores de referencia para el diseño de plantas de mayor capacidad, así como generar suficiente cantidad de producto como para testear su calidad en motores.

Sin duda, de todas las rutas de producción de SAF homologadas, la ruta de producción HEFA y el coprocesado (que utilizan materias primas lipídicas) son las más maduras, de las que existe mayor número de plantas construidas y, por tanto, capacidad productiva. Por el contrario, otras rutas como las de producción de eSAF o AtJ, son rutas más novedosas, que requieren aún superar ciertas incertidumbres tecnológicas en su escalado, pero con la ventaja de que no cuentan con la limitación de materia prima que presenta la ruta HEFA. **Para que España pueda posicionarse como líder en la producción de SAF no sólo a corto sino a medio y largo plazo, es crucial implementar programas de ayuda destinados a facilitar la construcción y operación de las primeras plantas de producción de las rutas innovadoras** con mayor potencial en el caso de España, para promover la innovación, minimizar los riesgos y potenciar la inversión y consecuente escalado.

En el desarrollo y potenciación de nuevas tecnologías para su despliegue industrial también es clave el apoyo de las autoridades y administraciones gubernamentales, especialmente en el **delicado proceso de la gestión de permisos y autorizaciones**

⁴⁹ Departamento del Tesoro de EE.UU (<https://home.treasury.gov/news/press-releases/jy2307#:~:text=SAF%20that%20achieves%20a%20GHG,up%20to%20%240.50%20per%20gallon.>)

requeridas por los mismos, más complejas cuando se introducen elementos innovadores. El carácter innovador de una planta industrial, la oportunidad de validar una tecnología y aportar una nueva solución a la descarbonización depende inherentemente de los tiempos que se requieren para la construcción y puesta en marcha de esta. La posible existencia de largos periodos de inactividad, acusados por la tramitación de gestiones y autorizaciones con las administraciones responsables de las mismas, puede afectar tanto a la intención de los inversores como a la rentabilidad del proyecto, por lo que es un aspecto clave. En este sentido, **el Net Zero Industry Act⁵⁰ de la Unión Europea reconoce el combustible de aviación sostenible como una "tecnología estratégica"**, lo que refleja su papel fundamental en la transición hacia una industria con emisiones netas de carbono igual a cero. Esta designación subraya la importancia de integrar el SAF en las estrategias de descarbonización de la industria, lo que debería contribuir significativamente a reducir los periodos de inactividad asociados con la dependencia de combustibles fósiles en la aviación. Asimismo, la normativa que regula la clasificación de las inversiones, la EU Taxonomy, también recoge entre sus mecanismos de transición la operación de transporte aéreo con un consumo de SAF por encima de los mínimos normativos.

Para fomentar una mayor inversión en producción, es crucial implementar mecanismos eficaces que impulsen el aumento de la oferta y la reducción de los costes. Aunque los incentivos actuales representan un paso en la dirección correcta, para lograr un impacto significativo en la descarbonización se requieren medidas más amplias y sustanciales.

En cuanto a los incentivos financieros disponibles en Europa, destacan los siguientes:

- **Fondo de Innovación⁵¹ (*Innovation Fund*)**, enfocados principalmente en el diseño de aeronaves, combustibles y la captura, utilización y secuestro de carbono (CCUS). Se consideran candidatos proyectos para tecnologías bajas en carbono innovadoras, procesos innovadores en industrias intensivas en energía, instalaciones de CCU y CCS, generación innovadora de energía renovable o almacenamiento de energía en 5 categorías: pequeña, mediana, gran escala, tecnologías limpias de manufactura y pilotos. Los criterios de selección son: grado de innovación, emisiones GHG evitadas, madurez del proyecto, replicabilidad y eficiencia de costes. El Fondo de Innovación apoya hasta el 60% (en caso de subvenciones regulares) y hasta el 100% (en caso de licitación pública) de los costes operativos y de capital menos ingresos durante los primeros diez años de operación. Incluye también la subasta de hidrógeno renovable, como una garantía de precio mínimo para los proyectos que prevén desarrollarlo. La financiación total del Fondo de Innovación depende del precio del carbono en ETS (de cuyos ingresos proviene el fondo), y puede ascender a unos 40.000 millones de euros entre 2020 y 2030, calculados utilizando un precio del carbono de 75 euros/tCO₂.
- **InvestEU**, orientados a energías limpias y transporte sostenible. Las infraestructuras sostenibles son una de las opciones candidatas a InvestEU, que incluyen medios de transporte limpios y sostenibles, eficiencia energética, gestión

⁵⁰ Reglamento (UE) 2024/1735 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 13 de junio de 2024, por el que se establece un marco de medidas para reforzar el ecosistema europeo de fabricación de tecnologías de cero emisiones netas y se modifica el Reglamento (UE) 2018/1724

⁵¹ https://climate.ec.europa.eu/eu-action/eu-funding-climate-action/innovation-fund/what-innovation-fund_en#what-is-being-funded-and-how

de residuos, despliegue de tecnologías innovadoras que contribuyan a los objetivos de resiliencia climática o sostenibilidad social. Los proyectos seleccionados serán susceptibles de recibir préstamos, garantías, equity o servicios de consultoría. Se han concedido 26.200 millones de euros.

- Horizonte Europa, programa de financiación de la investigación y desarrollo europeo, contempla habitualmente en sus programas anuales y plurianuales la financiación del desarrollo de tecnologías de producción de SAF y sus plantas piloto y de demostración (de forma específica o agrupada con otros sectores). Así mismo también ha financiado proyectos dirigidos a los aeropuertos del futuro (Smart airports) que contemplan la facilitación del suministro y uso de SAF en los aeropuertos.
- ETS, permisos adicionales a la consideración de un factor de emisión cero por el uso de los SAF: la reciente modificación del esquema contempla la posibilidad, desde el 1 de enero de 2024 hasta el 31 de diciembre de 2030 (con una posible extensión a 2034), de que se asignen un máximo de 20 millones derechos de emisión, de forma gratuita, para subvencionar (*ex post*) el diferencial de coste de los SAF con respecto a los combustibles convencionales⁵², en función del tipo y con especial hincapié en los aeropuertos más pequeños y en islas, donde la subvención puede alcanzar el 100% del sobre coste en permisos de emisión. Cabe destacar que estas ayudas de asignación gratuita (*SAF allowances*) son aplicables también a los vuelos domésticos a y desde regiones ultraperiféricas como las Islas Canarias, a pesar de estar exentos de las obligaciones de entrega de derechos.

Algunos países europeos están implementando mecanismos propios para incentivar la producción de SAF, algunos ejemplos son:

- En Dinamarca, el *Energy Development and Demonstration Program* que da apoyo a compañías privadas y universidades para desarrollar y testar nuevas tecnologías energéticas. Los criterios son conforme a los de las ayudas estatales de la UE. El programa está orientado a tecnologías energéticas como tecnologías para energías renovables, de eficiencia energética, tecnologías de conversión como las células de combustible o de hidrógeno, integración de sistemas energéticos (almacenamiento, métodos más eficientes para recuperación de *oil and gas*, almacenamiento de CO₂). Los proyectos seleccionados recibirán una subvención, hasta ahora se han concedido 213 M DKK.
- En Reino Unido, mediante el *Advanced Fuels Fund*, se concedieron subvenciones a proyectos para una planta a escala *first-of-a-kind* comercial y otra a escala demo para SAF (bio o eSAF) en UK en cualquier estado de desarrollo o construcción. Los proyectos seleccionados recibirán una subvención, hasta ahora se han concedido 165 M GBP. Además, cuenta con el *Net zero transatlantic flight fund*, diseñado para incentivar vuelos transatlánticos en aeronaves utilizando 100% SAF, que concedió una subvención de 1 millón de libras esterlinas.

⁵² En febrero de 2025 la Comisión Europea adoptó el Reglamento Delegado por el que se completa la Directiva 2003/87/CE del Parlamento Europeo y del Consejo mediante el establecimiento de normas detalladas para el cálculo anual de la diferencia de precio entre los combustibles de aviación admisibles y el queroseno fósil y para la asignación de derechos de emisión del RCDE UE para el uso de combustibles de aviación admisibles.

