



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

DICIEMBRE 2024

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

**Dirección General de Aviación Civil
Ministerio de Transportes y Movilidad
Sostenible**

INFORMACIÓN DE CONTACTO

Dirección General de Aviación Civil

Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible

Contacto: Celia Bedoya del Olmo

E-mail: cbedoya@transportes.gob.es

sostenibilidad.dgac@transportes.gob.es

Con la colaboración de Senasa

Contacto: Raúl Martín Fontana

E-mail: rmartin@senasa.es

ÍNDICE

ÍNDICE.....	4
ILUSTRACIONES Y TABLAS.....	5
INTRODUCCIÓN.....	10
EL SECTOR AÉREO EN ESPAÑA	13
1. DATOS GENERALES DEL SECTOR AÉREO EN ESPAÑA.....	14
2. EMISIONES DE CO2 DERIVADAS DEL SECTOR AÉREO INTERNACIONAL EN ESPAÑA ..	21
SECCIÓN 1 ESCENARIO DE REFERENCIA EN EL ÁMBITO DE LA ceac, DESCRIPCIÓN DE MEDIDAS DE ÁMBITO SUPRANACIONAL Y BENEFICIOS ESTIMADOS.....	26
RESUMEN EJECUTIVO.....	27
1. ESCENARIO DE REFERENCIA Y PROYECCIONES	31
2. ACCIONES DE MITIGACIÓN DE CARÁCTER SUPRANACIONAL	43
SECCIÓN 2 MEDIDAS DE MITIGACIÓN DE ÁMBITO NACIONAL	152
1. DESARROLLO DE TECNOLOGÍAS RELACIONADAS CON LAS AERONAVES.....	154
2. COMBUSTIBLES SOSTENIBLES DE AVIACIÓN.....	163
3. MEJORAS DE LA GESTIÓN DEL TRÁNSITO AÉREO Y DE LAS OPERACIONES	174
4. MEDIDAS ECONÓMICAS O DE MERCADO	187
ANEXO 1 RESULTADOS DETALLADOS DE LOS ESCENARIOS CONTEMPLADOS EN LA SECCIÓN 2.....	194
1. ESCENARIO BASE	195
2. ESCENARIO TRAS APLICACIÓN DE MEDIDAS DE MITIGACIÓN	196
LISTA DE ACRÓNIMOS	199

ILUSTRACIONES Y TABLAS

<i>Ilustración 1. Evolución del número de operaciones (2004 – 2023) de salida y llegada a aeropuertos españoles gestionados por Aena SME, S.A.</i>	15
<i>Ilustración 2. Variación interanual (2005 – 2023) en el número de operaciones de salida y llegada a aeropuertos españoles gestionados por Aena SME, S.A.</i>	15
<i>Ilustración 3. Variación interanual (2005 – 2023) en el número de operaciones de salida y llegada a aeropuertos españoles gestionados por Aena SME, S.A, por ámbito del vuelo</i>	16
<i>Ilustración 4. Evolución del número de pasajeros (2004 – 2023) de salida y llegada a aeropuertos españoles gestionados por Aena SME, S.A.</i>	16
<i>Ilustración 5. Variación interanual (2005 – 2023) en el número de pasajeros en aeropuertos españoles gestionados por Aena SME, S.A.</i>	17
<i>Ilustración 6. Variación interanual (2005 – 2023) en el número de pasajeros en aeropuertos españoles gestionados por Aena SME, S.A. por ámbito del vuelo</i>	17
<i>Ilustración 7. Distribución de pasajeros por destino. Año 2023.</i>	19
<i>Ilustración 8. Distribución de turistas por medio de transporte en 2023.</i>	20
<i>Ilustración 9. Número de ocupados por trimestre en el sector aéreo.</i>	21
<i>Ilustración 10. Emisiones del sector aéreo internacional en España 1990 - 2022. Fuente: Elaboración propia a partir de datos proporcionados en Informe Nacional del Inventario de emisiones de gases de efecto invernadero. (GEI) de España.</i>	22
<i>Ilustración 11. Contribución de España al total de emisiones del sector aéreo internacional en el ámbito ECAC. 2019.</i>	23
<i>Ilustración 12. Evolución del factor de eficiencia del tráfico aéreo internacional en España. Serie. 2010 - 2022.</i>	25
<i>Ilustración 13. Escenario “base” de EUROCONTROL actualizado con la previsión de vuelos de pasajeros con salidas internacionales de la CEAC de 2024 a 2050.</i>	34
<i>Ilustración 14. Tráfico pronosticado hasta 2050.</i>	37
<i>Ilustración 15. Consumo de combustible previsto para los escenarios de referencia y de medidas aplicadas (vuelos internacionales de pasajeros con salida de aeropuertos de la CEAC).</i>	40
<i>Ilustración 16. Previsión de emisiones de CO2 para los escenarios de referencia y de medidas aplicadas.</i>	40
<i>Ilustración 17. Rendimiento de las emisiones de CO2 de los aviones certificados.</i>	45
<i>Ilustración 18. Panorama indicativo de ATAG sobre dónde se podría desplegar la energía baja en carbono y de carbono cero en la aviación comercial, junto con la de los SAF [16].</i>	50
<i>Ilustración 19. Principales vías de producción de SAF con componentes similares [8].</i>	64
<i>Ilustración 20. Componentes de un LCA well-to-wing (del pozo al ala/tanque) típico para combustible de aviación a base de biocombustible.</i>	68
<i>Ilustración 21. Emisiones del LCA para las vías y materias primas de SAF viables para CORSIA comparadas con el valor de referencia de los combustibles fósiles de CORSIA (89 g CO2e/MJ) [19].</i>	70
<i>Ilustración 22. Capacidad de SAF de la UE prevista para 2030 por escenario.</i>	77

<i>Ilustración 23. Porcentaje de reducción de las emisiones de CO2eq por la incorporación de los SAF en los escenarios de ReFuelEU Aviation</i>	78
<i>Ilustración 24. Precios y costes de producción estimados en 2023 para los combustibles de ReFuelEU Aviation</i>	79
<i>Ilustración 25. Ineficiencia de los vuelos horizontales en ruta de KEA y objetivos para 2014-2029</i>	91
<i>Ilustración 26. Ineficiencia de los vuelos horizontales en ruta KEP y KES/SCR de 2014 a 2023 ..</i>	92
<i>Ilustración 27. Indicador de eficiencia de vuelo vertical con CDO para 2023</i>	93
<i>Ilustración 28. Tiempos medios adicionales ASMA y de rodaje de salida de los 40 aeropuertos más transitados de la UE27+EFTA en términos de movimientos de vuelo</i>	94
<i>Ilustración 29. Ineficiencias relacionadas con la ATM en el flujo de llegadas (AMSA) en los 40 aeropuertos más transitados de la UE27+EFTA (2019-2023)</i>	94
<i>Ilustración 30. Emisiones totales de CO2 por fase de vuelo en el área de EUROCONTROL en 2023.....</i>	97
<i>Ilustración 31. Distribución acumulativa de salidas y consumo de combustible en 2023.....</i>	98
<i>Ilustración 32. Aumento del consumo de combustible en función de la distancia antes del Tope del Descenso óptimo en el que se inicia la fase de descenso, sin niveles intermedios (por ejemplo, cuando un descenso desde crucero a FL370 se inicia 50nmi antes, el consumo adicional de combustible es de 30 kg).....</i>	101
<i>Ilustración 33. Visión general de las funcionalidades ATM del Proyecto Común 1 (CP1).</i>	103
<i>Ilustración 34. Emisiones de CO2 de la aviación con arreglo al EU ETS en 2013-2023 e impacto modelizado de la Directiva ETS revisada para los años 2024-2026, donde 1 EUAA/EUA equivale a 1 tonelada de emisiones de CO2</i>	114
<i>Ilustración 35. Precios de los derechos de emisión del EU ETS (2013-2024).....</i>	115
<i>Ilustración 36. Participación de los Estados miembros de la OACI en la compensación CORSIA en varias fases.....</i>	119
<i>Ilustración 37. Emisiones de CO2 de la aviación internacional notificadas a través del Registro Central del CORSIA.</i>	120
<i>Ilustración 38. Emisiones de CO2 de la aviación internacional notificadas a través del Registro Central del CORSIA.</i>	121
<i>Ilustración 39. PERTE Aeroespacial</i>	156
<i>Imagen 40 Diálogos sobre SAF en la Cátedra Iberia de la Universidad Politécnica de Madrid.</i>	157
<i>Ilustración 41 Dovetail Electric Aviation.....</i>	161
<i>Ilustración 42 UAV Sky Dweller</i>	162
<i>Ilustración 43 Propuesta de medidas para la hoja de ruta en el informe de Moeve (antigua Cepsa), Iberia, Iberia Express, Vueling y Biocirc, 2024</i>	166
<i>Ilustración 44 Jornadas promovidas por el MTMS y Airbus para dialogar sobre SAF.....</i>	166
<i>Ilustración 45 Capacidad actual de SAF en España (Fuente: Informe PWC "Como hacer de España el líder productivo de SAF, 2024".....</i>	169
<i>Ilustración 46 Capacidad planificada de SAF en España (Fuente: Informe PWC "Como hacer de España el líder productivo de SAF, 2024".....</i>	170
<i>Ilustración 47 Red de refinerías, oleoductos y instalaciones aeroportuarias en España (Exolom)</i>	172
<i>Ilustración 48 Compromiso de compra de SAF en m3 por Evelop.....</i>	173

<i>Ilustración 49 Estrategia Green Sky de Enaire.....</i>	176
<i>Ilustración 50. Alcance del Plan de Acción Climática 2021-2030 de AENA.</i>	178
<i>Ilustración 51.. Objetivos estratégicos del Programa nº 2 Aviación Sostenible del Plan de Acción Climática 2021-2030 de AENA</i>	179
<i>Ilustración 52. Acciones y Objetivos estratégicos del Programa nº 2 Aviación Sostenible del Plan de Acción Climática 2021-2030 de AENA</i>	180
<i>Ilustración 53 Consorcio Aviator</i>	181
<i>Ilustración 54. Certificaciones Airport Carbon Accreditation en aeropuertos españoles.....</i>	183
<i>Ilustración 55 Disminución de emisiones del operador Plus Ultra</i>	186
<i>Ilustración 56. Datos generales de la implantación de CORSIA en España.....</i>	189
<i>Ilustración 57. Partenariados establecidos por España en el ámbito del programa de capacitación de OACI, ACT CORSIA.</i>	190
<i>Ilustración 58 Estados y RSOOs incluidas en el seno del programa EU LAC APPII,</i>	191
<i>Ilustración 59 Aplicación del EU ETS en España al sector de la aviación.</i>	193

<i>Tabla 1: Tráfico de Pasajeros, Operaciones y carga en los Aeropuertos Españoles gestionados por Aena SME, S.A. en el año 2023. Movimientos considerados: Salidas + Llegadas. Fuente: Aena Informe anual 2023 https://www.aena.es/es/estadisticas/informes-anuales.html.....</i>	19
<i>Tabla 2. Datos relativos al tráfico aéreo internacional. Salidas desde España. Serie. 2010 - 2023.</i>	24
<i>Tabla 3. Evolución del factor del eficiencia del tráfico aéreo internacional en España. Serie. 2010 - 2022.....</i>	24
<i>Tabla 4 Resumen de las características de los escenarios de EUROCONTROL.....</i>	33
<i>Tabla 5 Previsiones de referencia para el tráfico internacional con salida en los aeropuertos de la CEAC</i>	36
<i>Tabla 6 Previsión de consumo de combustible y emisiones de CO₂ en el escenario de referencia</i>	36
<i>Tabla 7 Previsión del consumo de combustible y emisiones de CO₂ para el escenario de medidas aplicadas (solo para nuevas tecnologías de aeronaves y mejoras de la gestión del tráfico aéreo)</i>	41
<i>Tabla 8 Mejora media anual de la eficiencia del combustible en el escenario de medidas aplicadas (solo nuevas tecnologías aeronáuticas y mejoras de la gestión del tráfico aéreo)</i>	41
<i>Tabla 9 Previsión de emisiones de CO₂ para los escenarios descritos en este capítulo</i>	42
<i>Tabla 10 Resultados finales de la evaluación del evaluador tecnológico de Cielo Limpio 2</i>	53
<i>Tabla 11 Objetivos de Clean Aviation.....</i>	54
<i>Tabla 12 Proyectos iniciales que se pusieron en marcha en 2023 para ofrecer importantes avances tecnológicos en los tres ámbitos</i>	55
<i>Tabla 13 Categorías de combustibles de aviación ReFuelEU</i>	60
<i>Tabla 14 Vías de producción cualificadas de drop-in SAF</i>	61
<i>Tabla 15 Reducción de CO₂ por Funcionalidad ATM del Proyecto Común 1</i>	104
<i>Tabla 16 Relación coste-beneficio y reducción de CO₂ gracias a la aplicación de la AF del CP1105</i>	
<i>Tabla 17 Ahorro de combustible y reducción de las emisiones de CO₂ por vuelo en 2023 y previsiones hasta 2040.....</i>	105
<i>Tabla 18 Resumen de las iniciativas de los aeropuertos para apoyar la adopción de los SAF..</i>	135
<i>Tabla 19 Escenario de referencia para el tráfico internacional que sale de los aeropuertos de la CEAC</i>	195
<i>Tabla 15 Previsión de consumo de combustible y emisiones de CO₂ en el escenario de referencia</i>	195
<i>Tabla 21 Consumo de combustible y emisiones de CO₂ del tráfico internacional de pasajeros que parten de los aeropuertos de la CEAC, considerando únicamente la aplicación de mejoras tecnológicas.....</i>	196
<i>Tabla 22 Promedio de la mejora anual de la eficiencia del combustible para el escenario de medidas implementadas (mejoras de ámbito tecnológico y mejoras en ATM).....</i>	197
<i>Tabla 23 Previsiones de emisiones de CO₂e equivalentes (well to wake) para los escenarios descritos en esta sección común</i>	197

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

INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN

El Estado Contratante de la OACI España es miembro de la Unión Europea y de la Conferencia Europea de Aviación Civil (CEAC)¹. La CEAC es una organización intergubernamental que reúne al mayor número de Estados Miembros entre todas las organizaciones europeas que tratan temas de aviación civil. Actualmente está compuesta por 44 Estados Miembros y fue creada en 1955.

Los Estados de la CEAC comparten la opinión de que los impactos ambientales del sector de la aviación deben ser mitigados para que la aviación pueda seguir siendo un facilitador importante del crecimiento económico y la prosperidad. Existe una necesidad urgente de alcanzar el objetivo aspiracional a largo plazo (Long Term Aspirational Goal, LTAG, por sus siglas en inglés) de la OACI para la aviación internacional, que consiste en lograr emisiones netas de carbono cero para 2050, además de esforzarse por lograr reducciones adicionales de emisiones. Juntos, apoyan plenamente los esfuerzos continuos de la OACI para abordar la gama completa de esos impactos, incluido el desafío estratégico clave que plantea el cambio climático, para el desarrollo sostenible del transporte aéreo internacional.

