

# Combustibles de aviación sostenibles

## Sustainable aviation fuels

Claudia Esarte Relanzón, Alfonso García de las Heras, Dolores Cárdenas Almena  
Repsol Technology Lab (España)

DOI: <https://doi.org/10.6036/10984>

### 1. EMISIONES DE CO<sub>2</sub> DEL SECTOR DE LA AVIACIÓN Y POSICIONAMIENTO INTERNACIONAL

El sector de aviación comercial emitió 915 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> en 2019, el 2 % de las emisiones de la actividad humana y el 12 % de las emisiones de CO<sub>2</sub> del transporte [1]. Así, el sector se ha comprometido a mitigar su impacto en el cambio climático.

Recientemente, International Civil Aviation Organization (ICAO) e International Air Transport Association (IATA) han acordado ser neutros en emisiones en 2050 [2,3]. ICAO propone medidas como mejoras tecnológicas, infraestructurales y operacionales, uso de combustibles de aviación sostenibles y un sistema mundial de comercio de emisiones de CO<sub>2</sub> [4]. La Figura 1 muestra la contribución prevista de dichas medidas, destacando el papel del combustible de aviación sostenible, SAF por sus siglas en inglés (Sustainable Aviation Fuel).

La Unión Europea (UE) se ha comprometido a reducir en un 90 % las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) procedentes del transporte para 2050. La hoja de ruta para alcanzar dicho objetivo incluye el paquete Fitfor55, que establece medidas para reducir las emisiones de GEI al 55 % antes de 2030 [6].

Así, la propuesta de Reglamento Re-Fuel Aviation obligará a los suministradores de combustibles a incorporar cantidades crecientes de SAF en el combustible de aviación en los aeropuertos de la UE, incluyendo subcuotas para los e-fuels. En la Tabla I se recogen los porcentajes de SAF y Residual Fuels of Non Biological Origin (RFNBO), que incluyen los e-fuels, que deberán incorporar los combustibles de aviación a partir de 2025.

Además, para impulsar la incorporación de SAF, se plantea la implementación de dos elementos: la Energy Taxation Directive (ETD), que propone que el keroseno de aviación no esté exento de impuestos dentro de la UE, y el sistema EU-ETS (Emissions Trading System), según el cual las aerolíneas responderán por las emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas a sus vuelos, pudiendo negociar con los derechos de emisión asignados en el mercado EU-ETS, implantado para este sector desde 2012.

### 2. COMBUSTIBLES DE AVIACIÓN SOSTENIBLES

#### 2.1 RUTAS TECNOLÓGICAS APROBADAS PARA PRODUCCIÓN DE COMBUSTIBLES DE AVIACIÓN SINTÉTICOS Y ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS COMBUSTIBLES DE AVIACIÓN SOSTENIBLES

La Norma ASTM D7566, que recoge los requisitos técnicos y de fabricación de combustibles de aviación sintéticos [8], reconoce 7 rutas para la fabricación de combustibles sintéticos de aviación. El proceso de aprobación de dichas rutas [9] es largo y costoso, aunque desde 2020, existe la posibilidad de aprobar rutas me-

| Año  | Mínimo volumen SAF (% en el combustible) | Mínimo RFNBO (% del total de SAF) |
|------|--|-----------------------------------|
| 2025 | 2  | -                                 |
| 2030 | 6  | 0,7                               |
| 2032 | 6  | 1,2                               |
| 2034 | 6  | 2                                 |
| 2035 | 20                                       | 5                                 |
| 2040 | 34                                       | 10                                |
| 2045 | 42                                       | 15                                |
| 2050 | 70                                       | 28                                |

Tabla I: Incorporación de SAF en el combustible de aviación en aeropuertos de la UE [7].

dante fast track, pudiendo reducirse el tiempo de aprobación, coste y volumen de combustible necesario.

Las Normas Def Stan 91-091 [10] y ASTM D1655 [11] establecen los requisitos técnicos y propiedades que debe satisfacer el keroseno de aviación. Estas normas reconocen el uso de combustibles procedentes de materias primas no convencionales.