Además, Reino Unido se ha comprometido a incluir un nuevo “mecanismo de garantía de ingresos” para garantizar los futuros ingresos y favorecer la inversión en producción de SAF, en particular el suministro no-HEFA. Se han seleccionado cuatro posibles opciones, todavía pendientes de aprobación en el Parlamento:

- Precio garantizado: garantías en un precio acordado por litro de fuel producido para productores de SAF que elijan este esquema.
 - Comprador de último recurso: compra de certificados SAF cuando los precios de mercado caen por debajo de un nivel acordado, se garantiza un precio mínimo para el productor de certificados SAF.
 - *Auto-ratchet*: el mandato SAF (y el cupo HEFA) se ajusta cuando hay sobreabastecimiento en el mercado para acercar el precio de SAF a valores cercanos al precio de compra.
 - Precio mínimo: el mandato SAF incluye un precio mínimo para los certificados que se aplicará de forma universal a través del mandato (además del precio de compra).
- En Estados Unidos, el IRA (*Inflation Reduction Act*), busca mejorar la competitividad económica, la innovación y la productividad industrial y para ello plantea varios mecanismos para incentivar las inversiones en la capacidad de fabricación nacional y fomentar la adquisición de suministros críticos dentro del país (o de socios comerciales de libre comercio), así como la comercialización de tecnologías de vanguardia, como la captura y almacenamiento de carbono y el hidrógeno limpio. Está orientada principalmente a la reducción de emisiones, en todos los sectores de la economía, incluyendo la producción de electricidad, el transporte, la fabricación industrial, los edificios, la agricultura y la reducción del uso de combustibles fósiles. Algunos de los mecanismos planteados son:
 - Créditos fiscales para la generación de electricidad “limpia” y almacenamiento de energía. Se destinarán unos 30 mil millones de dólares en subvenciones y préstamos específicos para los estados y las compañías eléctricas con el fin de acelerar la transición a la electricidad limpia.
 - Créditos fiscales y subvenciones para combustibles limpios y vehículos comerciales sostenibles para reducir las emisiones del sector del transporte.
 - Incentivos para la instalación de mejoras de eficiencia y soluciones de captura de carbono.

A nivel europeo, un resumen de las diferentes políticas de promoción de los SAF puede consultarse en el mapa elaborado y actualizado por la CEAC y Eurocontrol⁵³. A nivel mundial, un mapa similar es mantenido por la OACI⁵⁴.

Por último, **los aeropuertos, al actuar como nodos críticos dentro del ecosistema de la aviación, desempeñan un papel fundamental en facilitar la disponibilidad y adopción de SAF**. Algunos aeropuertos están implementando incentivos financieros (Fondo de Incentivos para SAF⁵⁵) para estimular la producción de SAF, una iniciativa estratégica diseñada para hacer frente al diferencial de costes entre el SAF y el

⁵³ <https://www.eurocontrol.int/article/sustainable-aviation-fuels-saf-europe-eurocontrol-and-ecac-cooperate-saf-map>

⁵⁴ <https://www.icao.int/environmental-protection/SAF/Pages/Policies.aspx>

⁵⁵ <https://to70.com/airports-as-catalysts-driving-saf-adoption-through-incentive-funds/>

combustible de aviación convencional. Estas acciones envían una clara señal al mercado sobre el papel crucial de los SAF en la descarbonización a largo plazo de la aviación, fomentando inversiones que pueden aumentar los volúmenes de producción y, posteriormente, reducir los costos.

En la actualidad ya existen incentivos para el consumo de SAF en diversos aeropuertos tanto en Europa como fuera de ella. Por ejemplo:

- Aeropuerto de Heathrow: bonifica el 50% del sobrecoste del SAF repostado allí por las aerolíneas, hasta un límite de 72 millones de euros. Esta bonificación se financia mediante la tarifa de NO_x en sus tasas de aterrizaje.
- Aeropuerto de Schiphol: entre 2022 y 2024 contribuirá con 15 millones de euros de incentivo al consumo de SAF en su aeropuerto, bonificando 500€ por tonelada de SAF biogénico y 1.000€ por tonelada de SAF sintético.
- Aeropuertos de Swedavia: bonificación del 50% del sobrecoste del SAF repostado en sus aeropuertos, hasta un límite de 40 millones de coronas suecas (3,5 millones de euros).
- Aeropuerto de Milán: contribuirá con 500€ por tonelada de SAF, hasta un total de 450k€ en 2023.

Un mecanismo para incentivar el consumo de SAF en España es una oportunidad de especial relevancia para **maximizar el consumo de SAF en nuestro país, donde se espera que la producción supere a la demanda a diferencia del resto de Europa**. Además, los costes logísticos serán inferiores al estar la producción de SAF cercana a la demanda por lo que debería ser más atractivo el consumo interno.

Por último, los aeropuertos se benefician de los impactos positivos del mayor uso de los SAF sobre calidad del aire local, así como en sus indicadores de contribución a la descarbonización, como el programa de acreditación de la descarbonización de Airports Council International (ACI)⁵⁶.

4.5. Importancia de la colaboración, comunicación y divulgación

Las implicaciones que tienen los SAF tanto ambientales (climáticas y en la mejora de la calidad del aire), como socioeconómicas (expuestas en el [apartado 3](#)) y los retos que supone su despliegue en un sector interconectado globalmente requieren una divulgación adecuada.

La tecnología es “agnóstica” y es la manera en la que se utiliza la que tiene impactos positivos o negativos. Es importante establecer **mecanismos de colaboración entre las partes interesadas, como la industria, las instituciones de investigación y los organismos gubernamentales**. Esto permite compartir información, abordar barreras y desarrollar las capacidades necesarias en áreas críticas para el despliegue comercial.

Adicionalmente, **una comunicación efectiva que demuestre de manera transparente los impactos y beneficios ambientales, climáticos y económicos de los SAF es vital** para construir la confianza pública y aumentar el apoyo. Para lograr la implantación del SAF a gran escala, será importante crear conciencia pública sobre los SAF como una de las soluciones para reducir las emisiones netas de GEI de la aviación. Sin un aumento

⁵⁶ <https://www.airportcarbonaccreditation.org/>

en la conciencia y una percepción pública positiva, desde los productores de las materias primas, pasando por el personal de aeropuertos y aerolíneas, hasta los pasajeros, aumentar la producción puede seguir siendo un desafío. Construir y mantener el apoyo para los SAF puede ser particularmente difícil debido a la complejidad de las cadenas de suministro y los modelos con múltiples materias primas y vías de conversión. Por lo tanto, una comunicación precisa y transparente será esencial para dicho apoyo. Será necesario mostrar que los beneficios son reales y tangibles, respaldados por datos científicos y rigurosos que pueden entenderse claramente. Asimismo, será fundamental que esa comunicación sea bidireccional, estableciendo un diálogo con todas las partes interesadas en la producción de SAF y actores clave de la cadena de valor.

5. Certificación de sostenibilidad y trazabilidad

Los criterios de sostenibilidad y de reducción de emisiones establecidos en la RED y sus actos delegados, marcan la elegibilidad de los SAF para obligaciones como las del Reglamento ReFuelEU Aviation o los beneficios asociados en el ETS.

Estos criterios se acreditan mediante esquemas de certificación de la sostenibilidad nacionales o voluntarios⁵⁷.

ISCC (*International Sustainable & Carbon Certification*) es una entidad creada en 2006 cuyo objeto es certificar mediante un esquema voluntario los criterios de sostenibilidad en la producción de combustibles sostenibles. Sus sistemas de acreditación son los más utilizados en el seno de la UE.

En el ámbito de los SAF, **ISCC dispone de tres sistemas con diferente alcance:**

ISCC EU	ISCC Plus	ISCC CORSIA
• Reconocido por el EEA, Reino Unido y Suiza • Usado para cumplimiento de los criterios de sostenibilidad de la RED • El SAF certificado por ISCC EU se puede utilizar para cumplimiento de RED, ReFuelEU y ETS	• Aplicable en mercados voluntarios • Usado en mercados no regulados	• Reconocido por la OACI • Usado para demostrar cumplimiento con los criterios de sostenibilidad de CORSIA (sólo aplicable a SAF) • El SAF certificado por ISCC CORSIA se puede utilizar para cumplimiento de CORSIA • Se hace referencia a este esquema en la guía IRS del <i>US IRA's SAF blender's tax credit</i>

La certificación de instalaciones de producción es posible con varios de estos esquemas. Sin embargo, a la fecha de cierre de este informe, la emisión de pruebas de sostenibilidad para un mismo lote de producto, es únicamente posible para un único esquema (no existe reconocimiento entre estos esquemas).

⁵⁷ https://energy.ec.europa.eu/topics/renewable-energy/bioenergy/voluntary-schemes_en

Scheme	EU RED	ReFuelEU	EU ETS	CORSIA	⁶⁵ SBTi
ISCC Plus					
RSB					
ISCC EU					
RSB EU RED					
ISCC CORSIA					
RSB CORSIA					
Nat. Sust. Schemes*	* National Sustainability Schemes not recognised by the EC for RED certificates are not valid outside the State & limit exports/imports				

Figura 23 – Ejemplos de compatibilidad de diferentes sistemas de acreditación. Fuente: [ECAC](#)

5.1. Esquema de certificación ISCC EU

El Reglamento ReFuelEU Aviation utiliza el esquema de sostenibilidad ISCC EU que se basa principalmente en la RED II, compatible con la revisión de la misma a través de RED III.