Todos los Estados de la CEAC, en aplicación de su compromiso en la Declaración de Bratislava de 2016, apoyan la implementación de CORSIA y han notificado a la OACI su decisión de participar voluntariamente en CORSIA desde el inicio de su fase piloto, involucrándose efectivamente en su implementación.

España, al igual que los 44 Estados de la CEAC, está plenamente comprometido y participa activamente en la lucha contra el cambio climático, trabajando hacia un sistema de transporte multimodal eficiente en recursos, competitivo y sostenible.

España reconoce la importancia de que cada Estado prepare y presente a la OACI un Plan de Acción Estatal actualizado para la reducción de emisiones de CO2 como un paso importante hacia el logro de los objetivos colectivos globales acordados desde la 38^a Sesión de la Asamblea de la OACI en 2013 y para el monitoreo del objetivo aspiracional a largo plazo acordado en la Asamblea 41.

En ese contexto, se tiene la intención de que todos los Estados de la CEAC presenten a la OACI un plan de acción. Este es el plan de acción de España.

España apoya firmemente el conjunto de medidas de la OACI como el medio clave para alcanzar el objetivo LTAG de la OACI y comparte la opinión de todos los Estados de la CEAC de que es necesario un enfoque integral para reducir las emisiones de CO2 de la aviación, el cual debe incluir:

¹ Albania, Armenia, Austria, Azerbaiyán, Bélgica, Bosnia y Herzegovina, Bulgaria, Croacia, Chipre, República Checa, Dinamarca, Estonia, Finlandia, Francia, Georgia, Alemania, Grecia, Hungría, Islandia, Irlanda, Italia, Letonia, Lituania, Luxemburgo, Malta, Moldavia, Mónaco, Montenegro, Países Bajos, Macedonia del Norte, Noruega, Polonia, Portugal, Rumania, San Marino, Serbia, Eslovaquia, Eslovenia, España, Suecia, Suiza, Turquía, Ucrania y Reino Unido

- a) Reducciones de emisiones en el origen, incluido el apoyo europeo al trabajo del CAEP en este ámbito (proceso de establecimiento de estándares);
- b) Investigación y desarrollo de tecnologías para la reducción de emisiones, incluyendo asociaciones público-privadas;
- c) Desarrollo y despliegue de combustibles sostenibles para la aviación (SAF), incluyendo iniciativas de investigación y operativas realizadas conjuntamente con las partes interesadas para alcanzar el objetivo aspiracional de la OACI de reducir las emisiones de CO2 en un 5 % para 2030 mediante un mayor uso de SAF a nivel mundial;
- d) Mejora y optimización de la gestión del tráfico aéreo y el uso de la infraestructura dentro de Europa, en particular a través de la iniciativa SESAR (Investigación en Gestión del Tráfico Aéreo del Cielo Único Europeo), y también más allá de las fronteras europeas mediante la participación en iniciativas de cooperación internacional; y
- e) Medidas basadas en el mercado (Market-Based Measures), que permiten que el sector continúe creciendo de manera sostenible y eficiente, reconociendo que las medidas mencionadas en los puntos (a) a (d) no pueden, ni siquiera en conjunto, proporcionar a tiempo las reducciones de emisiones necesarias para cumplir con el objetivo aspiracional a largo plazo de la OACI de emisiones netas de carbono cero para 2050.

En Europa, muchas de las acciones realizadas en el marco de este enfoque integral se llevan a cabo colectivamente, lideradas en su mayoría por la Unión Europea. Estas se reportan en la Sección 1 de este Plan de Acción, donde se describe la participación de España, así como la de otras partes interesadas.

En España, se realizan varias acciones a nivel nacional, incluidas aquellas implementadas por las partes interesadas. Estas acciones nacionales se informan en la Sección 2 de este Plan.

En relación con las acciones europeas, es importante señalar que:

- ✓ La participación varía de un Estado a otro, reflejando las prioridades y circunstancias de cada Estado (situación económica, tamaño de su mercado de aviación, contexto histórico e institucional, como ser parte o no de la UE). Los Estados de la CEAC, por lo tanto, participan en diferentes grados y en diferentes plazos en la implementación de estas acciones comunes. Cuando un Estado adicional se une a una acción colectiva, incluso en una etapa posterior, se amplía el efecto de la medida, aumentando así la contribución europea al logro de los objetivos globales.
- ✓ Actuando juntos, los Estados de la CEAC han emprendido medidas para reducir las emisiones de la región mediante un enfoque integral. Algunas de las medidas, aunque implementadas por algunos, pero no todos los 44 Estados de la CEAC, generan beneficios de reducción de emisiones en toda la región (por ejemplo, investigación, promoción de SAF o ETS).

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

EL SECTOR AÉREO EN ESPAÑA

1. DATOS GENERALES DEL SECTOR AÉREO EN ESPAÑA

La evolución del tráfico aéreo español ha seguido una tendencia creciente durante el siglo XXI, alcanzando un máximo histórico en 2007. Sin embargo, esta tendencia se vio interrumpida por la crisis económica de 2008. Desde 2013, el tráfico aéreo comenzó a recuperarse de manera constante hasta que la pandemia de COVID-19 provocó una caída significativa en 2020. Durante ese año, el número de operaciones disminuyó casi un 55% en comparación con 2019, y el número de pasajeros se redujo en un 72,4%.

Aunque la pandemia afectó a todos los mercados, el tráfico aéreo internacional sufrió más como consecuencia principalmente de las restricciones impuestas, como el cierre de fronteras. En este apartado del Plan de Acción Español se presentan datos generales que muestran la magnitud del sector y la actividad en España, destacando el impacto profundo de la COVID-19. Debido al carácter excepcional de 2020, también se incluyen datos de 2019 para reflejar de manera más precisa las tendencias del sector aéreo español.

En España se han ido paulatinamente recuperando los niveles de tráfico aéreo tras los devastadores efectos de la pandemia. Las cifras más actuales muestran datos entre enero y marzo de 2023 donde el número de pasajeros en vuelos comerciales en el mercado aéreo español creció un 14,4% respecto a 2023, hasta los 50,0 millones. En 2024, el tráfico aéreo ha mostrado una recuperación notable. Entre enero y julio de 2024, el número de pasajeros en vuelos comerciales en España creció un 11,4% respecto al mismo periodo de 2023, alcanzando los 147,4 millones de pasajeros.



Ilustración 1. Evolución del número de operaciones (2004 – 2023) de salida y llegada a aeropuertos españoles gestionados por Aena SME, S.A.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos estadísticos ofrecidos por Aena SME, S.A.
<https://portal.aena.es/csee/Satellite?pagename=Estadisticas/Home>

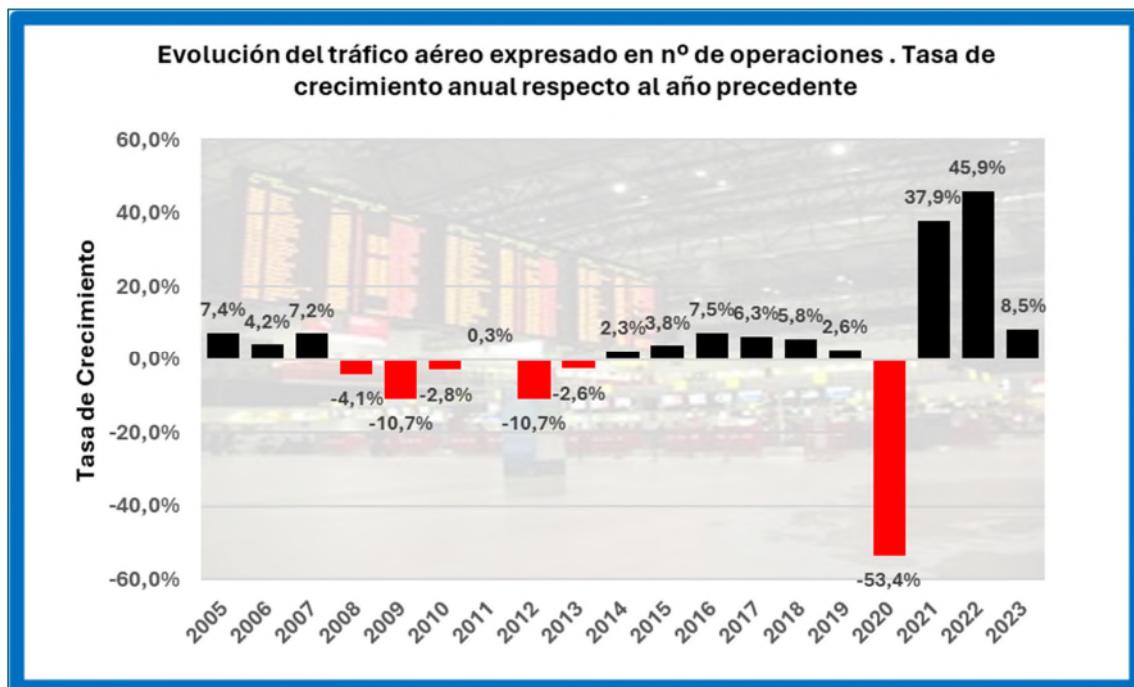


Ilustración 2. Variación interanual (2005 – 2023) en el número de operaciones de salida y llegada a aeropuertos españoles gestionados por Aena SME, S.A.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos estadísticos ofrecidos por Aena SME, S.A.
<https://portal.aena.es/csee/Satellite?pagename=Estadisticas/Home>

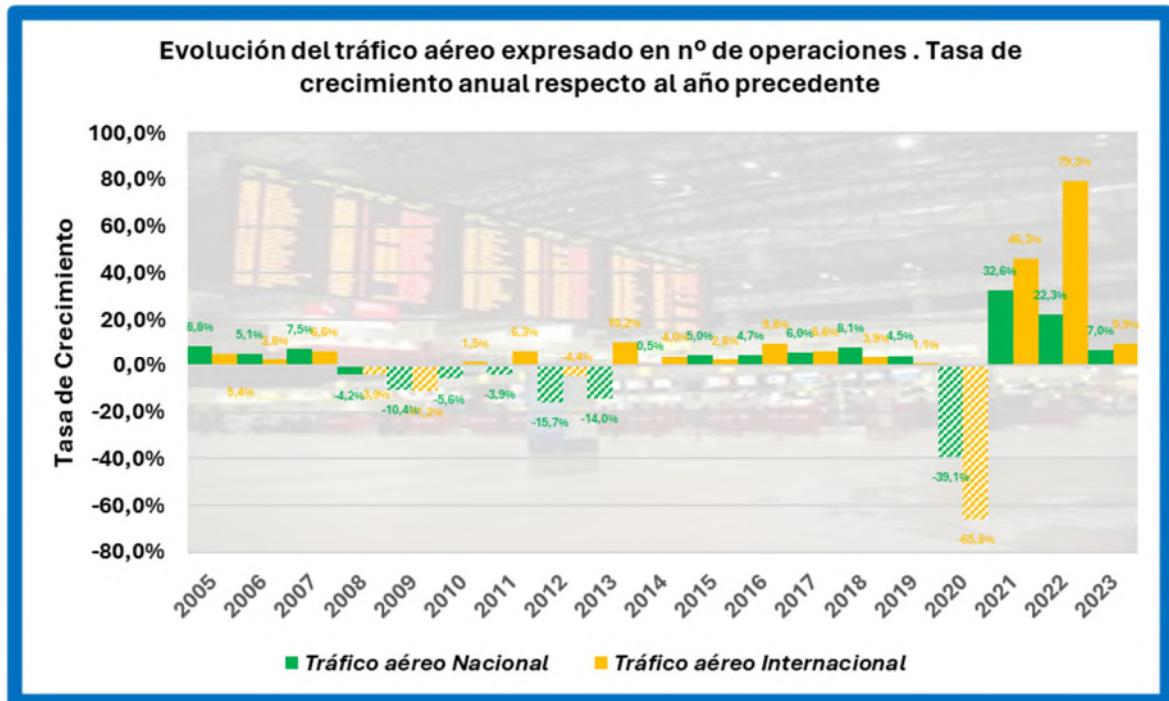


Ilustración 3. Variación interanual (2005 – 2023) en el número de operaciones de salida y llegada a aeropuertos españoles gestionados por Aena SME, S.A, por ámbito del vuelo

Fuente: Elaboración propia a partir de datos estadísticos ofrecidos por Aena SME, S.A. <https://portal.aena.es/csee/Satellite?pagename=Estadisticas/Home>

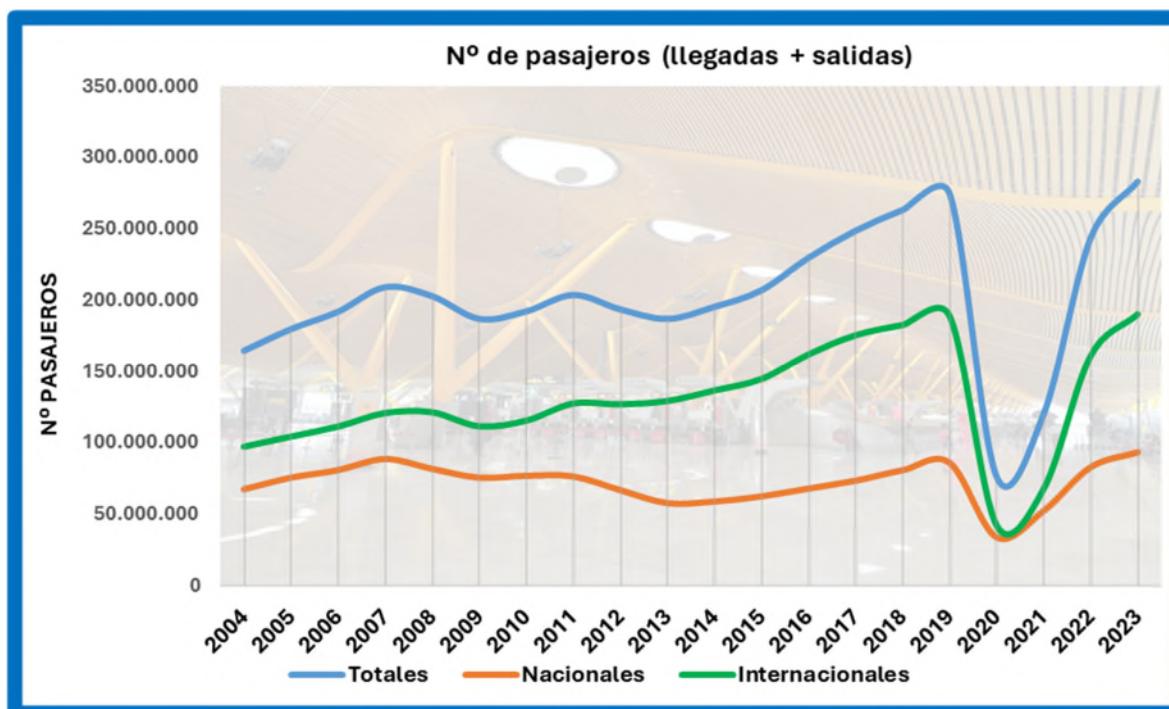


Ilustración 4. Evolución del número de pasajeros (2004 – 2023) de salida y llegada a aeropuertos españoles gestionados por Aena SME, S.A.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos estadísticos ofrecidos por Aena SME, <https://portal.aena.es/csee/Satellite?pagename=Estadisticas/Home>