La Norma ASTM D7566 [8] es la primera especificación que define un keroseno no procedente del crudo y recoge la especificación de los combustibles de aviación para turbinas que contienen hidrocarburos sintéticos.

La Tabla II recoge un resumen de las rutas tecnológicas aprobadas, las materias primas, el proceso y el volumen de componente sintético permitido en la mezcla final.

La Norma ASTM D7566 incluye las especificaciones para la mezcla final (combustible sintético y keroseno convencional) y los anexos recogen las rutas de producción de combustible aprobadas, incluyendo requisitos específicos para los productos de dichas rutas. Los porcentajes de mezcla varían entre el 10 y el 50 % v/v, en función del origen del componente sintético.

Una vez mezclado el componente sintético y la mezcla cumple con los requisitos para mezcla final de la ASTM D7566, el combustible cumple con la ASTM D1655 y se considera como Jet, es decir, keroseno convencional.

La Norma se encuentra en permanente revisión debido a la aprobación de nuevas rutas para producción de combustibles sintéticos de aviación. Actualmente, se está evaluando la viabilidad técnica y el desarrollo de una especificación para SAF 100 % renovable.

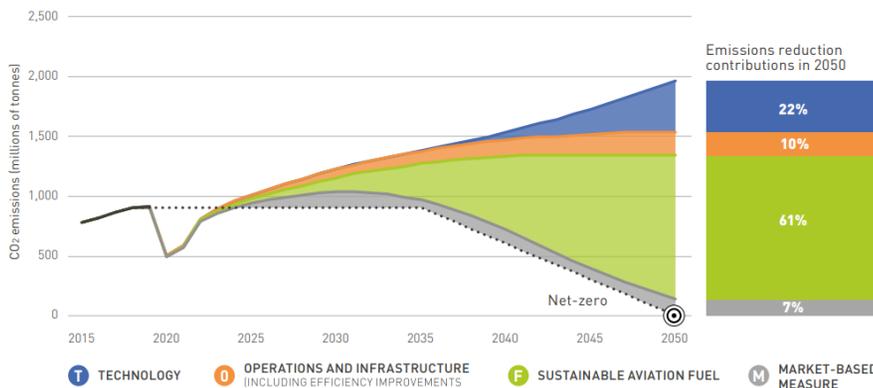


Figura 1 Contribución prevista de medias propuestas para reducir emisiones de CO<sub>2</sub> de la aviación internacional (ATAG) [5].