Requisitos

Marcan la sostenibilidad y permiten la acreditación dentro de la certificación ISCC EU.

Son de varios tipos:

- Las materias primas que pueden ser utilizadas en la fabricación de biocombustibles se encuentran recogidas en la RED III (ver [Anexo II](#)).
- Otros criterios que permiten certificar la sostenibilidad de la materia prima añadidos a los referidos en el Anexo IX serían que su procedencia no estuviera incluida en los descritos en el Anexo VII.

Trazabilidad

Supone la revisión continua de toda la cadena de suministro desde la entrada de material en el proceso hasta la producción y entrega de biocombustible.

La documentación necesaria⁵⁸ para asegurar la trazabilidad tiene tres partes. Cada una de ellas precisa de unos datos a aportar. Los detalles de cada parte se encuentran recogidos en el [Anexo VIII](#).

⁵⁸ https://www.iscc-system.org/wp-content/uploads/2024/01/ISCC_EU_203_Traceability_and_Chain-of-Custody_v4.1_January2024-1.pdf

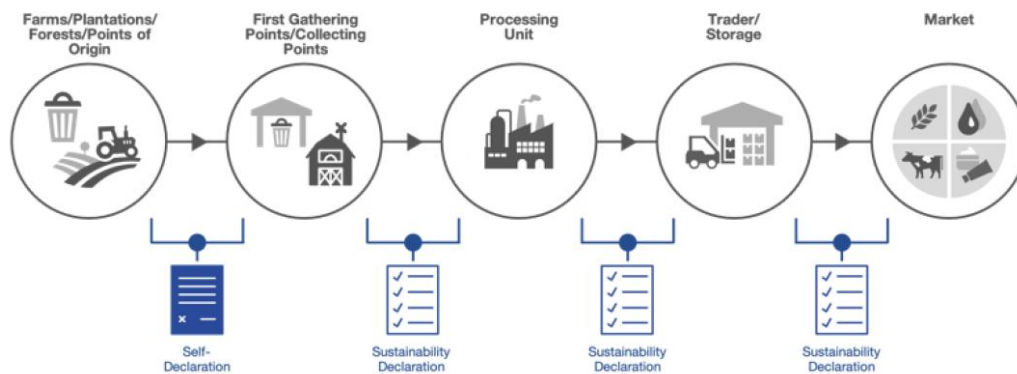


Figura 24 – Fuente: ISCC EU 203 de www.iscc-system.org

Procedimiento

Los procedimientos internos⁵⁹ de las empresas obligan a operar un sistema de informes periódicos sobre las cantidades entrantes y los niveles de almacenamiento al principio y al final del período, y las cantidades salientes de productos sostenibles y no sostenibles. Las empresas están obligadas a informar inmediatamente a su organismo de certificación si se produce alguna discrepancia en la documentación, los informes y el flujo de materiales. Estos requisitos son los mismos que se utilizan en la ISCC PLUS de la que se hablará más adelante.

Registro

El registro con toda la información requerida, una vez auditada, dará lugar a la emisión de un certificado de cumplimiento de la normativa ISCC EU, es decir, permite registrar el producto final como sostenible.

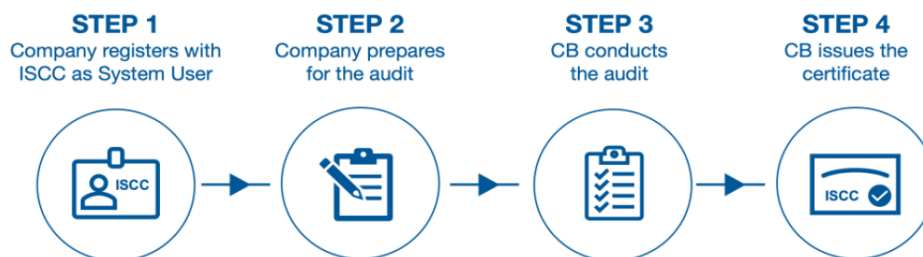


Figura 25 – Pasos para obtener la certificación ISCC. Fuente: ISCC EU 203 de www.iscc-system.org

Es importante destacar que hay que generar un registro distinto por cada uno de los centros de producción de combustibles, es decir, no sirve un solo registro para varios centros de fabricación.

⁵⁹ https://www.iscc-system.org/wp-content/uploads/2024/01/ISCC_EU_201_System_Basics_4.1_January2024.pdf

Auditoría

Existen dos tipos de auditorías⁶⁰:

- Las auditorías de certificación: Se han de realizar cada 12 meses, conforme a la validez de la certificación.
- Las auditorías de verificación: Son retrospectivas y se centran en la verificación de operaciones y afirmaciones realizadas durante el período de certificación anterior, excepto la primera que se enfoca en revisar los procedimientos necesarios para implementar los requisitos de esquema.

Las entidades certificadoras pueden actuar de oficio cuando lo estimen oportuno revisando el cumplimiento de los procedimientos, realizando por tanto una labor de vigilancia.

Obtención del certificado

Una vez que la empresa certificadora verifique a través de la auditoría el cumplimiento de los procedimientos de ISCC, emitirá el certificado, el cual constatará los procesos autorizados, así como las materias primas y productos finales amparados por el mismo.

Al renovar un certificado se mantiene el histórico de los anteriores en estado caducados. Todos los certificados son visibles y se pueden descargar de la web de ISCC⁶¹.

5.2. Esquema de certificación ISCC Plus

ISCC PLUS es un sistema de certificación para todos los mercados y sectores no regulados por la RED II. Si bien, el reglamento no lo recoge, podría ser una opción contemplada en un futuro.

Los esquemas de certificación ISCC PLUS e ISCC EU están ampliamente armonizados, siendo válidos los documentos del sistema de ISCC EU como documentos del sistema ISCC PLUS (pero no al revés).

La principal diferencia de la ISCC PLUS frente a la ISCC EU se centra en que las materias primas certificadas en el primero son más amplias y no tienen por qué tener un origen biológico como sí ocurre con la ISCC EU. La categorización de las materias primas bajo ISCC PLUS también es diferente, pudiendo encontrarse estas tres categorías:

1. Bio: Las materias primas biológicas se derivan de la biomasa virgen.
2. Bio-circular y Circular: Las materias primas biocirculares y circulares son materiales que se encuentran al principio de la cadena de suministro y que se consideran residuos.
3. Materia prima derivada de energía renovable: Esta categoría comprende los productos que utilizan energía renovable (por ejemplo, electricidad renovable u otras fuentes de energía renovables, excepto la biomasa) como parte integrante de la reacción.

Por otro lado, hay algunos requisitos diferentes entre ambos esquemas, especialmente en lo que respecta al cálculo de emisiones de GEI: mientras que en ISCC EU este cálculo

⁶⁰ https://www.iscc-system.org/wp-content/uploads/2024/01/ISCC_EU_103_Requirements_for_CBs_and_Auditors_v4.1_January2024.pdf

⁶¹ <https://www.iscc-system.org/certification/certificate-database/valid-certificates/>

es obligatorio, en ISCC PLUS es voluntario. Pese que ambos esquemas tienen los mismos requisitos de balance de masas, ISCC PLUS permite la transferencia de créditos de un periodo de balance a otro sin que sea necesario producto físico y entre diferentes unidades de proceso e instalaciones con unas condiciones descritas en la normativa.

5.3. Esquema de certificación ISCC CORSIA

En 2016 ISCC en estrecha colaboración con OACI desarrolló el esquema ISCC CORSIA, mediante el cual los operadores económicos y las compañías aéreas pueden demostrar el cumplimiento de los criterios de sostenibilidad CORSIA para combustibles de aviación.

Requisitos para ser considerado combustible elegible por CORSIA

Para que un SAF pueda ser considerado elegible por CORSIA debe lograr reducciones netas de emisiones de GEI de al menos un 10% en comparación con el Jet-A1 convencional en el ciclo de vida (incluyendo las emisiones de la cadena de suministro completa de producción y uso y las emisiones del cambio inducido del uso de la tierra), y no debe estar hecho de biomasa obtenida de tierras con altas reservas de carbono.

Todo el SAF elegible dentro de este esquema debe certificar su cumplimiento de los 14 principios de sostenibilidad aprobados por OACI para la producción de SAF⁶².