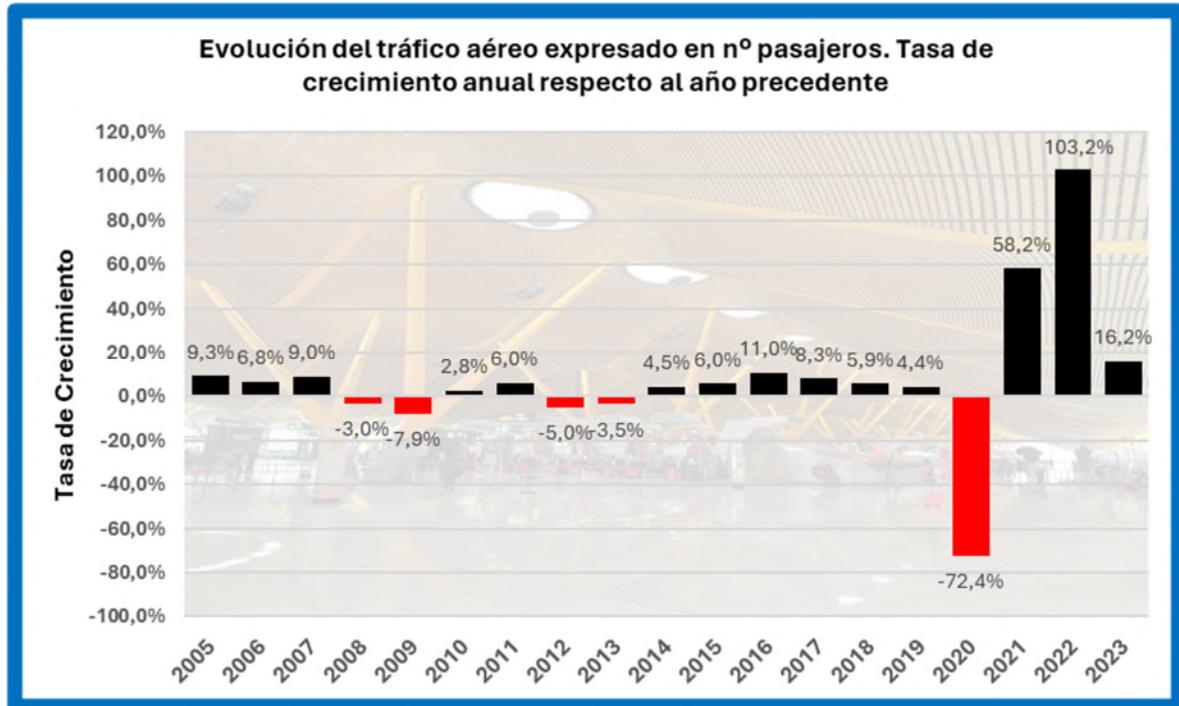


Ilustración 5. Variación interanual (2005 – 2023) en el número de pasajeros en aeropuertos españoles gestionados por Aena SME, S.A.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos estadísticos ofrecidos por Aena SME, <https://portal.aena.es/csee/Satellite?pagename=Estadisticas/Home>

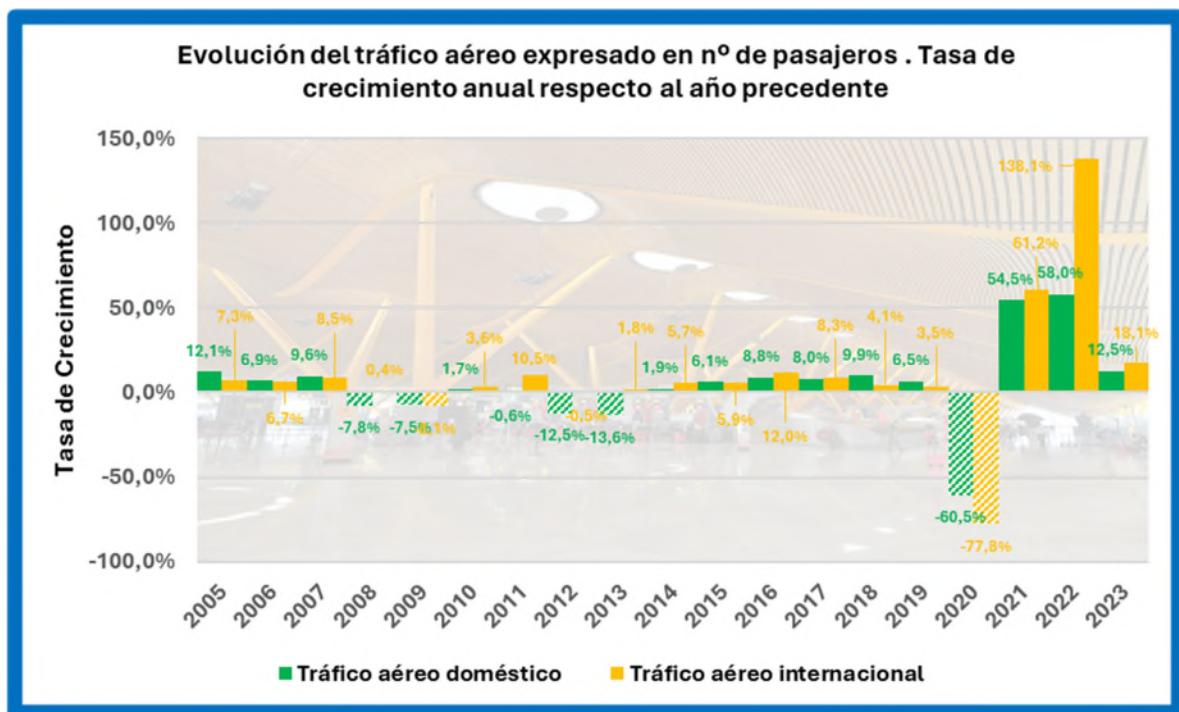


Ilustración 6. Variación interanual (2005 – 2023) en el número de pasajeros en aeropuertos españoles gestionados por Aena SME, S.A. por ámbito del vuelo

Fuente: Elaboración propia a partir de datos estadísticos ofrecidos por Aena SME, <https://portal.aena.es/csee/Satellite?pagename=Estadisticas/Home>

De acuerdo a lo indicado anteriormente, la distribución del tráfico aéreo en España en el año 2023 muestra que en dicho año, en términos totales, se superaron los niveles previos a la pandemia en todas las aéreas indicadas, es decir, en relación al número de operaciones, de pasajeros y mercancías transportadas. Sin embargo, los principales aeropuertos a nivel nacional, correspondientes a Madrid y Barcelona continúan ligeramente en niveles por debajo de los alcanzados de forma anterior a la pandemia, como consecuencia del fuerte impacto que las restricciones a la movilidad provocaron sobre los principales hubs internacionales españoles.

Aeropuertos	PASAJEROS		OPERACIONES		MERCANCÍA	
	Total	% Inc ² 2023 vs 2019	Total	% Inc 2023 vs 2019	Total	% Inc 2023 vs 2019
ADOLFO SUÁREZ MADRID-BARAJAS	60.221.163	-2,5%	389.180	-8,7%	643.543.216	14,9%
BARCELONA-EL PRAT J.T.	49.910.900	-5,3%	318.959	-7,4%	156.503.311	-11,5%
PALMA DE MALLORCA	31.106.165	4,7%	228.918	5,4%	7.184.352	-20,4%
MÁLAGA-COSTA DEL SOL	22.344.261	12,5%	161.716	11,6%	2.805.610	-8,9%
ALICANTE-ELCHE MIGUEL HDEZ.	15.747.699	4,6%	100.547	-0,9%	4.461.504	10,6%
GRAN CANARIA	13.961.507	5,3%	129.553	2,5%	17.117.380	-13,2%
TENERIFE SUR	12.337.325	10,5%	83.598	19,0%	788.321	-64,1%
VALENCIA	9.948.281	16,5%	82.237	5,8%	13.675.959	-5,8%
IBIZA	8.931.574	9,5%	82.803	9,9%	993.160	-30,8%
LANZAROTE CÉSAR MANRIQUE	8.213.259	12,6%	68.123	12,6%	521.603	-63,6%
SEVILLA	8.071.524	7,0%	64.774	1,0%	10.913.974	10,3%
BILBAO	6.336.365	7,3%	51.448	-0,3%	750.817	-23,4%
TENERIFE NORTE-C. LA LAGUNA	6.120.505	4,8%	75.199	-0,3%	11.560.601	-8,2%
FUERTEVENTURA	6.020.403	6,8%	49.281	4,4%	371.511	-49,5%
MENORCA	4.045.211	15,7%	35.667	12,9%	687.993	-44,5%
SANTIAGO-ROSALÍA DE CASTRO	3.537.447	21,8%	25.903	15,6%	4.818.283	50,5%
ASTURIAS	1.974.847	39,3%	15.289	14,0%	11.494	-59,7%
GIRONA-COSTA BRAVA	1.586.458	-17,9%	20.408	11,8%	308.020	293,7%
LA PALMA	1.368.821	-7,7%	23.200	2,6%	280.222	-39,8%
A CORUÑA	1.252.022	-7,4%	15.405	-10,4%	76.963	-49,5%
SEVE BALLESTEROS-SANTANDER	1.242.089	5,7%	12.589	12,0%	76	-53,9%
VIGO	1.136.159	12,2%	14.866	29,0%	807.280	49,1%
REUS	1.045.425	-0,1%	20.513	16,0%	0	---
FGL GRANADA-JAÉN	1.039.423	-17,0%	16.171	11,3%	93	615,4%
JEREZ DE LA FRONTERA	904.823	-19,3%	48.999	-10,1%	196	-41,1%
AEROPUERTO INTL. REGIÓN MURCIA (**)	878.193	-19,5%	6.700	-16,0%	0	---
ALMERÍA	775.385	-20,8%	11.817	0,3%	46	-75,4%
ZARAGOZA	685.690	46,6%	9.716	10,8%	129.856.499	-28,9%
MELILLA	501.069	15,3%	10.756	10,1%	24.674	-81,7%
SAN SEBASTIÁN	482.662	50,6%	6.157	-4,9%	2.530	526,2%
VITORIA	309.929	78,1%	14.187	31,4%	71.694.884	11,2%

² Inc se refiere a incremento

Aeropuertos	PASAJEROS		OPERACIONES		MERCANCÍA	
	Total	% Inc ² 2023 vs 2019	Total	% Inc 2023 vs 2019	Total	% Inc 2023 vs 2019
EL HIERRO	301.244	12,0%	6.128	14,0%	58.142	-17,7%
VALLADOLID	211.890	-15,0%	6.535	15,3%	6.120	-43,6%
PAMPLONA	197.610	-18,8%	5.360	-12,6%	268	-98,8%
LA GOMERA	113.320	46,1%	3.949	38,9%	4.891	160,2%
CEUTA /HELIPUERTO	87.041	21,5%	7.813	14,1%	0	---
BADAJOZ	80.254	6,4%	3.125	8,5%	0	---
LEÓN	63.521	-3,7%	3.248	17,8%	0	---
ALGECIRAS /HELIPUERTO	41.463	9,9%	3.422	2,8%	0	---
SALAMANCA	21.094	18,7%	8.253	-18,5%	0	---
LOGROÑO	16.762	-13,8%	1.990	40,1%	0	---
SON BONET	9.994	142,5%	16.946	26,9%	0	---
SABADELL	6.206	22,5%	48.124	-5,0%	0	---
CÓRDOBA	5.957	-44,3%	13.626	25,8%	0	---
BURGOS	4.056	-77,1%	22.165	588,1%	0	-100,0%
ALBACETE	2.646	63,7%	707	26,0%	0	---
MADRID-CUATRO VIENTOS	1.947	-45,5%	56.648	9,0%	0	---
HUESCA-PIRINEOS	276	-55,6%	1.336	-85,5%	0	---
MURCIA-SAN JAVIER (*)	0	-100,0%	0	-100,0%	0	---
Total	283.201.865	2,9%	2.404.054	1,8%	1.079.829.993	1,0%

Tabla 1: Tráfico de Pasajeros, Operaciones y carga en los Aeropuertos Españoles gestionados por Aena SME, S.A. en el año 2023. Movimientos considerados: Salidas + Llegadas. Fuente: Aena Informe anual 2023

<https://www.aena.es/es/estadisticas/informes-anuales.html>

Durante el año 2023, la distribución de los pasajeros de ámbito comercial que despegaron desde un aeropuerto español es reflejada en la tabla inferior, así como la variación en términos porcentuales respecto a la situación pre – pandemia.

Pasajeros comerciales enero-diciembre 2023				
	Pasajeros enero-diciembre	% del mercado	Δ respecto 2022	Δ respecto 2019
DOMÉSTICO	46.313.649	19,6%	12,6%	8,3%
PENINSULAR	17.189.314	37,1%	17,3%	0,8%
PENÍNSULA-RESTO TERRITORIO	23.448.370	50,6%	9,8%	16,1%
INTERINSULAR	5.675.965	12,3%	10,5%	2,9%
UNIÓN EUROPEA	109.611.523	46,5%	17,3%	-27,1%
PENÍNSULA-UE	75.357.080	68,7%	22,0%	-23,8%
ARCHIPIÉLAGOS-UE	34.254.443	31,3%	8,2%	-33,4%
EXTRA-UE	79.977.286	33,9%	19,5%	108,4%
PENÍNSULA-EXTRA UE	56.566.073	70,7%	22,2%	63,5%
ARCHIPIÉLAGOS-EXTRA UE	23.411.213	29,3%	13,2%	521,4%
Total	235.902.458	100,0%	17,0%	1,9%

Ilustración 7. Distribución de pasajeros por destino. Año 2023.

Fuente: DGAC

El **impacto económico** del sector aéreo en España sigue estando profundamente relacionado con el sector turístico. En 2023, el turismo alcanzó los 159.000 millones de euros, representando el 12,2% del PIB. El transporte aéreo sigue siendo un sector estratégico en este ámbito, tal y como lo demuestras el porcentaje de visitantes que acceden a nuestro país a través de este medio de transporte, según evidencia el hecho de que más del 82% de los turistas³ extranjeros que cada año visitaron la Península Ibérica lo hicieron utilizando el avión como modo de transporte.