| Anexo (año)  | Ruta certificada   | Materia prima certificada  | Proceso certificado  | % Máx. (v/v) |
|--------------|--|--|--|--------------|
| A1 (2009)    | FT-SPK<br>Queroseno parafínico sintético Fischer-Tropsch   | Syngas (H <sub>2</sub> +CO): Gasificación de residuos, residuos biomasa (agroforestales, cultivos vegetales), carbón o gas natural | Pretratamiento materia prima, gasificación, limpieza y acondicionamiento syngas, catálisis FT, destilación e hidrocrqueo. Etapas adicionales: isomerización y reformado catalítico   | 50           |
| A2 (2011)    | HEFA-SPK<br>Queroseno parafínico sintetizado a partir de ésteres y ácidos grasos hidroprocesados                   | <b>Ésteres y ácidos grasos</b>   | Desoxigenado e hidroprocesado posterior para producir componente de mezcla de combustible de hidrocarburo  | 50           |
| A3 (2014)    | HFS-SIP<br>Iso-parafinas sintetizadas a partir de azúcares fermentados hidroprocesados                             | Azúcares   | Utilizando levaduras modificadas, los azúcares se convierten en hidrocarburos mediante un proceso de fermentación  | 10           |
| A4 (2015)    | FT-SPK/A<br>Queroseno parafínico hidroprocesado Fischer-Tropsch con alquilación aromática                          | Syngas: Gasificación de RSU, residuos agroforestales, vegetales, syngas procesos PtL   | Variación FT-SPK. La alquilación de aromáticos ligeros crea mezcla de hidrocarburos que incluye aromáticos   | 50           |
| A5 (2016-18) | ATJ-SPK<br>Queroseno parafínico sintetizado a partir alcoholes   | Isobutanol y etanol  | Deshidratación, oligomerización e hidroprocesamiento para convertir alcoholes en hidrocarburos   | 50           |
| A6 (2020)    | CHJ<br>Queroseno sintetizado a partir de conversión hidrotérmica de ésteres y ácidos grasos                        | <b>Ésteres y ácidos grasos</b>   | En condiciones de temperatura y presión muy altas, se forma una fase que consta de FFA y agua supercrítica en la que los FFA se craquean, isomerizan y ciclan en parafina, isoparafina, cicloparafina y compuestos aromáticos. | 50           |
| A7 (2020)    | HC-HEFA SPK<br>Queroseno parafínico sintetizado a partir de hidrocarburos, ésteres y ácidos grasos hidroprocesados | Hidrocarburos biológicamente derivados y ésteres y ácidos grasos   | Hidroprocesamiento de hidrocarburos bioderivados, que provienen de aceites que se encuentran en un alga específica   | 10           |
| A8 (2023)    | ATJ-SKA<br>Queroseno parafínico sintetizado a partir alcoholes   | Alcoholes C <sub>2</sub> a C <sub>5</sub>  | Conversión de alcoholes por oligomerización, hidrogenación y fraccionamiento (producto no aromático) y por otro lado por aromatización y fraccionamiento (producto aromático)  | 50           |

Tabla II: Rutas tecnológicas aprobadas para producción de combustibles de aviación sintéticos (ASTM D7566)

Por último, destacar que las Normas ASTM D1655 y Def Stan 91-091 permiten producir combustible de aviación mediante coprocesado con hasta un 5 %v/v de materias primas alternativas junto el crudo y se está evaluando la posibilidad de incrementar este porcentaje hasta el 30 %v/v. La normativa exige requisitos de calidad adicionales para estos combustibles.

### 2.2 CERTIFICACIÓN DE SOSTENIBILIDAD

Es necesario garantizar el origen sostenible y la reducción de emisiones de carbono netas en un análisis de ciclo de vida de los combustibles de aviación sostenibles.

La obligación de certificar la sostenibilidad del combustible de aviación recae sobre el productor de combustible. Esta certificación es necesaria para que estos combustibles se consideren elegibles para cumplir la propuesta de Reglamento Re-Fuel Aviation y que las aerolíneas puedan beneficiarse de incentivos fiscales y participar en el sistema de comercio de emisiones.

En este sentido, existen sistemas de certificación de sostenibilidad para la

producción de combustibles. El productor certificado de SAF emitirá el certificado correspondiente de sostenibilidad y se entregará con el combustible junto con el resto de información del lote. Actualmente, CORSIA reconoce dos sistemas de certificación de sostenibilidad: International and Sustainability and Carbon Certification (ISCC) y Roundtable Sustainable Biomaterials (RSB).

### 3. IMPACTO DE LAS EMISIONES DISTINTAS DEL CO<sub>2</sub> DE LA AVIACIÓN EN EL CLIMA

Aunque el CO<sub>2</sub> es el componente mayoritario en las emisiones de las aeronaves, otros subproductos de combustión como el vapor de agua, óxidos de nitrógeno y aerosoles pueden afectar al cam-