Los requisitos de las materias primas y procesos de producción son similares al esquema ISCC EU, reconociendo además el SAF producido en plantas de coprocesado con combustible de origen fósil.

Limitaciones del esquema ISCC CORSIA

En el momento de elaboración de este documento ISCC CORSIA presenta una serie de limitaciones entre las que cabe destacar:

- ISCC CORSIA no reconoce otros esquemas de sostenibilidad
- En la actualidad el combustible suministrado bajo este esquema no es reconocible para las aerolíneas de cara a alcanzar los requisitos de ETS, ni para los suministradores en relación a los objetivos de renovables (RED III) y de SAF (ReFuelEU Aviation).

5.4. Otros esquemas o normativas

Existen otras alternativas reconocidas para certificar que los biocombustibles se producen de manera sostenible, como el RSB EU RED (*Roundtable for Sustainable Biofuels*) que está desarrollando, de forma complementaria a los esquemas de sostenibilidad, un ecosistema alrededor de sus certificaciones incluyendo una plataforma para comercialización de reducciones voluntarias de emisiones.

Adicionalmente, IATA está desarrollando un registro para facilitar el seguimiento del uso de SAF bajo diversas certificaciones.

Cabe también mencionar el papel de la Union database, que supone un cambio de un sistema tradicionalmente en papel (con declaraciones y pruebas de sostenibilidad) a un sistema de trazabilidad digital para todas las transacciones de combustibles (y sus

⁶² https://www.icao.int/environmental-protection/CORSIA/Documents/CORSIA_Eligible_Fuels/ICAO%20document%2005%20-%20Sustainability%20Criteria%20-%20November%202022.pdf

productos intermedios) a nivel europeo. Esta base de datos se configura como una herramienta fundamental en la trazabilidad y reporte de los SAFs en todos los ámbitos regulatorios europeos.

5.5. Entidades certificadoras

La orden TEC/1420/2018⁶³ define el procedimiento de certificación bajo el punto de vista de a quién es aplicable el procedimiento en sí, indicando los elementos que deben de computarse, las entidades de certificación y auditoras externas, así como el periodo de validez de la certificación.

La orden anterior hace referencia al RD 376/2022 que establece en su artículo 11 los criterios que han de cumplir las entidades certificadoras, haciendo referencia al sistema nacional ENAC y cualquier otro sistema reconocido a tal efecto en la UE.

⁶³ Orden TEC/1420/2018, de 27 de diciembre, por la que se desarrollan los aspectos de detalle del Sistema Nacional de Verificación de la Sostenibilidad y de la emisión del informe de verificación de la sostenibilidad regulados en el Real Decreto 1597/2011, de 4 de noviembre, por el que se regulan los criterios de sostenibilidad de los biocarburantes y biolíquidos, el Sistema Nacional de Verificación de la Sostenibilidad y el doble valor de algunos biocarburantes a efectos de su cómputo.

6. Conclusiones: recomendaciones y propuestas para fomentar la creación de una cadena de valor para la producción y suministro de SAF en España.

El sector aéreo reconoce que la utilización de combustibles fósiles contribuye a las emisiones antropogénicas de gases de efecto invernadero, tal y como se indica en el sexto informe del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) y se ha comprometido a alcanzar la neutralidad de CO₂ para 2050.

En España, en 2023, un 12,8% del PIB provino del sector turístico ([fuente ICEX](#)) y más del 80% de los turistas que visitaron nuestro país llegaron por vía aérea.

La hoja de ruta de descarbonización de la aviación está basada en 4 ejes: mejoras tecnológicas, gestión del tráfico aéreo, mecanismos de compensación y el uso de SAF.

Los SAF son combustibles de aviación que cumplen los estándares internacionales y los criterios de sostenibilidad que deben estar acreditados por una entidad certificada con un esquema válido. Los SAF son el principal contribuidor a la descarbonización, aportando aproximadamente el 61% de las reducciones de CO_{2eq}, en un escenario intermedio de mejoras tecnológicas, incluyendo el uso de aeronaves tecnologías disruptivas.

La reducción de CO₂ en el uso de los SAF se produce, fundamentalmente, ligada a la materia prima usada para su producción. En los combustibles convencionales, la materia prima es el petróleo que genera emisiones de CO_{2eq} durante todo su ciclo de vida (extracción, transporte, transformación, almacenamiento y combustión), según la Directiva de Europea de Energías Renovables (RED): 94 gCO_{2eq}/MJ.

Los SAF (según definición del Reglamento ReFuelEU Aviation) reducen al menos un 70% las emisiones de CO_{2eq} durante su ciclo de vida pudiendo llegar a tener emisiones negativas en casos concretos. En general, el CO₂ liberado durante su combustión, ha sido previamente capturado de la atmósfera, de manera natural o sintética, por lo que no produce incremento neto en la misma.

Los SAF son compatibles con el queroseno de aviación (Jet-A1), permitiendo utilizar los actuales medios sin requerir adaptaciones adicionales. Es decir, **cualquier aeronave que utiliza Jet-A1 puede utilizar SAF sin modificación alguna**. Sucede lo mismo con las instalaciones de almacenamiento, transporte y suministro. Sin embargo, en 2023, sólo el 0,2% del total de combustible de aviación consumido fue SAF.

El desarrollo de una industria nacional del SAF, es una oportunidad de país, con impactos más allá del sector aéreo y energético, con un significativo impacto socioeconómico (inversiones y empleo) y medioambiental (emisiones CO₂ y circularidad).

Los agentes integrantes de la cadena de valor y las administraciones públicas deben colaborar y trabajar en conformar una industria robusta y competitiva de SAF en España, que permita afrontar la descarbonización de la aviación, promoviendo con ello un turismo más sostenible.

6.1. Retos para el despliegue del SAF

Claramente se pueden reducir a dos retos relacionados entre sí: La **disponibilidad y el diferencial de coste** con el queroseno convencional.

El origen del SAF es la lucha contra el cambio climático, y en concreto la reducción de emisiones de CO₂, de aquí la importancia de los criterios de sostenibilidad. Es necesario encontrar un balance adecuado que permita escalar las tecnologías para la producción de SAF según su nivel de madurez asegurando una contribución positiva a nivel ecosistémico.

La tecnología en sí misma, por definición, es neutra, es la manera de implementarla y desarrollarla la que genera impactos positivos o negativos.

Para el despliegue de los SAF son necesarias medidas que incentiven su producción, su consumo y que en las primeras etapas contribuyan a reducir el diferencial de coste. Estas medidas pueden ser:

- Ayudas en la investigación: Mejorar las rutas tecnológicas, de nuevas materias primas sostenibles, procesos más eficientes.
- Marco regulatorio claro y estable: Transmitiendo confianza a todos los agentes implicados.
- Agilización de trámites administrativos para licencias, permisos, certificaciones...
- Mecanismos de flexibilidad que incentiven el escalado de la producción y la competencia, facilitando el acceso al SAF y con ello reducir el diferencial de precio con los combustibles fósiles.
- Incentivos directos e indirectos al consumo y/o producción que contribuyan al crecimiento y madurez en toda la cadena resultando en precios más competitivos. Son especialmente relevantes en estas primeras fases.

La correcta divulgación, mediante una comunicación efectiva y transparente sobre los impactos del SAF, es requerida para construir confianza pública, para el desarrollo de la industria del SAF.

6.2. Ventajas competitivas de España para el SAF

España tiene la oportunidad de convertirse en un productor y exportador de SAF, destacando las siguientes ventajas:

- Menores costes en la generación de energías renovables y menores costes de mano de obra altamente especializada que Europa Central.
- Disponibilidad de materias primas y superficie.
- Infraestructura e industria disponible con refinerías de las más eficientes y aeropuertos con el mayor tráfico de Europa, además de una alta conectividad por vía marina.
- La red logística en España con más de 4.000 km de oleoductos e instalaciones de almacenamiento repartidas por todo el territorio permite operar como un banco de combustibles y ofrece acreditación instantánea, facilitando el movimiento eficiente de combustibles y reduciendo las emisiones de CO₂. Es un sistema logístico de transporte de los combustibles líquidos único en todo el continente.

Teniendo en cuenta que España consume el 10,3% del combustible de aviación comercial en Europa y usando como base el consumo de 2023 (6,7 MT, CORES),

España tendría que consumir, según el Reglamento RefuelEU Aviation, aproximadamente 80 Kt de eSAF en 2030, y superar las 300 Kt en 2035.

Los datos de la Agencia Internacional de la Energía, en su mapa interactivo, posicionan la Península Ibérica como un área preferente para la producción de hidrógeno verde, elemento clave para la producción de eSAF. La producción proyectada para España de 9,6 Mt anuales de hidrógeno verde representaría un 31% del producido en toda Europa, incluyendo Reino Unido, la UE y Noruega.