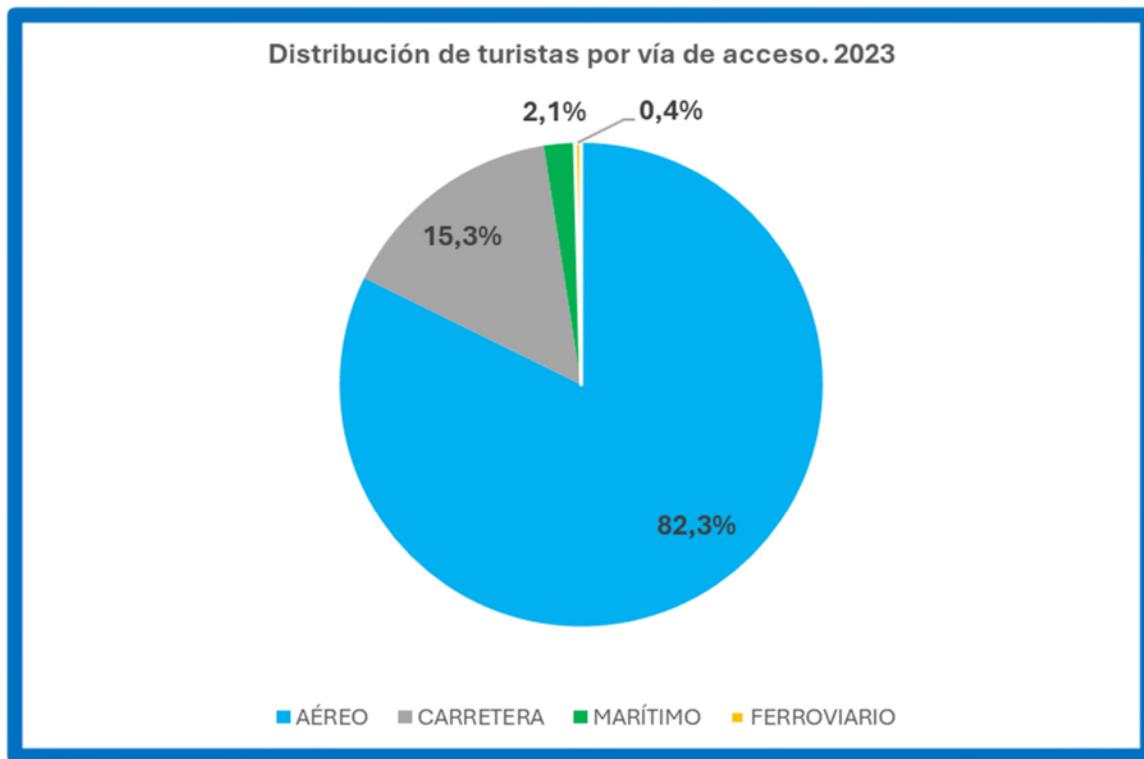


Ilustración 8. Distribución de turistas por medio de transporte en 2023.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos proporcionados por el Instituto Nacional de Estadística. <https://www.ine.es/jaxiT3/Tabla.htm?t=13884>

En relación al **empleo**, la evolución del número de personas ocupadas en el sector del transporte aéreo español ha sido variable a lo largo de los años, alcanzando su máximo durante el primer trimestre de 2023, fecha a partir de la que se produce un descenso, que pese a todo ilustra niveles de ocupación elevados, superiores a los acontecidos en cualquiera de los años precedentes.

³ <https://www.ine.es/jaxiT3/Tabla.htm?t=13884>

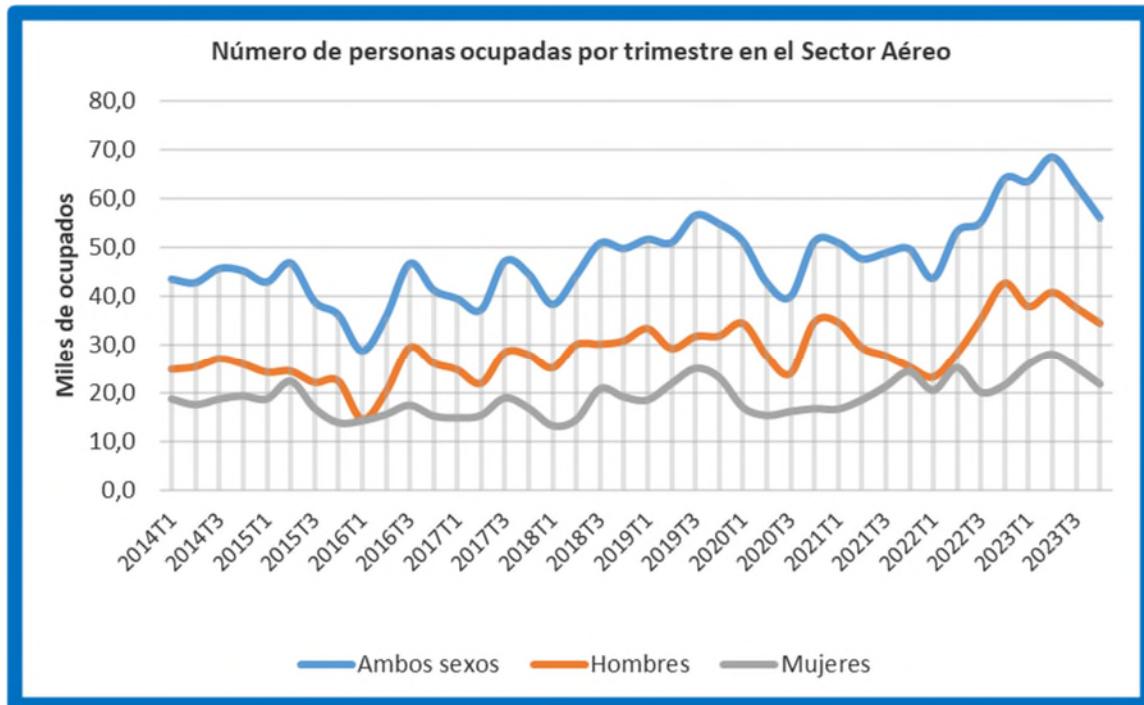


Ilustración 9. Número de ocupados por trimestre en el sector aéreo.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos proporcionados por el Instituto Nacional de Estadística. <https://www.ine.es/jaxiT3/Datos.htm?t=4128#!tabs-tabla>

2. EMISIONES DE CO2 DERIVADAS DEL SECTOR AÉREO INTERNACIONAL EN ESPAÑA

De acuerdo a los datos remitidos por el estado español en el último Informe Nacional del Inventario 1990-2022 de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) de España, de marzo de 2024⁴, las emisiones globales de CO2 del sector aéreo de ámbito internacional en España han mantenido una tendencia creciente desde el año 1990, la cual sin duda se vio truncada en el año 2020 como consecuencia de la COVID-19.

La contribución de tales emisiones en el total de emisiones de CO2 emitidas en España también ha mostrado un crecimiento desde el año 1990, representando en el año 2022 un 4,9% del total de emisiones brutas de CO2 informadas en el referido Inventario Nacional.

⁴ *Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero 2023*

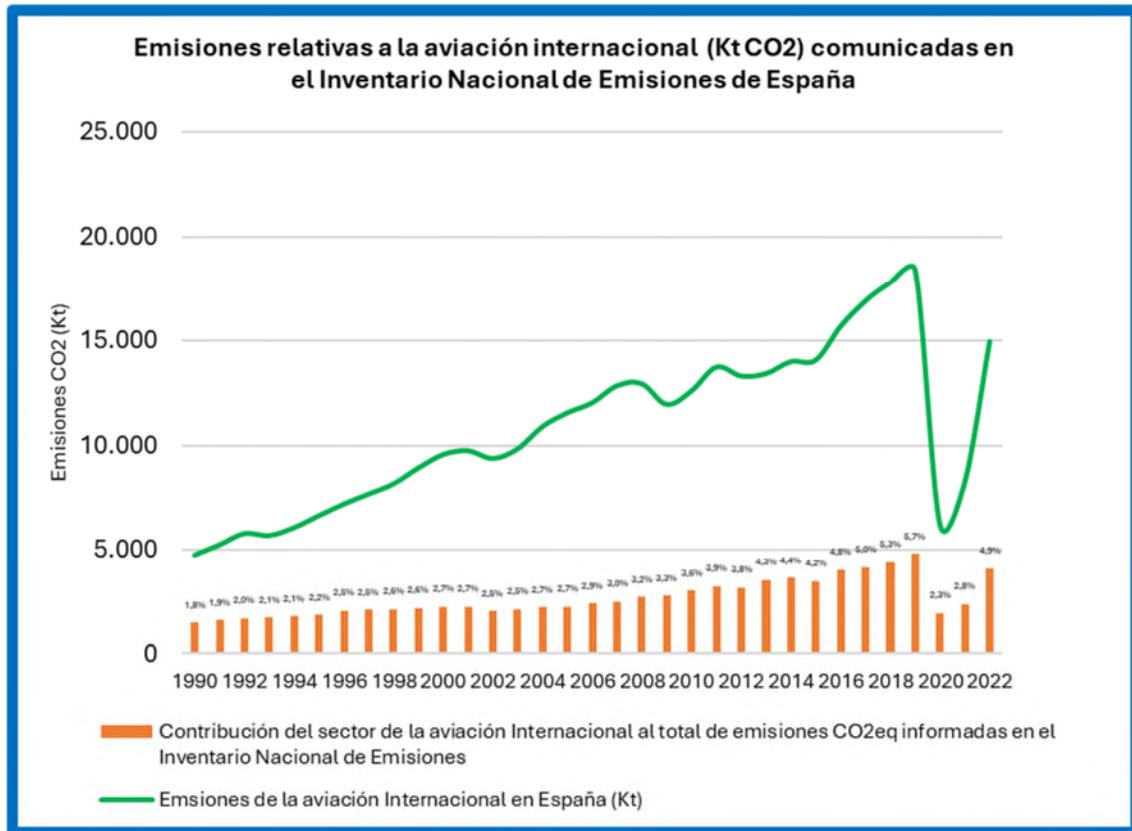


Ilustración 10. Emisiones del sector aéreo internacional en España 1990 - 2022.
 Fuente: Elaboración propia a partir de datos proporcionados en Informe Nacional del Inventario de emisiones de gases de efecto invernadero. (GEI) de España.

En el contexto europeo, y en base a los datos remitidos en la sección 2 del presente Plan, la contribución de las emisiones de CO₂ de ámbito internacional reportadas por España en el año 2019, previo a la pandemia COVID-19, representan el 10,9% del total de emisiones de ámbito internacional atribuibles a los estados miembros de la Conferencia Europea de Aviación Civil (CEAC)⁵.

⁵ Estados miembros de la Conferencia Europea de Aviación Civil, CEAC: Albania, Armenia, Austria, Azerbaiyán, Bélgica, Bosnia y Herzegovina, Bulgaria, Croacia, Chipre, República Checa, Dinamarca, Estonia, Finlandia, Francia, Georgia, Alemania, Grecia, Hungría, Islandia, Irlanda, Italia, Letonia, Lituania, Luxemburgo, Malta, Moldavia, Mónaco, Montenegro, Países Bajos, Macedonia del Norte, Noruega, Polonia, Portugal, Rumanía, San Marino, Serbia, Eslovaquia, Eslovenia, España, Suecia, Suiza, Turquía, Ucrania y Reino Unido. <https://www.ecac-ceac.org/>

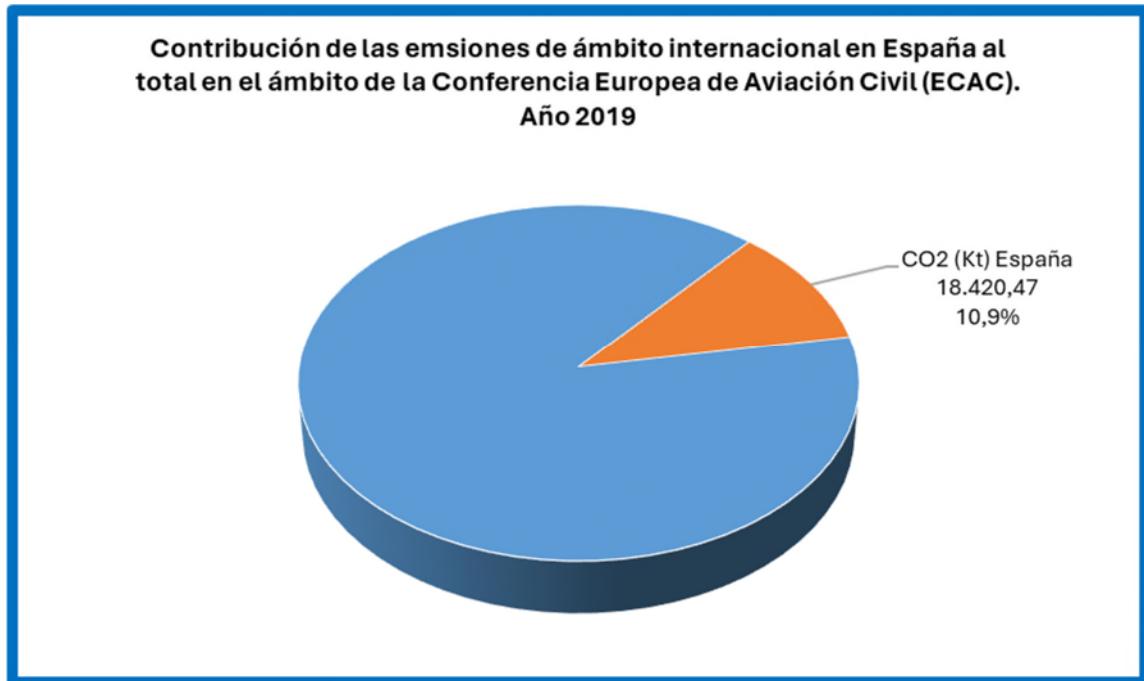


Ilustración 11. Contribución de España al total de emisiones del sector aéreo internacional en el ámbito CEAC. 2019.

Fuente: Elaboración propia

Al objeto de establecer un marco de referencia común respecto a los datos proporcionados a nivel de los estados miembros de CEAC, incluidos en la sección 2 del presente plan, se incluye a continuación la evolución histórica de la aviación internacional en España, teniendo en consideración que de la misma forma que en la metodología descrita en la sección común, solo han sido considerado los vuelos de salida de ámbito internacional desde un aeropuerto español.

Datos de tráfico internacional SALIDAS 2010-2023					
Año	Tráfico pasajeros (Movimientos IFR)	Pasajeros-kilómetro RPK	Tráfico Cargo (Movimientos IFR)	Toneladas Carga transportada-kilómetro FTKT	Total Toneladas pago-kilómetro RTK (10 ⁹)
2010	420.639	131.432.113.836	9.056	1.341.527.442	14,48
2011	454.073	146.198.394.340	8.911	1.512.157.755	16,13
2012	438.102	145.155.308.154	8.671	1.562.313.310	16,08
2013	438.962	147.760.372.415	8.581	1.496.172.822	16,27
2014	457.237	156.326.653.048	8.898	1.584.835.992	17,22
2015	469.657	164.481.874.924	9.384	1.737.951.670	18,19
2016	518.091	184.141.933.275	9.371	1.938.240.777	20,35
2017	551.491	202.171.188.535	10.408	2.361.592.386	22,58
2018	571.089	212.143.640.108	11.934	2.596.353.381	23,81
2019	577.953	221.051.232.375	12.764	2.731.067.229	24,84
2020	177.319	51.944.447.761	15.149	1.628.838.324	6,82

2021	259.197	74.443.684.431	16.839	2.278.668.168	9,72
2022	504.391	182.617.849.047	14.464	2.553.172.965	20,81
2023	564.751	219.958.064.333	13.021	2.639.567.940	24,64

Tabla 2. Datos relativos al tráfico aéreo internacional. Salidas desde España. Serie. 2010 - 2023.