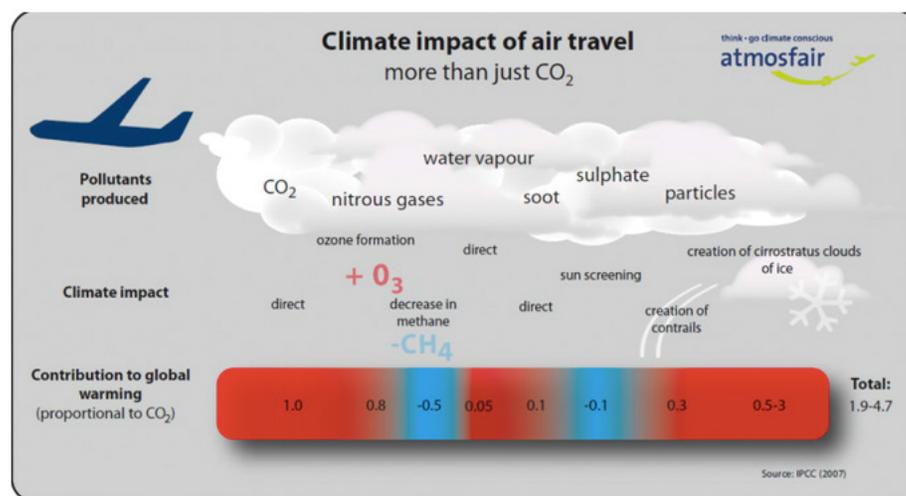


Figura 2. Contribución prevista de medias propuestas para reducir emisiones de CO<sub>2</sub> de la aviación internacional (ATAG) [5].

| Anexo (año)  | Ruta certificada   | Compañías desarrolladoras, licenciantes y productoras de SAF  |
|--------------|--|---|
| A1 (2009)    | FT-SPK<br>Queroseno parafínico sintético Fischer-Tropsch   | Repsol (2024), Fulcrum Bioenergy, Re Rock Biofuels, SG Preston, Kaidi, Sasol, Shell Syntroleum        |
| A2 (2011)    | HEFA-SPK<br>Queroseno parafínico sintetizado a partir de ésteres y ácidos grasos hidroprocesados                           | Repsol (2023), World Energy, Honeywell UOP, Neste Oil, Dynamic Fuels, EERC, Eni                       |
| A3 (2014)    | HFS-SIP<br>Iso-parafinas sintetizadas a partir de azúcares fermentados hidroprocesados                                     | Amyris, Total   |
| A4 (2015)    | FT-SPK/A<br>Queroseno parafínico hidroprocesado Fischer-Tropsch con alquilación aromática                                  | Sasol   |
| A5 (2016-18) | ATJ-SPK<br>Queroseno parafínico sintetizado a partir alcoholes   | Gevo, Cobalt, Honeywell UOP, LanzaJet, Swedish Biofuels, Byogy, Axens/Air Liquid, Enerkem, ExxonMobil |
| A6 (2020)    | CHJ<br>Queroseno sintetizado a partir de la conversión hidrotérmica de ésteres y ácidos grasos (licuefacción hidrotérmica) | Applied Research Associates (ARA)   |
| A7 (2020)    | HC-HEFA SPK<br>Queroseno parafínico sintetizado a partir de hidrocarburos, ésteres y ácidos grasos hidroprocesados         | IHI Corporation   |

Tabla III: Principales desarrolladores, licenciantes, productores y rutas de producción de SAF [14]

bio climático. Al reducirse la emisión neta de CO<sub>2</sub> debido al uso de SAF, este tipo de emisiones incrementará su contribución al calentamiento global [12,13].

La Figura 2 recoge el impacto climático de los gases de escape de la aviación:

Las estelas y cirros inducidos por el vapor de agua y los aerosoles procedentes de las aeronaves atrapan la radiación infrarroja produciendo un efecto de calentamiento de hasta 3 veces el del CO<sub>2</sub>. Aunque las estelas y cirros tienen una vida relativamente corta, su influencia colectiva, asociada a miles de vuelos, tiene un efecto de calentamiento grave.

Es necesario ampliar el conocimiento en la formación e impacto de las estelas y las nubes inducidas por éstas para desarrollar estrategias de mitigación. El uso de SAF podría ser una alternativa, gracias a su naturaleza parafínica y la ausencia de azufre, ya que puede reducir los aerosoles en el escape. También se ha observado la reducción de agua, lo que podría contribuir a la reducción en la formación de estelas.