Por otro lado, el informe de T&E sobre la producción de eSAF en Europa⁶⁴, publicado en enero de 2024 usando información pública, refleja que sólo un 5% se produciría en España, entre 30 y 80 Kt para 2030.

Es claro que un apoyo adecuado en estas fases iniciales de los proyectos de eSAF incrementaría significativamente las probabilidades de convertir a España en el referente europeo en esta tecnología.

6.3. Implicaciones de los SAF en otros sectores

La utilización de SAF tiene implicaciones más allá de los sectores asociados tradicionalmente a la aviación. Se destacan las más relevantes

- Tejido económico, industrial y empleo: Existe consenso mundial en que los SAF generan una gran oportunidad para la creación de empleo, impacto en el PIB, tanto a nivel industrial como en zonas rurales, por su impacto en la gestión de biomásas. Estas últimas ayudan a fijar población en zonas con menor nivel de desarrollo, cohesionando territorio y contribuyendo a una transición justa.
- Suministro e independencia energética: La producción de combustible a partir de materias primas diferentes al petróleo, permite a países importadores de energías no renovables reducir su dependencia con todas las implicaciones geopolíticas y de seguridad energética que supone.
- Ecosistémicas: La forma de gestionar las materias primas necesarias y la implantación de las instalaciones necesarias afectan a los recursos ecosistémicos. El impacto positivo o negativo dependerá de las acciones concretas. Las limpiezas forestales contribuyen a la reducción de riesgos de incendios, si son correctamente gestionadas. Otro ejemplo es la utilización de biomasa en una etapa inicial evitando la generación de metano, gas cuyo efecto invernadero es 25 veces superior al CO₂.

6.4. Certificaciones de Sostenibilidad y trazabilidad

Su objetivo es asegurar la sostenibilidad del SAF y evitar el fraude. Es imprescindible que existan marcos de certificación que regulen la trazabilidad a lo largo de su ciclo de vida, desde la recogida de la materia prima hasta su entrega al cliente final.

Los esquemas voluntarios y los sistemas nacionales de certificación de los países de la UE contribuyen a garantizar que los combustibles sostenibles se produzcan siguiendo los criterios de sostenibilidad fijados por la Directiva Europea de Energías Renovables. Tanto ISCC EU como RSB EU RED, son ejemplos de esquemas reconocidos por la Comisión Europea y son aceptados en ReFuelEU Aviation para la certificación de SAF.

⁶⁴ *The challenges of scaling up e-kerosene production in Europe*, T&E (2024)

La certificación ISCC EU, basada en la RED, permite a los Estados miembros la potestad de incluir los combustibles de carbono reciclado, producidos entre otras materias primas a partir de residuos plásticos.

ISCC CORSIA es el esquema de certificaciones avalado por OACI a nivel mundial. Presenta diferencias con los estándares de la UE.

Es importante que estos esquemas se actualicen conforme se modifica la normativa y se establezcan nuevos requerimientos.

Mediante los ciclos de certificación y auditoría, estos esquemas constatan que los combustibles se pueden considerar sostenibles verificando los criterios requeridos.

ANEXO I - Criterios de sostenibilidad CORSIA

Según el documento de la OACI sobre los criterios de sostenibilidad CORSIA para combustibles elegibles del CORSIA, se establece lo siguiente⁶⁵:

- Capítulo 1: Criterios de sostenibilidad del CORSIA aplicables a los lotes de combustible elegible para CORSIA producido por un productor de combustible certificado antes del 01 de enero de 2024.

Tema	Principio	Criterios
1. Gases de Efecto Invernadero (GEI)	Principio: El combustible elegible para CORSIA debe generar menos emisiones de carbono en función del ciclo de vida.	Criterio 1.1: El combustible elegible para CORSIA logrará reducciones netas de emisiones de gases de efecto invernadero de al menos un 10 % en comparación con los valores de referencia de las emisiones del ciclo de vida del combustible de aviación en función del ciclo de vida.
2. Reservas de carbono	Principio: El combustible elegible para CORSIA no debe elaborarse a partir de biomasa obtenida de tierras con altas reservas de carbono.	Criterio 2.1: El combustible elegible para CORSIA no se fabricará a partir de biomasa obtenida de tierras convertidas después del 1 de enero de 2008 que eran bosques primarios, humedales o turberas y/o que contribuyan a la degradación de las reservas de carbono en bosques primarios, humedales o turberas como Todas estas tierras tienen altas reservas de carbono. Criterio 2.2: En caso de conversión del uso de la tierra después del 1 de enero de 2008, según se define con base en las categorías de tierra del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC), se calcularán las emisiones de cambio directo del uso de la tierra (DLUC). Si las emisiones de gases de efecto invernadero de DLUC exceden el valor predeterminado de cambio de uso de la tierra inducido (ILUC), el valor DLUC reemplazará el valor ILUC predeterminado.

- Capítulo 2: Criterios de sostenibilidad del CORSIA aplicables a los lotes de combustible elegible para CORSIA producido por un productor de combustible certificado a partir del 01 de enero de 2024 o después.

⁶⁵ https://www.icao.int/environmental-protection/CORSIA/Documents/CORSIA_Eligible_Fuels/ICAO%20document%2005%20-%20Sustainability%20Criteria%20-%20November%202022.pdf

Tema	Principio	Criterios
1. Gases de Efecto Invernadero (GEI)	Principio: CORSIA SAF debería generar menores emisiones de carbono según el ciclo de vida.	Criterio 1.1: CORSIA SAF logrará reducciones netas de emisiones de gases de efecto invernadero de al menos un 10 % en comparación con los valores de referencia de las emisiones del ciclo de vida del combustible de aviación en función del ciclo de vida.
2. Reservas de carbono	Principio: CORSIA SAF no debe elaborarse a partir de biomasa obtenida de tierras con altas reservas de carbono.	Criterio 2.1: CORSIA SAF no se elaborará a partir de biomasa obtenida de tierras convertidas después del 1 de enero de 2008 que eran bosques primarios, humedales o turberas y/o que contribuyan a la degradación de las reservas de carbono en bosques primarios, humedales o turberas, ya que estos Todas las tierras tienen altas reservas de carbono. Criterio 2.2: En caso de conversión del uso de la tierra después del 1 de enero de 2008, según se define con base en las categorías de tierra del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC), se calcularán las emisiones de cambio directo del uso de la tierra (DLUC) . Si las emisiones de gases de efecto invernadero de DLUC exceden el valor predeterminado de cambio de uso de la tierra inducido (ILUC), el valor DLUC reemplazará el valor ILUC predeterminado.
3. agua	Principio: La producción de CORSIA SAF debe mantener o mejorar la calidad y disponibilidad del agua.	Criterio 3.1: Se implementarán prácticas operativas para mantener o mejorar la calidad del agua. Criterio 3.2: Se implementarán prácticas operativas para utilizar el agua de manera eficiente y evitar el agotamiento de los recursos de aguas superficiales o subterráneas más allá de las capacidades de reposición.
4. Suelo	Principio: La producción de CORSIA SAF debe mantener o mejorar la salud del suelo.	Criterio 4.1: Se implementarán mejores prácticas de manejo agrícola y forestal para la producción de materias primas o la recolección de residuos para mantener o mejorar la salud del suelo, como las condiciones físicas, químicas y biológicas.
5. aire	Principio: La producción de CORSIA SAF debería minimizar los efectos negativos sobre la calidad del aire.	Criterio 5.1: Se limitarán las emisiones contaminantes del aire.