Fuente: Elaboración propia DGAC

En base a los datos publicados en el marco del Inventario Nacional de Emisiones, la tabla inferior ilustra la evolución de la eficiencia de la aviación internacional en España, que para el período 2010 - 2022 se aproxima al objetivo aspiracional establecido en el marco de la Organización de Aviación Civil Internacional, correspondiente a una mejora media anual del 2% de la eficiencia.

La repercusión en el citado factor de la pandemia de COVID-19 ha ralentizado el constante incremento en la eficiencia de nuestro sector aéreo, que se considera altamente probable se sitúe en los años próximos por encima del objetivo señalado.

Año	Fuel Consumption (10 ⁹ kg)	CO ₂ emissions (10 ⁹ kg)	Fuel efficiency (kg/RPK)	Fuel efficiency (kg/RTK)	Mejora interanual del factor eficiencial
2010	4,00	12,61	0,028	0,276	
2011	4,37	13,75	0,027	0,271	2,1%
2012	4,23	13,32	0,026	0,263	2,8%
2013	4,27	13,44	0,026	0,262	0,3%
2014	4,45	14,01	0,026	0,258	1,4%
2015	4,47	14,09	0,025	0,246	4,8%
2016	4,99	15,71	0,024	0,245	0,4%
2017	5,38	16,93	0,024	0,238	2,8%
2018	5,65	17,81	0,024	0,237	0,3%
2019	5,85	18,42	0,024	0,235	0,8%
2020	1,97	6,20	0,029	0,288	-22,5%
2021	2,62	8,26	0,027	0,270	6,5%
2022	4,75	14,97	0,023	0,228	15,3%
Mejora media anual del factor de eficiencia del periodo considerado (2010 – 2022)					1,58%

Tabla 3. Evolución del factor de la eficiencia del tráfico aéreo internacional en España. Serie. 2010 - 2022.

Fuente: DGAC

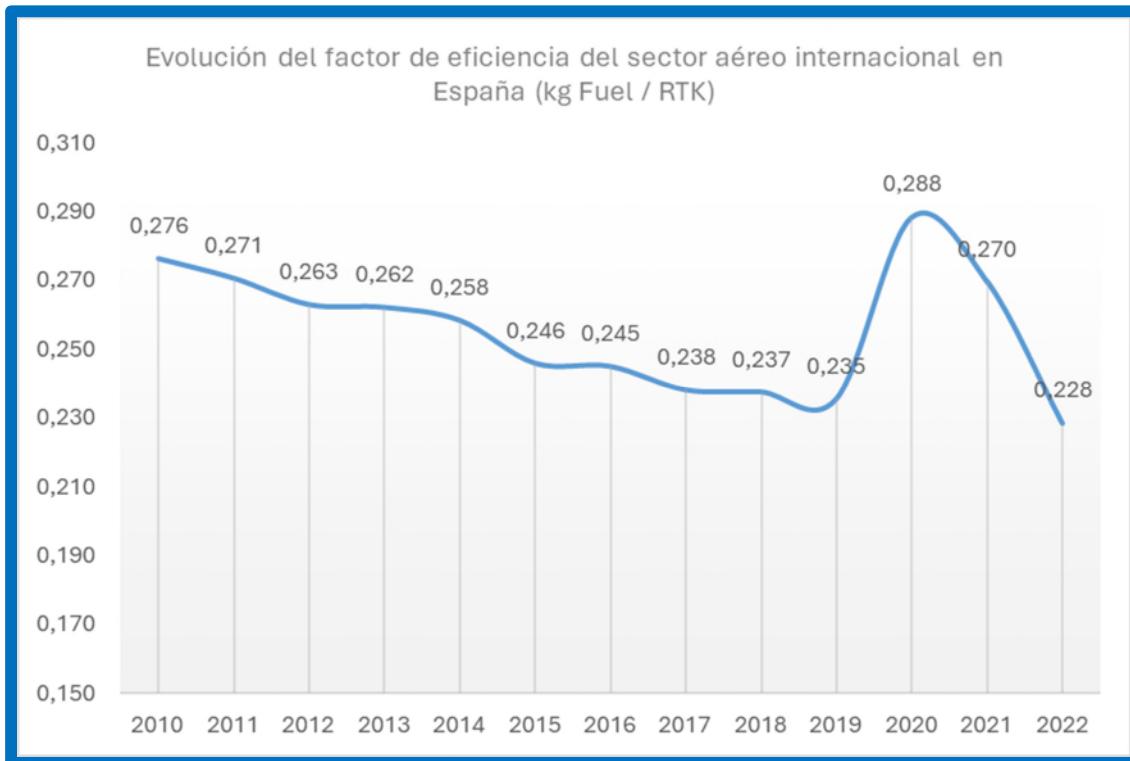


Ilustración 12. Evolución del factor de eficiencia del tráfico aéreo internacional en España. Serie. 2010 - 2022.

Fuente: DGAC

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

SECCIÓN 1 ESCENARIO DE REFERENCIA EN EL ÁMBITO DE LA CEAC, DESCRIPCIÓN DE MEDIDAS DE ÁMBITO SUPRANACIONAL Y BENEFICIOS ESTIMADOS

RESUMEN EJECUTIVO

La sección europea de este plan de acción, que es común a todos los planes de acción estatales europeos, presenta un resumen de las acciones adoptadas colectivamente en los 44 Estados de la Conferencia Europea de Aviación Civil (CEAC) para reducir las emisiones de CO2 del sistema de aviación.

La aviación es un sector fundamental de la economía europea y un medio muy importante de conectividad, desarrollo empresarial y ocio para los ciudadanos y visitantes europeos.

Durante más de un siglo, Europa ha liderado el desarrollo de nuevas tecnologías e innovaciones para satisfacer mejor las necesidades y preocupaciones de la sociedad, incluida la lucha contra las emisiones sectoriales que afectan al clima. Desde 2019, la pandemia de COVID-19 ha generado una tragedia humana mundial, una crisis económica global y una perturbación sin precedentes del tráfico aéreo, cambiando significativamente el crecimiento y los patrones de la aviación europea y afectando gravemente a la industria de la aviación. No obstante, la recuperación del transporte aéreo europeo puede ser una oportunidad para acelerar su contribución al logro de las ambiciones climáticas globales.

En 2023, el número de vuelos en Europa alcanzó el 92% de los niveles de 2019 (pre-COVID), debido a la recuperación continua desde el brote y al aumento de los volúmenes durante el verano. El espacio aéreo de Ucrania ha permanecido cerrado desde febrero de 2022, y el espacio aéreo vecino absorbe más tráfico (y los vuelos desviados sobrecargan el concurrido eje sureste). El inicio del conflicto en Oriente Medio (octubre de 2023) ha afectado a varios flujos que no pudieron sobrevolar la zona. Las crisis geopolíticas también han tenido un impacto en los flujos en el Cáucaso Sur, especialmente en los sobrevuelos. En el momento de redactar este plan, el nivel de incertidumbre sobre cómo afectarán estas crisis al tráfico aéreo internacional a largo plazo sigue siendo alto, por lo que las evaluaciones realizadas podrían revisarse en la próxima actualización, ya que se espera que se disponga de datos más precisos sobre dichos impactos.

EUROCONTROL publica periódicamente evaluaciones exhaustivas de la situación del tráfico en Europa, y los mejores datos disponibles se han utilizado para la preparación de la sección común europea de este plan de acción. La sección común incluye una descripción y evaluación actualizadas de los esfuerzos europeos colectivos realizados para mitigar los impactos climáticos de la aviación, así como la descripción de las medidas futuras que conduzcan a ahorros adicionales de CO2.

Tecnología relacionada con las aeronaves

Los miembros europeos han trabajado juntos para apoyar mejor el progreso en el Comité de Protección del Medio Ambiente de la Aviación (CAEP) de la OACI. Esta contribución de recursos, capacidad analítica y liderazgo ha facilitado sin duda avances en las normas de certificación globales que han ayudado a impulsar la demanda de los mercados de mejoras tecnológicas.

Europa está ahora plenamente comprometida con la implementación de la norma de CO2 de la OACI de 2016 para aeronaves de nueva construcción y con la necesidad de revisarla periódicamente a la luz de los avances en la eficiencia del combustible de los aviones.

Las mejoras ambientales en los Estados de la CEAC están impulsadas por el conocimiento y a la vanguardia de esto se encuentra la Iniciativa Tecnológica Conjunta (ITC) Clean Sky de la UE, que tiene como objetivo desarrollar y madurar "tecnologías limpias" innovadoras. La segunda iniciativa conjunta (Clean Sky 2 - 2014-2024) tenía el objetivo de reducir las emisiones y el ruido de las aeronaves entre un 20 y un 30% con respecto a las últimas tecnologías que entraron en servicio en 2014. La Asociación Europea para una Aviación Limpia (EPCA) seguirá los pasos de Clean Sky2. Esta actividad reconoce y aprovecha la interacción entre los aspectos ambientales, sociales y de competitividad con el crecimiento económico sostenible.

La financiación y su motivación son fundamentales para la investigación y el modelo de asociación público-privada del programa de Investigación e Innovación de la UE sustenta gran parte de lo que contribuirá a este y futuros planes de acción sobre el CO2 en toda la región de la CEAC. Los principales esfuerzos en el marco de Clean Sky 2 incluyen la demostración de tecnologías: tanto para aeronaves de pasajeros de gran tamaño como regionales, un mejor rendimiento y versatilidad de nuevos conceptos de helicópteros, estructuras y materiales innovadores para fuselajes, arquitecturas, sistemas y controles radicales de motores, y la consideración de cómo gestionamos las aeronaves al final de su vida útil. Esto representa una rica corriente de ideas y conceptos que, con un apoyo continuo, madurarán y contribuirán a lograr los objetivos de limitar el cambio climático global.

Combustibles de aviación sostenibles (SAF)

Los Estados de la CEAC están adoptando la introducción de SAF de acuerdo con la Visión 2050 de la OACI y están adoptando medidas colectivas para abordar las numerosas barreras actuales para la disponibilidad generalizada de SAF o su uso en los aeropuertos europeos. Se ha demostrado que es adecuado para su propósito y el sistema de distribución ha demostrado su capacidad para manejar SAF.

A nivel de la Unión Europea, el Reglamento ReFuelEU sobre Aviación, que se aplica desde el 1 de enero de 2024, impulsará la oferta y la demanda de SAF en la UE, al tiempo que mantendrá la igualdad de condiciones en el mercado del transporte aéreo.

ReFuelEU sobre Aviación tiene como objetivo situar al transporte aéreo en la trayectoria de los objetivos climáticos de la UE para 2030 y 2050, ya que los SAF son una de las herramientas clave a corto y medio plazo para la descarbonización de la aviación.

La sección europea común de este plan de acción también proporciona una descripción general de los requisitos actuales de sostenibilidad y emisiones del ciclo de vida aplicables a los SAF en los Estados de la Unión Europea, así como estimaciones de los valores del ciclo de vida para varias vías tecnológicas y materias primas.

También se ha desarrollado un trabajo colectivo a través de la EASA para abordar las barreras a la penetración de SAF en el mercado. El programa europeo de investigación e innovación también está dando impulso a tecnologías innovadoras para superar dichas barreras, como lo pone de relieve el número de proyectos de investigación europeos puestos en marcha recientemente y cuyo inicio está previsto a corto plazo.

Mejora de la gestión del tráfico aéreo

La política del Cielo Único Europeo (SES) de la Unión Europea está diseñada para revisar la gestión del tráfico aéreo (ATM) en toda Europa. Esta iniciativa está orientada a digitalizar los servicios, mejorar la capacidad, reducir los costes de ATM y aumentar la seguridad, además de reducir el impacto ambiental en un 9,3 % para 2040.

El marco del SES incluye múltiples elementos, como el desarrollo y la implementación de soluciones ATM técnicas y operativas de vanguardia. El programa SESAR, dividido en tres fases (SESAR 1 (2008-2016), SESAR 2020 (que comienza en 2016) y el actual SESAR 3 (2021-2031)), es fundamental para avanzar en estas soluciones. Se espera que al final de la segunda ola del SESAR 3, las soluciones desarrolladas y validadas produzcan ahorros de combustible por vuelo dentro del área ECAC de entre el 3,6 % (180,9 kg, solo en el nivel de madurez V3) y el 4,6 % (227,8 kg, considerando los beneficios totales y parciales de la madurez V3), lo que se traducirá directamente en reducciones comparables de CO2.

Medidas basadas en el mercado (MBM)

Reconociendo la necesidad de una medida global basada en el mercado para las emisiones de la aviación (para incentivar y recompensar las buenas decisiones de inversión y operativas), los Estados miembros de la CEAC han apoyado firmemente el Plan de compensación y reducción de carbono para la aviación internacional (CORSIA). De conformidad con su Declaración de Bratislava de 2016, los Estados miembros de la CEAC han participado voluntariamente en el plan desde su fase piloto en 2021 y han alentado a otros Estados a seguir su ejemplo.

Para implementar CORSIA preservando al mismo tiempo la integridad ambiental de la legislación de la UE, la Directiva sobre RCDE UE se modificó en 2023. Amplió la restricción del alcance geográfico del RCDE UE a los vuelos entre Estados del Espacio Económico Europeo (EEE) y los vuelos con salida al Reino Unido y Suiza hasta finales de 2026.

Los 31 Estados del EEE aplican el Régimen de Comercio de Emisiones de la UE (RCDE UE) Ambos), mientras que Suiza y el Reino Unido implementan sus propios sistemas de comercio de emisiones. En total, 500 operadores de aeronaves están regulados por estas medidas de mercado de topes y comercio de derechos de emisión destinadas a limitar las emisiones de CO2. En el período comprendido entre 2013 y

2020, el RCDE UE ha ahorrado unos 200 millones de toneladas de emisiones de CO2 de la aviación intraeuropea.

Escenarios de la CEAC para el tráfico y las emisiones de CO2

A pesar de la extraordinaria disminución actual del tráfico de pasajeros a nivel mundial debido a la pandemia de COVID-19, que ha afectado a la economía europea, al turismo y al propio sector, se espera que la aviación siga creciendo a largo plazo, desarrollándose y diversificándose de muchas maneras en los Estados de la CEAC. El tráfico de carga aérea no se ha visto afectado como el resto del tráfico y, por lo tanto, aunque el foco de los datos disponibles se relaciona con el tráfico de pasajeros, se podrían anticipar resultados similares a los previstos antes de la COVID para el tráfico de carga, tanto en bodega como en cargueros dedicados.