#### 4. PRODUCTORES DE COMBUSTIBLES DE AVIACIÓN SOSTENIBLES

La Tabla III muestra un resumen de los principales desarrolladores, licenciantes y productores de combustibles de aviación sostenible y las rutas mediante las cuales se producen.

En España, Repsol ha producido lotes de combustible de aviación sostenible mediante coprocesado de materias de origen orgánico y residuales. En 2024 entrará en funcionamiento la planta de hidrotrata-

miento de aceites vegetales en Cartagena, que producirá 250 kt anuales de combustibles sostenibles, entre ellos combustible de aviación y en 2025<sup>1</sup> producirá e-jet en la planta demo que se encuentra en construcción. La compañía cuenta con alianzas con importantes aerolíneas como Iberia, Vueling, Gestair, AirEuropa o Ryanair y con el Ejército del Aire para el impulso de los combustibles sostenibles de aviación.

#### REFERENCIAS

- [1] ATAG Facts and Figures. Consultado junio 2023: <https://www.atag.org/facts-figures/>
- [2] ICAO 40th Assembly 2019. Resolution A40-18. Consolidated statement of continuing ICAO policies and practices related to environmental protection - Climate change. Consultado septiembre 2023: [https://www.icao.int/environmental-protection/Documents/Assembly/Resolution\\_A40-18\\_Climate\\_Change.pdf](https://www.icao.int/environmental-protection/Documents/Assembly/Resolution_A40-18_Climate_Change.pdf)
- [3] IATA Members' AGM resolution on Net Zero 2050. Octubre 2021. Consultado septiembre 2023: <https://www.iata.org/contentassets/b3783d24c5834634af59148c718472bb/net-zero-tracking-progress-methodology.pdf>
- [4] ICAO. Climate Change Mitigation: Technology and Operations. Introduction to the ICAO Basket of Measures to Mitigate Climate Change. 2019. Consultado septiembre 2023: [https://www.icao.int/environmental-protection/Documents/EnvironmentalReports/2019/ENVReport2019\\_pg111-115.pdf](https://www.icao.int/environmental-protection/Documents/EnvironmentalReports/2019/ENVReport2019_pg111-115.pdf)
- [5] Waypoint 2050 Report. ATAG. 2021.
- [6] COM (2021) 550. Comunicación de la comisión al parlamento europeo, al consejo, al comité económico y social europeo y al comité de las regiones. «Objetivo 55»: cumplimiento del objetivo climático de la UE para 2030 en el camino hacia la neutralidad climática. 2021. Consultado septiembre 2023: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:52021DC0550&from=nl>
- [7] Regulation (EU) 2023/2405 of the European Parliament and of the Council of 18 October 2023 on ensuring a level playing field for sustainable air transport (ReFuelEU Aviation)
- [8] ASTM D7566-22. Standard Specification for Aviation Turbine Fuel Containing Synthesized Hydrocarbons.
- [9] ASTM D4054-22. Standard Practice for Evaluation of New Aviation Turbine Fuels and Fuel Additives.
- [10] ASTM D1655-22. Standard Specification for Aviation Turbine Fuels.
- [11] Def Stan 91-091. Issue 14. Marzo 2022. Turbine Fuel, Kerosene Type, Jet A1; NATO Code: F-35; Joint Service.
- [12] Climate Impacts from Aviation. Carbon Offset Guide. Consultado junio 2023: <https://www.offsetguide.org/>
- [13] The growth in Greenhouses Gas Emissions from Commercial Aviation. Environmental and Energy Study Institute. (2019, Revised 2022). Consultado septiembre 2023: <https://www.eesi.org/papers/view/fact-sheet-the-growth-in-greenhouse-gas-emissions-from-commercial-aviation>
- [14] J. Buxton. Sustainable Aviation Futures. SAF Masterclass. June 2022

<sup>1</sup> "Aviso legal: el desarrollo de la planta de demostración todavía está sujeto a las condiciones de cierre consuetudinarias, incluida la recepción de las autorizaciones reglamentarias."