6. Conservación	Principio: La producción de CORSIA SAF debe mantener la biodiversidad, el valor de conservación y los servicios ecosistémicos.	Criterio 6.1: CORSIA SAF no se elaborará a partir de biomasa obtenida de áreas que, debido a su biodiversidad, valor de conservación o servicios ecosistémicos están protegidos por el Estado que tiene jurisdicción sobre esa área, a menos que se proporcione evidencia que demuestre que la actividad no interfiere con los propósitos de protección.
		Criterio 6.2: Se seleccionarán materias primas de bajo riesgo de invasión para el cultivo y se adoptarán controles apropiados con la intención de prevenir la propagación incontrolada de especies exóticas cultivadas y microorganismos modificados.
		Criterio 6.3: Se implementarán prácticas operativas para evitar efectos adversos en áreas que, por su biodiversidad, valor de conservación o servicios ecosistémicos, están protegidas por el Estado que tiene jurisdicción sobre esa área.
7. Residuos y productos químicos	Principio: La producción de CORSIA SAF debe promover la gestión responsable de los residuos y el uso de productos químicos.	Criterio 7.1: Se implementarán prácticas operativas para garantizar que los residuos que surjan de los procesos de producción, así como los productos químicos utilizados, se almacenen, manipulen y eliminen de manera responsable.
		Criterio 7.2: Responsable y con base científica Se implementarán prácticas operativas para limitar o reducir el uso de pesticidas.
8. Derechos humanos y laborales	Principio: La producción de CORSIA SAF debe respetar los derechos humanos y laborales.	Criterio 8.1: La producción de CORSIA SAF respetará los derechos humanos y laborales.
9. Derechos de uso de la tierra y uso de la tierra	Principio: La producción de CORSIA SAF debe respetar los derechos sobre la tierra y los derechos de uso de la tierra, incluidos los derechos indígenas y/o consuetudinarios.	Criterio 9.1: La producción de CORSIA SAF respetará los derechos existentes sobre la tierra y los derechos de uso de la tierra, incluidos los derechos de los pueblos indígenas, tanto formales como informales.
10. Derechos de uso del agua	Principio: La producción de CORSIA SAF debe respetar los derechos previos de uso del agua, formales o consuetudinarios.	Criterio 10.1: La producción de CORSIA SAF respetará los derechos de uso del agua existentes de las comunidades locales e indígenas.
11. Desarrollo local y social	Principio: La producción de CORSIA SAF debe contribuir al desarrollo social y económico en regiones de pobreza.	Criterio 11.1: La producción de CORSIA SAF se esforzará por, en regiones de pobreza, mejorar las condiciones socioeconómicas de las comunidades afectadas por la operación.
12. Seguridad alimentaria	Principio: La producción de CORSIA SAF debería promover la seguridad alimentaria en regiones con inseguridad alimentaria.	Criterio 12.1: La producción de CORSIA SAF, en regiones con inseguridad alimentaria, se esforzará por mejorar la seguridad alimentaria local de las partes interesadas directamente afectadas.

ANEXO II - Materias primas contempladas para la fabricación de combustibles avanzados de segunda generación⁶⁶

Parte A

- a) algas cultivadas en estanques terrestres o fotobiorreactores
- b) fracción de biomasa de residuos municipales mezclados, pero no de residuos domésticos separados sujetos a los objetivos de reciclado establecidos en el artículo 11, apartado 2, letra a), de la Directiva 2008/98/CE
- c) biorresiduos según la definición del artículo 3, punto 4, de la Directiva 2008/98/CE recogidos de hogares particulares, sujetos a recogida separada según la definición del artículo 3, punto 11, de dicha Directiva
- d) fracción de biomasa de residuos industriales no apta para su uso en la cadena alimentaria humana o animal, incluido material procedente de la venta al detalle o al por mayor y de la industria agroalimentaria o de la pesca y la acuicultura, con exclusión de las materias primas que figuran en la parte B del presente anexo
- e) paja
- f) estiércol animal y lodos de depuración
- g) efluentes de molinos de aceite de palma y racimos de palma vacíos de la fruta
- h) alquitrán de aceite de resina
- i) glicerol en bruto
- j) bagazo
- k) orujo de uva y lías de vino
- l) cáscaras de frutos secos
- m) envolturas
- n) residuos de mazorca limpios de granos de maíz
- o) fracción de biomasa de residuos y desechos de la silvicultura y de las industrias basadas en los bosques, a saber, cortezas, ramas, aclareos precomerciales, hojas, agujas, copas de árboles, serrín, virutas, lejía negra, lejía marrón, lodos de fibra, lignina y aceite de resina
- p) otras materias celulósicas no alimentarias
- q) otros materiales lignocelulósicos a excepción de las trozas de aserrío y las trozas para chapa
- r) aceites de fusel procedentes de la destilación alcohólica
- s) metanol bruto de la pasta kraft resultante de la producción de pasta de madera
- t) cultivos intermedios, como los cultivos intercalados y los cultivos de cobertura que se plantan en zonas en las que, debido al breve período de vegetación, la producción de cultivos alimentarios y forrajeros se limita a una cosecha y siempre que su uso no genere demanda de tierras adicionales, y a condición de que se mantenga el contenido de materia orgánica del suelo, cuando se utilicen para la producción de biocarburantes para el sector de la aviación
- u) cultivos plantados en tierras gravemente degradadas, excepto cultivos alimentarios y forrajeros, cuando se utilicen para la producción de biocarburantes para el sector de la aviación
- v) cianobacterias

⁶⁶ Directiva (UE) 2018/2001 del Parlamento Europeo y del Consejo de 11 de diciembre de 2018 relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables, Anexo IX, Parte A. Actualizado a fecha 23/09/2024.

Parte B

- a) aceite de cocina usado
- b) grasas animales clasificadas en las categorías 1 y 2 con arreglo al Reglamento (CE) 1069/2009
- c) cultivos dañados que no sean aptos para su uso en la cadena alimentaria humana o animal, excluidas las sustancias que hayan sido intencionadamente modificadas o contaminadas para ajustarse a esta definición
- d) aguas residuales municipales y derivados distintos de los lodos de depuración
- e) cultivos plantados en tierras gravemente degradadas, excluidos los cultivos alimentarios y forrajeros y las materias primas enumeradas en la parte A del anexo, cuando no se utilicen para la producción de biocarburantes para el sector de la aviación
- f) cultivos intermedios, como los cultivos intercalados y los cultivos de cobertura, y excluidas las materias primas enumeradas en la parte A del presente anexo, que se plantan en zonas en las que, debido al breve período de vegetación, la producción de cultivos alimentarios y forrajeros se limita a una cosecha y siempre que su uso no genere demanda de tierras adicionales, y a condición de que se mantenga el contenido de materia orgánica del suelo, cuando no se utilicen para la producción de biocarburantes para el sector de la aviación

ANEXO III - Métodos de fabricación aprobados en la actualidad y en desarrollo

En la actualidad, los métodos de fabricación aprobados son los siguientes:

Ref. técnica	Fecha de aprobación	Acrónimo	Descripción	Mezcla-max %	TRL
ASTM D1655 Annex A.1.2.2.1	2018		Co-proceso de mono-, di- y triglicéridos, ácidos grasos y ésteres de ácidos grasos	N/A*	
ASTM D1655 Annex A.1.2.2.2	2020		Annex A.1.2.2.2 Co-proceso de hidrocarburos obtenidos por Fischer-Tropsch con catalizadores de hierro o cobalto	N/A*	
ASTM D1655 Annex A.1.2.2.3	2023		Co-proceso de hidrocarburos obtenidos por hidroprocesado de mono-, di- y triglicéridos, ácidos grasos y ésteres de ácidos grasos	N/A*	
ASTM D7566 Annex 1	2009	SPK	Queroseno parafínico sintetizado hidroprocesado Fischer Tropsch	50%	7-8
ASTM D7566 Annex 2	2011	HEFA	Queroseno parafínico sintetizado a partir de ésteres hidroprocesados y ácidos grasos	50%	8-9
ASTM D7566 Annex 3	2014	SIP	Isoparafinas sintetizadas a partir de azúcares fermentados hidroprocesados	10%	7-8 o 5
ASTM D7566 Annex 4	2015	SPK/A	Queroseno sintetizado con aromáticos derivados de la alquilación de aromáticos ligeros de fuentes no petroleras.	50%	6-7
ASTM D7566 Annex 5	2016	ATJ/SPK	Alcohol To Jet queroseno parafínico sintético	50%	7-8
ASTM D7566 Annex 6	2020	CHJ	Queroseno sintetizado a partir de la conversión hidrotermal de ésteres de ácidos grasos y ácidos grasos	50%	6
ASTM D7566 Annex 7	2020	HHC-SPK HC-HEFA	Queroseno parafínico sintetizado a partir de hidrocarburos hidroprocesados (por ejemplo, algas que producen triterpenos), ésteres y ácidos grasos	10%	5
ASTM D7566 Annex 8	2023	ATJ-SKA	Alcohol-to-Jet queroseno sintético con aromáticos	50%	7-8

Tabla 1 – Métodos de coproceso aprobados por la norma ASTM D1655 y SBC aprobados según la norma ASTM D7566. Fuente: Elaboración propia sobre información pública y TRL publicados por EASA

*Si bien estos combustibles no se consideran SBC (combustibles sintéticos de mezcla, según definido en 1.2) y no requieren posterior mezclado, el porcentaje máximo de materias alternativas que pueden emplearse en su producción, y por tanto considerarse en el producto final es, actualmente conforme a la norma del 24%.