Los análisis de EUROCONTROL y EASA han identificado el escenario más probable de influencias en el tráfico futuro y han modelado estas suposiciones para los años futuros.

Sobre la base de esta previsión de tráfico, se han estimado el consumo de combustible y las emisiones de CO2 de la aviación tanto para un escenario de referencia teórico (sin ninguna acción de mitigación) como para un escenario con medidas de mitigación implementadas que se presentan en este plan de acción.

Según los supuestos de referencia de crecimiento del tráfico y renovación de la flota con la tecnología de 2023, las emisiones de CO2 aumentarían significativamente a largo plazo en los vuelos que salen de los aeropuertos de la CEAC sin medidas de mitigación. La modelización del impacto de la mejora de la tecnología de las aeronaves para el escenario con las medidas aplicadas indica una reducción general del 21% del consumo de combustible y de las emisiones de CO2 en 2050 en comparación con la referencia. Aunque los datos para modelar los beneficios de las mejoras en la gestión del tránsito aéreo pueden ser menos sólidos, son, no obstante, contribuciones valiosas para reducir aún más las emisiones.

Se prevé que las emisiones generales de CO2, incluidos los efectos de los nuevos tipos de aeronaves y las medidas relacionadas con la gestión del tránsito aéreo, mejoren hasta dar lugar a una reducción del 29% en 2050 en comparación con la referencia. El potencial de las medidas basadas en el mercado y sus efectos se han simulado en detalle en la sección común de este plan de acción, pero ayudarán a alcanzar el objetivo de un crecimiento neutro en carbono. A medida que se realicen más avances en materia de políticas y tecnología, un análisis más profundo mejorará la modelización de las emisiones futuras.

1. ESCENARIO DE REFERENCIA Y PROYECCIONES

1.1. ESCENARIO DE REFERENCIA DE LA CEAC

El escenario de referencia sirve como referencia para las emisiones de CO₂ de la aviación europea en ausencia de cualquiera de las acciones de mitigación descritas más adelante en este documento. A tal fin, EUROCONTROL ha facilitado los siguientes conjuntos de datos (2010, 2019, 2023) y previsiones (para 2030, 2040 y 2050):

- Tráfico aéreo europeo (incluye todos los vuelos comerciales e internacionales con salida desde los aeropuertos de la CEAC, en número de vuelos, ingresos por pasajero-kilómetro (RPK) e ingresos por tonelada-kilómetro (RTK));
- el consumo agregado del combustible asociado; y
- las emisiones de CO₂ asociadas.

Los conjuntos de previsiones corresponden a los volúmenes de tráfico previstos en un escenario “base”, conforme al escenario más probable, mientras que el consumo de combustible y las emisiones de CO₂ asociados prevén el nivel tecnológico del año 2023 (es decir, sin tener en cuenta las reducciones de emisiones por nuevas mejoras tecnológicas relacionadas con las aeronaves, la mejora de la gestión del tráfico aéreo y las operaciones, los combustibles de aviación sostenibles o las medidas basadas en el mercado).

1.2. ESCENARIO DE TRÁFICO “BASE”

Como en todas las previsiones elaboradas por EUROCONTROL, se han elaborado varios escenarios con un argumento específico y una mezcla de características. El objetivo es mejorar la comprensión de los factores que influirán en el crecimiento del tráfico futuro y los riesgos que se avecinan. El último pronóstico sobre aviación de EUROCONTROL para 2050 se ha publicado en 2024 y aborda el desarrollo del tráfico en términos de movimientos de Reglas de Vuelo por Instrumentos (IFR por sus siglas en inglés) hasta 2050.

El escenario denominado “base” se construye como el escenario “más probable” para el tráfico, el que más se aproxima a las tendencias actuales. Contempla un crecimiento económico moderado con normativas que reflejan las preocupaciones medioambientales, sociales y económicas a la hora de abordar la sostenibilidad en la aviación. Este escenario sigue tanto las tendencias actuales como las que se consideran más probables en el futuro.

De los modelos aplicados por EUROCONTROL para su previsión, el submodelo de tráfico de pasajeros es el más desarrollado, y se estructura en torno a cinco grupos principales de factores:

- Los factores de la **economía mundial** representan los desarrollos

económicos clave que impulsan la demanda de transporte aéreo.

- Los factores que caracterizan a los **pasajeros** y sus preferencias de viaje modifican los patrones de demanda y los destinos de viaje.
- El **precio de los billetes** fijado por las aerolíneas para cubrir sus costes de explotación influye en las decisiones de viaje de los pasajeros y en la elección del medio de transporte.
- Más **redes hub-and-spoke** (radiales) o punto a punto pueden alterar el número de conexiones y de vuelos necesarios para viajar del origen al destino.

La **estructura del mercado** contempla un análisis detallado de las previsiones de flota y de los proyectos innovadores, de ahí el tamaño futuro de las aeronaves utilizadas para satisfacer la demanda de pasajeros (modelizada mediante la Herramienta de Asignación de Aeronaves).

La **Tabla 4** mostrada a continuación presenta un resumen de las características sociales, económicas y relacionadas con el tráfico aéreo de tres escenarios diferentes desarrollados por EUROCONTROL. El año 2016 sirvió como año de referencia de los resultados de las previsiones⁶ a 30 años (publicados por EUROCONTROL en 2024). Los datos históricos para el año 2010 a 2019 también se muestran más adelante como referencia.

	Alto	Base	Bajo
Previsión de vuelo a 7 años 2024-2030	Alto ↗	Base ➔	Bajo ↘
Pasajero			
Demografía (población)	Envejecimiento Variante ONU de fertilidad media	Envejecimiento Variante ONU de fertilidad media	Envejecimiento Variante ONU de migración cero
Rutas y destinos	Larga distancia ↗	Sin cambios ➔	Larga distancia ↘
Trenes de alta velocidad y nocturnos (conexiones nuevas y mejoradas)	Pares de ciudades: 32 TAV/29 trenes nocturnos aplicación más rápida	Pares de ciudades: 31 TAV/29 trenes nocturnos	Pares de ciudades: 26 TAV aplicación más rápida
Condiciones económicas			
Crecimiento del PIB	Mayor ↗	Moderado ➔	Menor ↘ ↘
Ampliación de la UE	+7 Estados, más tarde	+7 Estados, cuanto antes	+7 Estados, la más tardía
Libre comercio	Global, más rápido	Limitado, más tarde	No
Precio de viajar			
Coste operativo	Decreciente ↘ ↘	Decreciente ↘	Sin cambios ➔

⁶ EUROCONTROL Long-Term Aviation Outlook to 2050, EUROCONTROL, December 2024. (link to the report <https://www.eurocontrol.int/publication/eurocontrol-forecast-2024-2050>)

Precio del CO ₂ en el Régimen de comercio de derechos de emisión	Moderado, en aumento ↗	Moderado, en aumento ↗	Moderado, en aumento ↗
Precio del petróleo/barril	Moderado	Moderado	Alto
Precio de los SAF	Relativamente alto	Relativamente alto ↗	El más alto ↗↗
Estructura	Hubs: Oriente Medio ↗↗ Europa ↘ Türkiye ↗	Hubs: Oriente Medio ↗↗ Europa y Türkiye ↗	
Red	Punto a punto: Atlántico Europa ↗	Punto a punto: Atlántico Norte ↗, Aeropuertos europeos secundarios ↗	Sin cambios →
Estructura del mercado	Previsión para toda la flota del sector, previsiones de Clean Aviation y STATFOR	Previsión para toda la flota del sector, previsiones de Clean Aviation y STATFOR	Previsión para toda la flota del sector, previsiones de Clean Aviation y STATFOR
Mezcla de combustibles	Conforme a ReFuelEU Aviation (de 2 % de SAF en 2025 al 70 % en 2050)	Conforme a ReFuelEU Aviation (de 2 % de SAF en 2025 al 70 % en 2050)	Retraso de 5 años respecto a ReFuelEU Aviation (de 0,5 % de SAF en 2025 al 42 % en 2050)

Tabla 4 Resumen de las características de los escenarios de EUROCONTROL.

Fuente: European State Action Plans for CO₂ emissions reduction – 5th Edition of the ECAC/EU guidelines

1.2.1. ACTUALIZACIÓN DEL PRONÓSTICO SOBRE AVIACIÓN DE EUROCONTROL PARA 2050

En noviembre de 2023, EUROCONTROL comenzó a trabajar en una actualización de su pronóstico sobre aviación de EUROCONTROL para 2050 (EAO por sus siglas en inglés). Se trata de una actualización del EAO⁷ publicado anteriormente (abril de 2022), que cubre la previsión de vuelos y emisiones de CO₂ a largo plazo hasta 2050, que se basaba en los datos históricos de vuelos de 2019. La edición de 2024 se basa ahora en los últimos datos de vuelos reales disponibles (2023) y utiliza el pronóstico de EUROCONTROL a siete años (2024-2030). Cuenta con una revisión completa de los supuestos de previsión de la flota, así como una revisión de otros datos: el desarrollo de la red ferroviaria de alta velocidad, el impacto de los futuros combustibles sostenibles para la aviación, los precios del combustible para de aviación y de las atribuciones de CO₂, las futuras limitaciones de la capacidad aeroportuaria y el mandato de los SAF.

EUROCONTROL también proporciona una actualización de su marco de elaboración de modelos y evaluación medioambiental del tráfico con el modelo IMPACT, que incluye:

⁷ Perspectivas de la aviación de EUROCONTROL para 2050, EUROCONTROL, abril de 2022.

- Una previsión actualizada de las operaciones de referencia de congelación tecnológica utilizando únicamente el crecimiento y la sustitución de aeronaves en producción en el año de referencia (escenario de referencia de tráfico y flota) de 2023 a 2050;
- Datos de referencia sobre pasajeros actualizados (Eurostat). Puede que sea necesario contar con fuentes de datos adicionales para cubrir la región de la CEAC;
- Las últimas versiones de la base de datos del ruido y rendimiento de las aeronaves (ANP por sus siglas en inglés), BADA, la base de datos de la OACI sobre emisiones de motores de aeronaves (AEEDB por sus siglas en inglés), todas ellas versiones de marzo de 2024;
- Las hipótesis actualizadas sobre futuras tecnologías, eficiencia operativa, SAF (por ejemplo, basadas en las tendencias medioambientales del CAEP/13 además de información sobre tecnologías emergentes).

La Ilustración muestra el escenario de la CEAC de las salidas internacionales previstas de vuelos de pasajeros para los años históricos (línea continua) y futuros (línea discontinua).

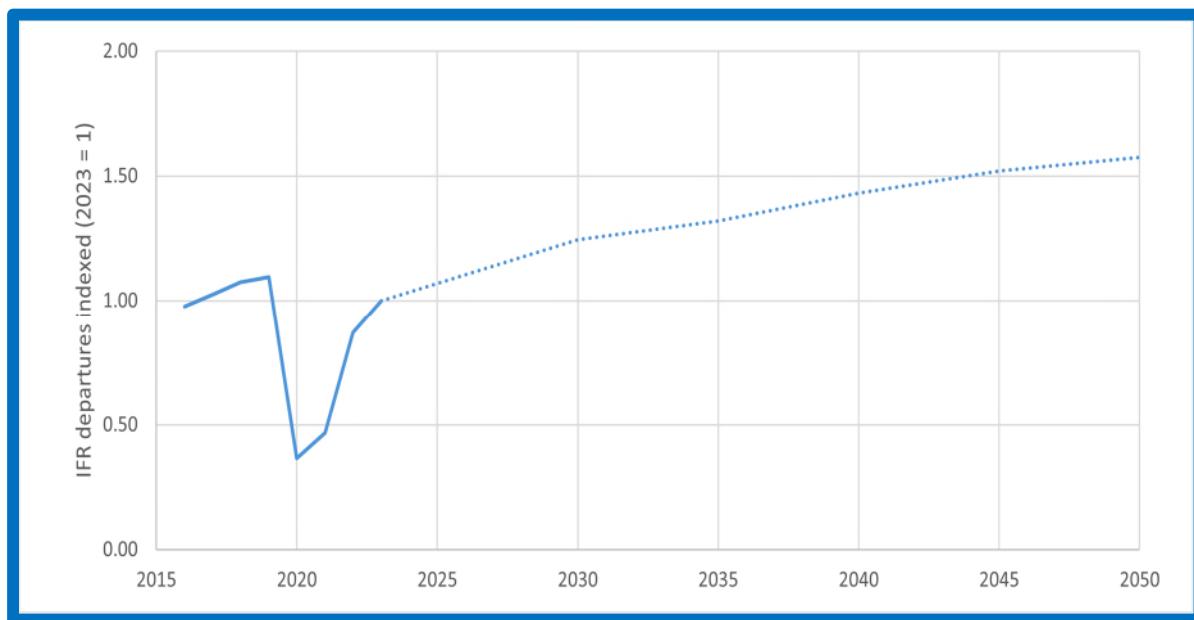


Ilustración 13. Escenario “base” de EUROCONTROL actualizado con la previsión de vuelos de pasajeros con salidas internacionales de la CEAC de 2024 a 2050.

Fuente: Elaborado por Eurocontrol e incorporado en la European State Action Plans for CO₂ emissions reduction – 5th Edition of the ECAC/EU guidelines

1.2.2. HIPÓTESIS Y RESULTADOS DEL ESCENARIO DE REFERENCIA

EUROCONTROL elaboró un escenario de referencia de la CEAC para todos los Estados de la CEAC. Abarca todos los vuelos comerciales internacionales de pasajeros con salida⁸ desde los aeropuertos de la CEAC, según las previsiones del escenario “base” de tráfico mencionado anteriormente. El número de pasajeros por vuelo proviene de Eurostat.

En su escenario “base”, EUROCONTROL también genera un número de vuelos solo de carga. Sin embargo, no se dispone de información sobre las toneladas de carga transportadas. Por tanto, el tráfico de carga histórico y previsto se ha obtenido de otra fuente (OACI⁹). Estos datos, que se presentan a continuación, incluyen tanto la carga en bodega transportada en vuelos de pasajeros como la carga transportada en vuelos exclusivamente de carga.

Los cálculos históricos de consumo de combustible y emisiones se basan en los planes de vuelo reales del repositorio de datos PRISME¹⁰ utilizado por EUROCONTROL, lo que incluye la distancia de vuelo real y la altitud de crucero por par de aeropuertos. Estos cálculos se realizaron con un subconjunto del tráfico total de pasajeros (con información disponible y utilizable en los planes de vuelo) que cubre el 98% en 2010, y el 99% en 2019 y 2030. La estimación del consumo de combustible y las emisiones de CO₂ de los años históricos se obtiene de la agregación del consumo de combustible y las emisiones de cada aeronave de las características de la muestra de tráfico correspondiente. Los resultados de consumo de combustible y emisiones de CO₂ tienen en cuenta el consumo de combustible de cada aeronave en sus fases de vuelo en tierra y en el aire, y se obtienen mediante el uso del modelo medioambiental EUROCONTROL IMPACT, con el nivel tecnológico de las aeronaves de cada año.