- Otras tecnologías en curso de aprobación según el proceso establecido en ASTM D4054 (de más avanzado en el proceso a menos):
 - Hydro-deoxygenation Synthetic Aromatic Kerosene HDO-SAK
 - Cycloparaffinic Kerosene CPK-0
 - Hydro-processed Esters and Fatty Acids Synthetic Kerosene with Aromatics, HEFA-SKA
 - Plastics-to-Jet Synthetic Kerosene with Aromatics, PtJ-SKA
 - Methanol-to-Jet, MtJ
 - Pyrolysis Oil to Jet, POtJ
 - Hydrothermal liquefaction HTJ

ANEXO IV - Costes asociados a la producción de SAF (OACI Rules of Thumb)

Summary Table 1 - Feedstock Information

Technology, feedstock type and price, yield, total annual distillate scale, annual SAF production for both nth and pioneer facilities.

Processing Technology	Feedstock	Yield (ton distillate/ton feedstock)	Feedstock Price	Total Capacity (million L/year)		SAF production (million L/yearr)	
				n th	pioneer	n th	pioneer
FT*	MSW	0.31	\$30/ton	500	100	200	40
FT*	forest residues	0.18	\$125/ton	400	100	160	40
FT*	agricultural residues	0.14	\$110/ton	300	100	120	40
ATJ	ethanol	0.60	\$0.41/L	1000	100	700	70
ATJ	isobutanol-low	0.75	\$0.89/L	1000	100	700	70
ATJ	isobutanol-high	0.75	\$1.20/L	1000	100	700	70
HEFA	FOGs	0.83	\$580/ton	1000	-	550	-
HEFA	soybean oil***	0.83	\$809/ton	1000	-	550	-
FT	CO2 from Direct Air Capture (DAC) , H2	0.24	\$300/t, \$6/kg	1000	-	200	-
FT	waste CO ₂ , H ₂	0.24	\$300/t, \$6/kg	1000	-	200	-
Pyrolysis**	forest residues	0.23	\$125/ton	400	100	180	40
Pyrolysis**	agricultural residues	0.21	\$110/ton	400	100	180	40

*feedstock price is for pre-processed feedstock

**pyrolysis ASTM approval is pending.

***2013-2019 average price of soybean and canola oils,

Summary Table 2 - SAF facilities information

Total capital investment (TCI), capital cost, and minimum selling price (MSP) for nth and pioneer facilities for each pathway.

Processing Technology	Feedstock	TCI (million \$)		Capital Cost (\$/L total distillate)		MSP (\$/L)	
		n th	pioneer	n th	pioneer	n th	pioneer
FT*	MSW	1428	813	2.9	8.1	0.9	2.1
FT*	forest residues	1618	1088	4.0	10.9	1.7	3.3
FT*	agricultural residues	1509	1267	5.0	12.7	2.0	3.8
ATJ	ethanol**	328	117	0.3	1.2	0.9	1.1
ATJ	ethanol, agricultural residues	581	170	0.6	1.7	2.2	2.5
ATJ	isobutanol-low**	332	94	0.3	0.9	1.3	1.5
ATJ	isobutanol-high**	410	110	0.4	1.1	1.7	1.9
HEFA	FOGs	448	-	0.4	-	0.8	-
HEFA	vegetable oil	456	-	0.5	-	1.0	-
FT	DAC CO ₂ , H ₂	3366	-	3.4	-	4.4	-
FT	waste CO ₂ , H ₂	3209	-	3.2	-	3.5	-
Pyrolysis***	forest residues	1038	594	2.6	5.9	1.3	2.1
Pyrolysis***	agricultural residues	1084	619	2.7	6.2	1.3	2.2

*feedstock price is for pre-processed feedstock,

**alcohol feedstock is corn-based,

***pyrolysis ASTM approval is pending.

ANEXO V – Volúmenes de Materias Primas

Se adjuntan a continuación los volúmenes de materias primas en función de la ruta tecnológica y los biocombustibles. La producción de hidrocarburos incluye la producción de SAF.

Producción en cantidad de biocarburantes prevista para 2050 asumiendo toda la biomasa sostenible para bioenergía teniendo en cuenta las materias primas europeas enumeradas en el anexo IX A y B de la RED II/2018⁶⁷.

Vía	Combustible	Materia prima	Materia prima prevista (millones de toneladas)	Rendimiento de conversión a combustibles (% masa o según se especifique)	Cantidad estimada de biocarburante avanzado (millones de toneladas)
Hidrotratamiento	HVO/SAF	Grasas animales	2,2	85	1,9
		Aceite de cocina usado (UCO)	7,7	85	6,5
Producción de biogas o vertederos y eliminación de CO ₂	Biometano	Biorresiduos	33-61	24 Nm3/ton feed	0,6 - 1,0
		Lodos de depuradora	6 a 8	24 Nm3/ton feed	0,1 - 0,2
		Estiércol (sólido y líquido)	50-60	24 Nm3/ton feed	0,9 - 1,0
		Residuos agrícolas (alta humedad, hojas de remolacha, etc)	2,5	41,4 Nm3/ton feed	0,1
Hidrólisis y fermentación enzimáticas	Etanol a hidrocarburos y a SAF	Biorresiduos	33-61	15,4	5,1 - 9,4
		Residuos industriales sólidos (agroindustrias y silvicultura secundarias)	142-210	15,4	21,9 - 32,3
		Residuos agrícolas (tipo paja)	136-156	15,4	20,9 - 24,0
		Cultivos lignocelulósicos (gramíneas)	42-127	15,4	6,5 - 19,6

⁶⁷ Fuente: Sustainable-Biomass-Availability-in-the-EU-Part-I-and-II-final-version.pdf (concaawe.eu)

Vía	Combustible	Materia prima	Materia prima prevista (millones de toneladas)	Rendimiento de conversión a combustibles (% masa o según se especifique)	Cantidad estimada de biocarburante avanzado (millones de toneladas)
Gasificación + fermentación	Etanol a hidrocarburos y a SAF	Biorresiduos	33-61	14,85	4,9 - 9,1
		Residuos industriales sólidos (agroindustrias y silvicultura secundarias)	142-210	14,85	21,1 - 31,2
		Residuos agrícolas (leñosos) y forestales	6 a 8	14,85	0,9 - 1,2
		Cultivos lignocelulósicos (leñosos)	42-127	14,85	6,2 - 18,9
Gasificación + síntesis catalítica + RH	Combustible sintético	Biorresiduos	33-61	40	13,2 - 24,4
		Residuos industriales sólidos (agroindustrias y silvicultura secundarias)	142-210	40	56,8 - 84
		Residuos agrícolas (leñosos) y forestales	136-156	40	54,4 - 62,4
		Cultivos lignocelulósicos (leñosos)	6 a 8	40	2,4 - 3,2
		Cultivos lignocelulósicos (leñosos)	42-127	40	16,8 - 50,8

Vía	Combustible	Materia prima	Materia prima prevista (millones de toneladas)	Rendimiento de conversión a combustibles (% masa o según se especifique)	Cantidad estimada de biocarburante avanzado (millones de toneladas)
Coprocesamiento en refinerías de petróleo existentes	Bioaceite/bio crudo coprocesado	Biorresiduos	33 - 61	12	4,0 - 7,3
		Residuos industriales sólidos (agroindustrias y silvicultura secundarias)	142 - 210	12	17,0 - 25,2
		Residuos agrícolas (tipo paja)	136 - 156	12	16,3 - 18,7
		Residuos agrícolas (leñosos) y forestales	6 a 8	12	0,7 - 1,0
		Cultivos lignocelulósicos (leñosos)	42 - 127	12	5,0 - 15,2
Soporte de pirólisis autónomo + RH	Combustibles de hidrocarburos	Biorresiduos	33 - 61	24	7,9 - 14,6
		Residuos industriales sólidos (agroindustrias y silvicultura secundarias)	142 - 210	24	34,1 - 50,4
		Residuos agrícolas (tipo paja)	136 - 156	24	32,6 - 37,4
		Residuos agrícolas (leñosos) y forestales	6 a 8	24	1,4 - 1,9
		Cultivos lignocelulósicos (leñosos)	42 - 127	24	10,1 - 30,5

Vía	Combustible	Materia prima	Materia prima prevista (millones de toneladas)	Rendimiento de conversión a combustibles (% masa o según se especifique)	Cantidad estimada de biocarburante avanzado (millones de toneladas)
HTL autónomo + RH	Combustibles de hidrocarburos	Biorresiduos	33 - 61	28	9,2 - 17,1
		Residuos industriales sólidos (agroindustrias y silvicultura secundarias)	142 - 210	28	39,8 - 58,8
		Residuos agrícolas (tipo paja)	136 - 156	28	38,1 - 43,7
		Residuos agrícolas (leñosos) y forestales	6 a 8	28	1,7 - 2,2
		Cultivos lignocelulósicos (leñosos)	42 - 127	28	11,8 - 35,6
		Biorresiduos	33 - 61	28	9,2 - 17,1
		Residuos industriales sólidos (agroindustrias y silvicultura secundarias)	142 - 210	28	39,8 - 58,8

ANEXO VI - Lista de materias primas que, debido a su origen, no se contabilizan en los objetivos de la RED.