Los años previstos de consumo de combustible (hasta 2050) y los cálculos de los modelos utilizan, en la medida de lo posible, las características del plan de vuelo de 2023 para reproducir las distancias recorridas y niveles de crucero reales, por pares de aeropuertos y tipos de aeronaves. Cuando no es posible, este enfoque de modelo utiliza también los tráficos de años anteriores y, si es necesario, los modelos de previsión del CAEP de la OACI. Las previsiones de consumo de combustible y emisiones de CO₂ del escenario de referencia para los años de previsión utilizan el nivel tecnológico de 2023. La previsión de tráfico de pasajeros utilizable para el cálculo representa el 99,7 % del tráfico total de pasajeros disponible.

Para cada año previsto, los cálculos de los ingresos por pasajero-kilómetro (RPK por sus siglas en inglés) utilizan el número de pasajeros transportados para cada par de aeropuertos multiplicado por la distancia ortodrómica entre los aeropuertos asociados y expresada en kilómetros. Debido a la cobertura de los conjuntos de datos de estimación de pasajeros (vuelos regulares, de bajo coste, no regulares,

⁸Sólo salidas internacionales. Quedan excluidos los vuelos nacionales. Un vuelo nacional es cualquier vuelo entre dos aeropuertos del Estado, independientemente del operador o de los espacios aéreos en los que entran en ruta. Los aeropuertos situados en ultramar están adscritos al Estado que tiene la soberanía del territorio. Por ejemplo, los vuelos nacionales de Francia incluyen los vuelos a Guadalupe, Martinica, etc.

⁹Previsiones a largo plazo de tráfico, vuelos de carga, Europeos, internacionales y nacionales, de la OACI 2021.

¹⁰PRISME es el nombre de la base de datos de EUROCONTROL que contiene datos sobre los planes de vuelo, la flota y los fuselajes.

información sobre pasajeros de la que se dispone, etc.), estos resultados se determinan para el 96 % del tráfico histórico de pasajeros en 2010, el 97 % en 2019, el 99 % en 2023 y cerca del 99 % de las previsiones de vuelos de pasajeros. A partir de los valores de RPK, el RTK de los vuelos de pasajeros puede calcularse como el número de toneladas transportadas por kilómetros, suponiendo que 1 pasajero corresponde a 0,1 tonelada.¹¹

La eficiencia del combustible representa la cantidad de combustible consumido dividida por el RPK para cada par de aeropuertos disponibles con datos de pasajeros, solo para el tráfico de pasajeros. En este caso, los resultados del RPK y de eficiencia del combustible corresponden a la agregación de estos valores para todos los años de tráfico en cuestión.

Las siguientes tablas e imágenes muestran los resultados para este escenario de referencia, con el objetivo de servir como caso de referencia aproximando el consumo de combustible y las emisiones de CO₂ de la aviación europea en ausencia de medidas de mitigación.

Tabla 5 Previsiones de referencia para el tráfico internacional con salida en los aeropuertos de la CEAC

Año	Tráfico de pasajeros (movimiento IFR) (10 ⁶)	Pasajeros por Kilómetro Transportado (RPK) ¹² (10 ⁹)	Nº de Operaciones carga (IFR) (10 ⁶)	Toneladas de carga transportada FTKT (10 ⁹) ¹³	Ingresos totales toneladas-kilómetro RTK (10 ⁹) ¹⁴
2010	4,71	1,140	0,198	41,6	155,6
2019	5,88	1,874	0,223	46,9	234,3
2023	5,38	1,793	0,234	49,2	228,5
2030	6,69	2,176	0,262	55,9	273,5
2040	7,69	2,588	0,306	69,0	327,8
2050	8,46	2,928	0,367	86,7	379,5

Tabla 6 Previsión de consumo de combustible y emisiones de CO₂ en el escenario de referencia

Año	Consumo de combustible (10 ⁹ kg)	Emisiones de CO ₂ (10 ⁹ kg)	Eficiencia del combustible (kg/RPK)	Eficiencia del combustible (kg/RTK)
2010	38,08	120,34	0,0327	0,327
2019	53,30	168,42	0,0280	0,280

¹¹ Dividir el combustible por los resultados de RPK de las tablas presentadas en este documento no es adecuado para estimar la eficiencia del combustible (diferencias en la cobertura del tráfico). El resultado presentado se ha calculado sobre la base de un par de aeropuertos.

¹² Calculado sobre la base de la distancia ortodrómica (GCD) entre aeropuertos.

¹³ Incluye transporte de pasajeros y carga (en vuelos exclusivamente de carga y pasajeros).

¹⁴ Se ha utilizado un valor de 100 kg como masa media de un pasajero, incluido el equipaje (ref: OACI).

2023	48,41	152,96	0,0268	0,268
2030	54,46	172,10	0,0250	0,250
2040	62,19	196,52	0,0240	0,240
2050	69,79	220,54	0,0238	0,238

Por razones de disponibilidad de datos, los resultados que se muestran en esta tabla no incluyen el tráfico de carga.

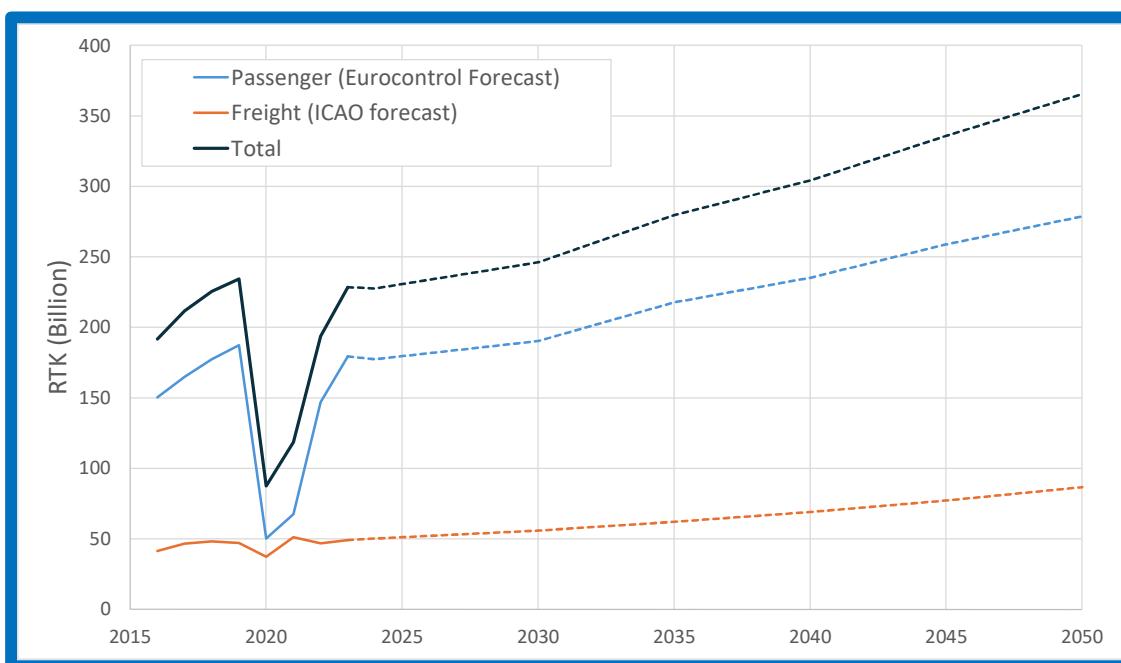


Ilustración 14. Tráfico pronosticado hasta 2050

Fuente: Elaborado por Eurocontrol e incorporado en la European State Action Plans for CO₂ emissions reduction – 5th Edition of the ECAC/EU guidelines

Aunque esos datos no se muestran en la **Tabla 5**, el número de vuelos entre 2019 y 2023 en la **Ilustración 14** refleja el impacto del COVID-19 a partir de 2020. Aunque el segmento de pasajeros se ha visto drásticamente afectado por la pandemia, el de mercancías parece más inmune.

Como se detalla en la **Tabla 6**, de 2010 a 2019, las emisiones de CO₂ aumentan de 120 a 168 millones de toneladas, con una tasa de crecimiento anual del 1,86%. En 2023, tras el impacto de la crisis del COVID en el tráfico, las emisiones de CO₂ son inferiores al nivel de 2019, con 153 millones de toneladas. Para los años previstos, las emisiones de CO₂ estimadas del escenario de referencia de la CEAC aumentarían de 172 millones de toneladas en 2030 a 220 millones de toneladas en 2050 (tasa de crecimiento anual del 1,25%).

El aumento de la eficiencia del combustible sería menos importante en los años de la previsión (tasa de crecimiento anual del -0,46 % entre 2023 y 2050) que entre 2010 y 2023 (aumento anual del -1,36 %), principalmente debido a la entrada en servicio de las aeronaves de la flota "Neos".

1.3. ESCENARIO DE LA CEAC CON MEDIDAS IMPLEMENTADAS: BENEFICIOS ESTIMADOS

Para mejorar la eficiencia del combustible y reducir las emisiones futuras del tráfico aéreo más allá de las previsiones del escenario de referencia, los Estados de la CEAC han adoptado nuevas medidas. Aquí se presentan los supuestos para una evaluación descendente de los efectos de las medidas de mitigación, basados en los resultados de los modelos de EUROCONTROL y EASA. Las medidas para reducir el consumo de combustible y las emisiones de la aviación se describen en los capítulos posteriores.

Por razones de simplicidad, el escenario con medidas aplicadas se basa en los mismos volúmenes de tráfico que el escenario de referencia, es decir, el escenario "Base" de EUROCONTROL descrito previamente y actualizado. A diferencia del escenario de referencia, en este se tienen en cuenta los efectos del desarrollo tecnológico relacionado de las aeronaves y las mejoras de la gestión del tráfico aéreo y operaciones, así como las mejoras en los SAF, para realizar una proyección del consumo de combustible y las emisiones de CO₂ hasta el año 2050.

Los efectos de la **mejora de la tecnología aeronáutica** se obtienen simulando la renovación de la flota y teniendo en cuenta las mejoras en eficiencia de combustible de los futuros tipos de aeronaves con motores convencionales (por ejemplo, Boeing 777X, Airbus A321Neo rediseñado, etc.) y propulsados por motores híbridos eléctricos y de hidrógeno. Se ha diseñado la futura flota de aeronaves simulada utilizando la Herramienta de Asignación de Aeronaves (AAT por sus siglas en inglés)¹⁵ desarrollada en colaboración por EUROCONTROL, EASA y la Comisión Europea. El proceso de retirada de la AAT se realiza anualmente, lo que permite determinar el número de aeronaves nuevas necesarias cada año. Esta mejora técnica se calcula mediante una mejora anual constante de la eficiencia del combustible del 1,16 % anual que se supone para cada tipo de aeronave que entre en servicio a partir de 2024. Dicha tasa de mejora corresponde al escenario con tecnología de combustible "avanzada" utilizado por el CAEP para generar las tendencias de combustible para la Asamblea. Este cálculo de la mejora tecnológica se aplica a los años comprendidos entre 2030 y 2050. Asimismo, la entrada en servicio de tipos de aviones híbridos y de hidrógeno en el tráfico induce un porcentaje de reducción del consumo de combustible que pasa del 0 % en 2035 al 5 % en 2050 (EASA).

Los efectos de la mejora de la **eficiencia de la gestión del tráfico aéreo (ATM)** se recogen en el escenario de medidas aplicadas basado en el Plan Maestro Europeo de Gestión del Tránsito Aéreo, gestionado por SESAR 3. Este documento define una visión común y una hoja de ruta para las partes interesadas en la modernización y armonización de los sistemas de ATM europeos, incluido el objetivo de reducir las emisiones medias de CO₂ por vuelo en un 5-10 % (0,8-1,6 toneladas) para 2035 a través de una mayor cooperación. Se ha supuesto que las mejoras en la eficiencia de los sistemas de ATM posteriores al 2023 traerán consigo reducciones en las emisiones de CO₂ por vuelo completo que aumentarán gradualmente hasta el 5 % en 2035 y el

¹⁵ <https://www.easa.europa.eu/domains/environment/impact-assessment-tools>

10 % en 2050. Estas reducciones se aplican junto con las reducciones provenientes de las mejoras tecnológicas en aeronaves y motores.

Se espera que en el futuro los beneficios aún no estimados de los proyectos de investigación exploratoria¹⁶ incrementen el ahorro global de combustible.

Aunque los efectos de la **introducción de los SAF** se calcularon en actualizaciones anteriores sobre la base de los objetivos europeos del consejo asesor para la investigación aeronáutica (ACARE¹⁷), los objetivos de suministro de SAF previstos para 2020 no se alcanzaron. En esta actualización, los beneficios de los SAF se calculan como una medida común regional europea aplicada al tráfico internacional de los 27 Estados miembros de la UE y los Estados de la Asociación Europea de Libre Comercio (EFTA por sus siglas en inglés). La actualización presupone que las cuotas mínimas de SAF establecidas en el Reglamento de aviación ReFuelEU se cumplen en el escenario base. El Reglamento implica que el suministro de SAF aumente gradualmente hasta llegar al 20 % del consumo total de combustible en 2035 y al 70 % en 2050. Se espera un valor de los factores de descarbonización del 70 % de las emisiones de CO₂ tanto para los combustibles de aviación sintéticos como para los biocombustibles de aviación. Como los cálculos relacionados con los SAF solo pueden aplicarse a los países donde se espera que se apliquen normativas regionales (p. ej., ReFuelEU Aviation), **en el Apéndice A de este documento se informa de las emisiones netas tank-to-wake de CO₂ solo para el tráfico internacional de la los 27 Estados miembros de la UE EFTA.**

Sin embargo, en el capítulo 2, sección B, se describen numerosas iniciativas relacionadas con los SAF (p.ej., ReFuelEU Aviation) y se espera que las futuras actualizaciones incluyan una evaluación de sus beneficios como medida colectiva.

Los efectos en las emisiones de CO₂ de la aviación que tienen las medidas basadas en el mercado, incluido el Régimen de Comercio de Derechos de Emisión (EU ETS en inglés) con el régimen suizo correspondiente, el régimen de Reino Unido y el Sistema de Compensación y Reducción del Carbono para la Aviación Internacional (CORSIA) de la OACI, no se han calculado explícitamente en la evaluación descendente del escenario de medidas aplicadas que se presenta. El objetivo del CORSIA es lograr el crecimiento neutro en carbono (CNG en inglés) de la aviación, por lo que este objetivo se muestra en la **Ilustración 16**¹⁸.

Las cuantificaciones del EU ETS se describen con más detalle en el capítulo 4 de este apéndice.