Los biocarburantes, biolíquidos y combustibles de biomasa producidos a partir de biomasa agrícola que se tengan en cuenta para los fines expresados en el apartado 1, párrafo primero, letras a), b) y c), no se fabricarán a partir de materias primas procedentes de tierras de elevado valor en cuanto a biodiversidad, es decir de tierras que en enero de 2008 o más tarde pertenecieran a una de las siguientes categorías, con independencia de que sigan encontrándose en la misma situación:

- a) Bosques primarios y otras superficies boscosas, a saber, los bosques y otras superficies boscosas de especies nativas, cuando no haya signos visibles claros de actividad humana y los procesos ecológicos no estén perturbados significativamente.
- b) Bosques con una rica biodiversidad y otras superficies boscosas que sean ricas en especies y no estén degradadas o que hayan sido clasificadas de gran riqueza desde el punto de vista de la biodiversidad por la autoridad competente correspondiente, a menos de que se demuestre que la producción de esas materias primas no ha interferido con esos fines de protección de la naturaleza.
- c) Zonas designadas:
 - Por ley o por las autoridades competentes correspondientes con fines de protección de la naturaleza.
 - Para la protección de las especies o los ecosistemas raros, amenazados o en peligro, reconocidos por acuerdos internacionales o incluidos en listas elaboradas por organizaciones intergubernamentales o por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza, siempre que hayan sido reconocidas de conformidad con el artículo 30, apartado 4, párrafo primero, a menos que se demuestre que la producción de esas materias primas no ha interferido con esos fines de protección de la naturaleza.
- d) Prados y pastizales con una rica biodiversidad y una extensión superior a una hectárea que sean:
 - Naturales, es decir, prados y pastizales que seguirían siéndolo de no haber intervención humana y que conservan la composición en especies naturales y las características y procesos ecológicos.
 - No naturales, es decir, prados y pastizales que dejarían de serlo de no haber intervención humana, que son ricos en especies y no están degradados, y que han sido clasificados de gran riqueza desde el punto de vista de la biodiversidad por la autoridad competente correspondiente, salvo que se demuestre que la explotación de las materias primas es necesaria para preservar su condición de prados y pastizales con una rica biodiversidad.

ANEXO VII - Impacto del Reglamento ReFuelEU Aviation en repostajes

En referencia al conjunto de regulaciones de la Agencia Europea de Seguridad Aérea (EASA), el punto CAT.OP.MPA.180 del Reglamento 965/2012 ("AIR-OPS") establece la posibilidad de aplicar tres esquemas de combustible diferentes: básico, básico con variaciones o individual.

El esquema de combustible individual está disponible para operadores con un sistema maduro, sujeto a aprobación y respaldado por una demostración operacional que garantice el mantenimiento del nivel de seguridad. La obligación del cumplimiento del artículo 5 de RefuelEU Aviation sobre la obligación de repostaje, tendrá diferentes impactos en los distintos esquemas de combustible, diseñados para optimizar el consumo de combustible, y no se pueden generalizar su aplicación.

El punto CAT.OP.MPA.181 de las AIR-OPS se refiere específicamente a la planificación del combustible y la política de replanificación en vuelo para aviones. En otras palabras, indica cómo los operadores aéreos deben calcular la cantidad de combustible necesaria para un vuelo considerando diferentes escenarios.

De acuerdo con el citado punto CAT.OP.MPA.181, las aerolíneas deben asegurarse de cargar suficiente combustible en 8 categorías (rodaje, trayecto, contingencias, alternativa de destino, reserva final, adicional para el aterrizaje en un aeródromo alternativo, extra y discrecional).

El repostaje en aproximación a un aeropuerto en condiciones de meteorología adversa, por ejemplo, con nevadas y en una operación con una sola pista disponible, requiere cantidades significativas de combustible adicional (holding) en caso de que el aeropuerto cierre para el poder quitar la nieve de la pista. En la mayoría de los casos, es probable que dicha circunstancia no suceda, aunque se haya contemplado durante la planificación por seguridad, lo que dará como resultado una gran cantidad de combustible remanente. Por lo tanto, es posible que la próxima salida solo requiera una pequeña carga de combustible o incluso ninguna. Dado que esta situación puede ser habitual durante toda la época invernal, provocará que se esté por debajo del objetivo del promedio anual del 90% y por tanto debería justificarse el incumplimiento.

Para la aplicación del artículo 5 (2) del Reglamento RefuelEU Aviation, también hay que tener en cuenta las restricciones de repostaje y el impacto de éstas para su cumplimiento:

- No se permite repostar/desabastecer combustible durante tormentas eléctricas o caída de rayos en las cercanías del aeropuerto.
- No se debe cargar combustible cuando haya una aeronave con los motores encendidos cerca del área de repostaje.
- No se debe repostar combustible cuando los frenos del tren de aterrizaje estén sobrecalentados de manera anormal. Este factor es de cada vez más frecuente al aplicarse en muchos aeropuertos el requisito de minimizar el tiempo de ocupación en pista (ROT: Runway Occupancy Time), lo cual conlleva a utilizar los frenos de manera más intensa y, por tanto, provocando un aumento sustancial de su temperatura. La aeronave debe esperar hasta que la temperatura haya disminuido, lo que genera un impacto en la operativa.
- Si hay muchos camiones cisterna circulando por la plataforma, se presenta un problema adicional de seguridad por riesgo de colisiones con el factor agravante

de derrames de combustible, el cual, al ser un material inflamable, es un tipo de mercancía peligrosa.

- Aumentaría la cantidad de repostajes con pasajeros embarcando o desembarcando. Este tipo de operación está permitida, pero conlleva un aumento significativo de las medidas de seguridad. Una de ellas es la disponibilidad de bomberos preparados para actuar, lo cual es un aspecto importante a tener en cuenta para el aeropuerto, sobre todo en los pequeños. En algunos casos, puede que no sea posible realizar repostajes con pasajeros a bordo.

Otras razones que obligaría a las aerolíneas a justificar el no cumplimiento de dicha restricción por repostar más combustible serían:

- Falta de disponibilidad de combustible en un aeropuerto (por diversos motivos).
- Huelgas, incluido el control de tráfico aéreo (ATC).
- Protestas ecologistas que afectan el acceso a la infraestructura de combustible.
- Problemas en las refinerías.
- Problemas en la cadena de suministro que afectan el transporte de combustible, por ejemplo, en islas.
- Huelgas con proveedores de combustible en ciertos aeropuertos.
- Producto contaminado en el destino.
- Falta de equipos de repostaje (debido al aumento de repostajes por la entrada en vigor de este artículo).
- Falta de personal en los aeropuertos.
- Vuelos que llegan con gran retraso, en período nocturno a un aeropuerto. Posibles restricciones de suministro por llegar de noche.

ANEXO VIII - Documentación necesaria para justificar la trazabilidad de la materia prima usada en un proceso de fabricación de biocombustibles.

- 1) En el centro o plantación de la materia prima se ha de aportar la siguiente información:
 - Nombre y dirección de la finca o plantación
 - Nombre y dirección del primer punto de entrega
 - Número de lote
 - Cantidad y tipo de cultivo
 - Contrato
 - Medio y distancia de transporte utilizado
 - Declaración sobre la región NUTS2 donde se cultivó la biomasa
- 2) Una vez recibida la materia prima se ha de informar para iniciar la fabricación se ha de aportar:
 - Descripción de procesos internos
 - Cantidades de materias primas si no son idénticas al producto sostenible entrante
 - Cantidades de coproductos, si se requieren para el cálculo de GEI
 - Cantidades de desechos o residuos si se requieren para el cálculo de GEI
 - Rendimientos/factores de conversión relevantes
 - Factores de asignación
 - Emisiones de procesos de GEI
 - Fecha de producción si es necesario
- 3) Para la trazabilidad, la oficina central debe proporcionar:
 - Listado de todas las fincas o plantaciones que forman parte del grupo
 - Contratos/acuerdos con todos los miembros del grupo
 - Autodeclaraciones/autovaloraciones de los miembros del grupo
 - Documentación de auditorías internas
 - Copias de todas las Declaraciones de Sostenibilidad emitidas por los miembros del grupo
 - Contabilidad de cantidades salientes basada en la Sostenibilidad.