Las **tablas 7-9** y las **imágenes 15 y 16** resumen los resultados del escenario con medidas aplicadas. Cabe señalar que las **tablas 7 y 9** muestran las emisiones de CO₂ por combustión directa (suponiendo 3,16 kg de CO₂ por kg de combustible). En el Apéndice A se presentan resultados tabulados más detallados, incluidos los

¹⁶ Véanse los proyectos de investigación exploratorios SESAR: <https://www.sesarju.eu/exploratoryresearch>

¹⁷ <https://www.acare4europe.org/sria/flightpath-2050-goals/protecting-environment-and-energy-supply-0>

¹⁸ Nota: en sentido estricto, el objetivo CORSIA de CNG se debe alcanzar en todo el mundo (por tanto, no necesariamente en cada región del mundo).

resultados expresados en emisiones de CO₂ well-to-wake (equivalentes a efectos de comparación de los beneficios de los SAF).

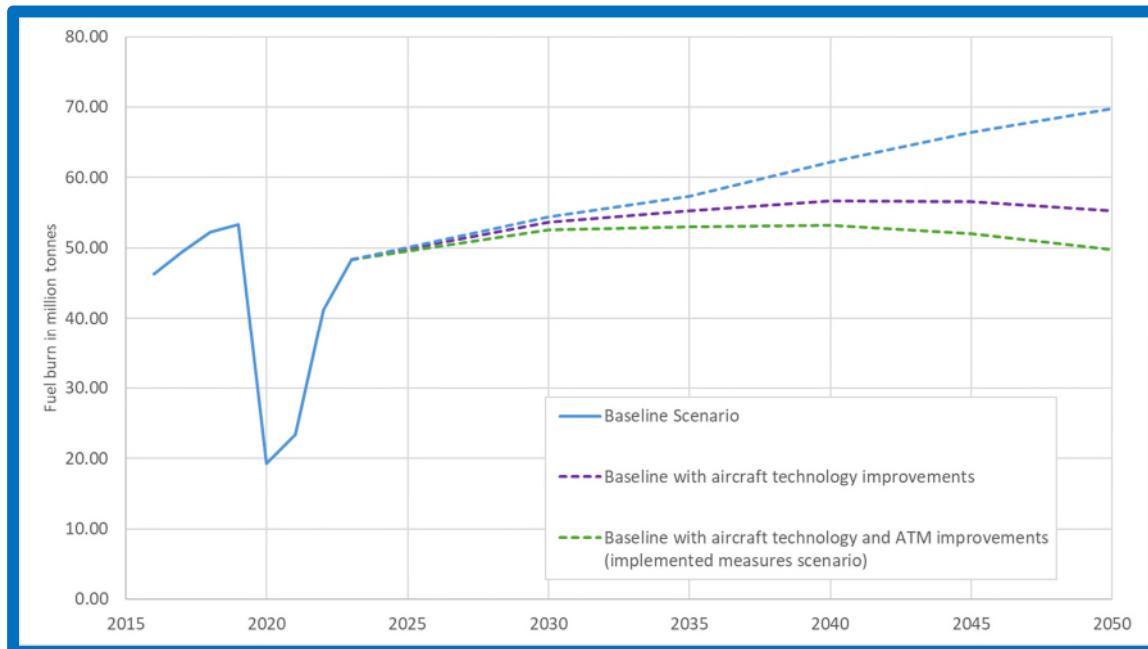


Ilustración 15. Consumo de combustible previsto para los escenarios de referencia y de medidas aplicadas (vuelos internacionales de pasajeros con salida de aeropuertos de la CEAC).

Fuente: Elaborado por Eurocontrol e incorporado en la European State Action Plans for CO₂ emissions reduction – 5th Edition of the ECAC/EU guidelines

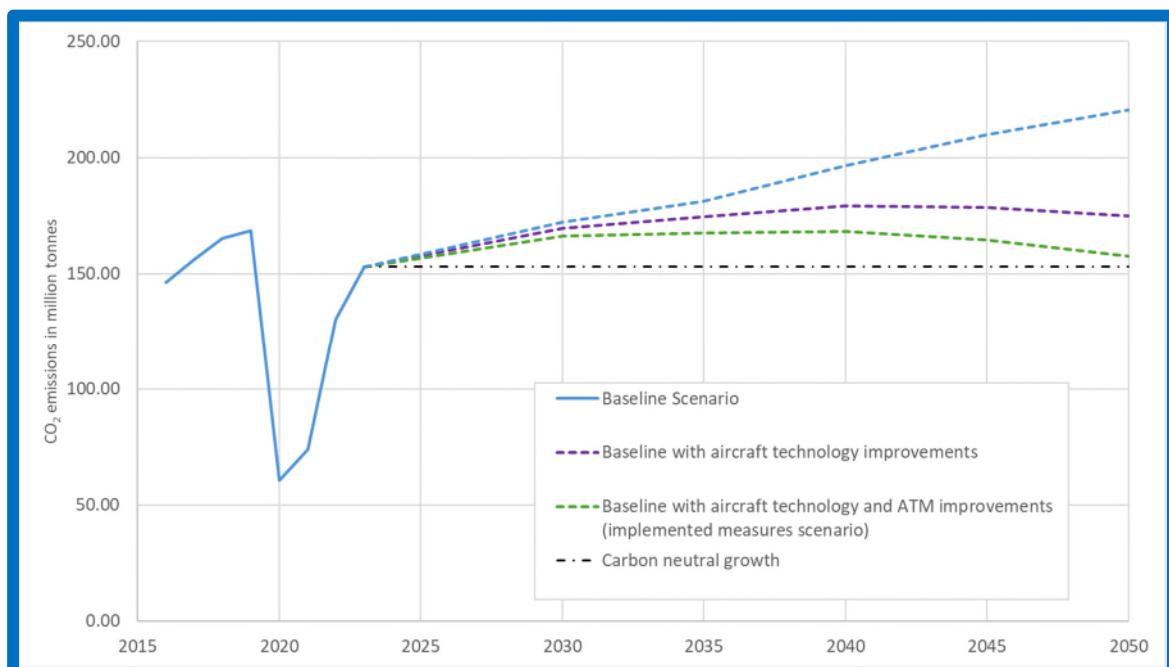


Ilustración 16. Previsión de emisiones de CO₂ para los escenarios de referencia y de medidas aplicadas.

Fuente: Elaborado por Eurocontrol e incorporado en la European State Action Plans for CO₂ emissions reduction – 5th Edition of the ECAC/EU guidelines

Como muestran las **imágenes 15 y 16**, el impacto de la mejora de la tecnología aeronáutica indica una reducción global del 21 % en el consumo de combustible y en las emisiones de CO₂ en 2050 en comparación con el escenario de referencia. Se prevé que las emisiones globales de CO₂, incluidos los efectos de los nuevos tipos de aeronaves (convencionales, híbridas y de hidrógeno) así como las medidas relacionadas con la gestión del tráfico aéreo mejoren hasta alcanzar una reducción del 29 % en 2050 en comparación con el escenario de referencia.

Tabla 7 Previsión del consumo de combustible y emisiones de CO₂ para el escenario de medidas aplicadas (solo para nuevas tecnologías de aeronaves y mejoras de la gestión del tráfico aéreo)

Año	Consumo Fuel (10 ⁹ kg)	Emisiones CO ₂ (10 ⁹ kg)	Factor de eficiencia (kg/RPK ¹²)	Factor de eficiencia (kg/RTK ¹⁴)
2010	38.08	120.34	0.0327	0.327
2019	53.30	168.42	0.0280	0.280
2023	48.41	152.96	0.0268	0.268
2030	52.57	166.11	0.0241	0.241
2040	53.27	168.34	0.0206	0.206
2050	49.81	157.39	0.0170	0.170

Por razones de disponibilidad de datos, los resultados que se muestran en esta tabla no incluyen el tráfico de carga.

Como se muestra en la **tabla 8**, según los escenarios actuales de mejora de las aeronaves y de la gestión del tráfico aéreo, se prevé que la eficiencia del combustible se reduzca en un 40 % entre 2023 y 2050. De hecho, se prevé que la tasa anual de mejora de la eficiencia del combustible aumente progresivamente de un 1,7 % entre 2023 y 2030 al 1,9 % entre 2040 y 2050. Las mejoras de la tecnología aeronáutica y de la gestión del tráfico aéreo por sí solas no bastarán para alcanzar el objetivo de crecimiento neutro en carbono de la OACI para después de 2020, ni tampoco lo hará el uso de combustibles alternativos, aunque se cumplan los ambiciosos objetivos europeos en materia de combustibles alternativos. Esto confirma que, para salvar esta brecha, será necesario contar con medidas adicionales, concretamente, con medidas basadas en el mercado.

Tabla 8 Mejora media anual de la eficiencia del combustible en el escenario de medidas aplicadas (solo nuevas tecnologías aeronáuticas y mejoras de la gestión del tráfico aéreo)

Período	Mejora anual promedio de la eficiencia del combustible (%)
2010-2023	-1,62%
2023-2030	-1,58%
2030-2040	-1,59%
2040-2050	-1,89%

La **tabla 9** resume los efectos acumulados de cada medida aplicada. Identifica el impacto de las mejoras técnicas en la reducción de las emisiones de CO₂, del 1,5 % en 2030 al 20 % en 2050, en comparación con el escenario de referencia de la CEAC.

Tabla 9 Previsión de emisiones de CO₂ para los escenarios descritos en este capítulo

Año	Escenario Base	Emisiones de CO ₂ (10 ⁹ kg)		% Mejora tras implantación medidas (Full scope)	
		Mejoras tecnológicas	Mejoras Tecnológicas y Gestión ATM		
2010		120,34			
2019		168,42			
2023		152,96			
2030	172,10	169,50	166,11	-3%	
2040	196,52	179,08	168,34	-14%	
2050	220,54	174,88	157,39	-29%	

Por razones de disponibilidad de datos, los resultados que se muestran en esta tabla no incluyen el tráfico de carga.

Se considera que el consumo de combustible no se ve afectado por el uso de combustibles sostenibles de aviación.

El Apéndice A de esta sección del documento proporciona más detalles sobre los resultados de cada escenario, tanto el de referencia como el de medidas aplicadas, así como el CO₂ equivalente y las emisiones netas de CO₂ de los 27 miembros de la UE y los Estados miembros del EFTA.

2. ACCIONES DE MITIGACIÓN DE CARÁCTER SUPRANACIONAL

2.1. DESARROLLO DE TECNOLOGÍAS RELACIONADAS CON LAS AERONAVES

En los últimos años, ha habido un número limitado de nuevos tipos de motores y aviones grandes de transporte certificados con mejoras medioambientales marginales, mientras que las entregas de aeronaves de última generación siguen penetrando en la flota europea. Según la norma de la OACI sobre CO₂, a partir del 1 de enero de 2028 será obligatorio certificar todos los tipos de aviones en producción, lo que está provocando un aumento de las actividades en este ámbito. Las normas de tecnología medioambiental serán importantes a la hora de influir en los nuevos diseños de motores de aeronaves y contribuir a los futuros objetivos de sostenibilidad.

En febrero de 2025, el CAEP de la OACI pretende acordar nuevos límites de ruido y CO₂ para las aeronaves, que entrarían en vigor en los cinco años siguientes.

Los objetivos tecnológicos a medio (2027) y largo plazo (2037) de los expertos independientes de la OACI se acordaron en 2019 y se están quedando obsoletos. Los datos sobre emisiones medidos durante el proceso de certificación de los motores constituyen una importante fuente de información para apoyar la elaboración de modelos sobre emisiones operativas en crucero.

Ha habido nuevos avances en el mercado de las aeronaves con bajas emisiones de carbono (por ejemplo, eléctricas, de hidrógeno), con el apoyo de la Alianza para una Aviación de Cero Emisiones para abordar las barreras a la entrada en servicio y facilitar una reducción potencial de las emisiones de CO₂ de corta y media distancia del 12 % para 2050.

EASA ha publicado directrices de medición del ruido y especificaciones técnicas de protección medioambiental para responder a los mercados emergentes de los drones y la movilidad aérea urbana (UAM). EASA ha puesto en marcha el programa Flightpath 2030+ para la aviación general con el objetivo de acelerar la transición de la tecnología de propulsión, la infraestructura y los combustibles para facilitar las operaciones sostenibles.

Horizon Europa, con un presupuesto de 95.000 millones de euros, financia la investigación fundamental y colaborativa en aviación, así como las asociaciones (por ejemplo, Clean Aviation, Clean Hydrogen) que desarrollan y prueban nuevas tecnologías para apoyar el Pacto Verde Europeo.

La Agencia Europea de Seguridad Aérea (EASA) elabora y aplica normas de certificación medioambiental de aeronaves [1, 2, 3, 4] que los fabricantes deben cumplir para poder registrar sus productos en la UE y los Estados de la EFTA.

La reciente certificación de nuevos tipos de aeronaves grandes de transporte y motores ha seguido centrándose en paquetes de mejora del rendimiento de aeronaves certificadas en la década de 2010 (por ejemplo, Airbus A350, A330neo y A320neo; Boeing 737MAX y 787). La penetración de estos tipos de aeronaves en la flota europea se ha ralentizado debido a la reducción de las entregas anuales tras la crisis del COVID y el margen medio respecto a la normativa más reciente sobre ruido de las nuevas entregas se está estabilizando. En cambio, se han incrementado las actividades investigación y certificación en mercados emergentes, como el de las aeronaves con cero emisiones de carbono (por ejemplo, aviones eléctricos y propulsados por hidrógeno).

2.1.1. NORMAS MEDIOAMBIENTALES PARA AERONAVES

2.1.1.1. Emisiones de CO₂ de las aeronaves

Desde el 1 de enero de 2020, los nuevos tipos de aeronaves deben cumplir con una nueva norma¹⁹ de CO₂, aunque hasta principios de 2025 no se ha certificado ninguna aeronave conforme a esta norma. Hasta ahora, la atención se ha centrado en la certificación de los tipos de aeronaves en producción con arreglo a una norma de CO₂ menos estricta, ya que todas las aeronaves deben certificarse según este nuevo requisito para poder continuar con el proceso de fabricación después del 1 de enero de 2028.

A finales de 2024, Airbus sigue siendo el único fabricante que ha certificado tipos de aviones en producción, como las variantes A330-800neo y -900neo (Ilustración 1.4), por lo que la disponibilidad de datos certificados de CO₂ sigue siendo limitada [5]. Ante la proximidad de la fecha límite de producción en 2028, EASA está llevando a cabo la certificación de otros tipos de aeronaves, y otras regiones del mundo también han introducido la norma de CO₂ en su legislación, que entrará en vigor en EE.UU. el 16 de abril de 2024. Para seguir siendo pertinentes, los objetivos del Panel de Expertos Independientes de la OACI de 2019 en materia de emisiones de CO₂ en 2027 y 2037 se deberían revisar dentro de poco.

¹⁹ El Anexo 16 de la OACI, Volumen III, del Convenio de Chicago, contiene las normas internacionales de CO₂ para aeronaves. La métrica de CO₂ es una métrica específica basada en el alcance aéreo (kg de combustible por km volado en crucero) ajustada para tener en cuenta el tamaño del fuselaje.

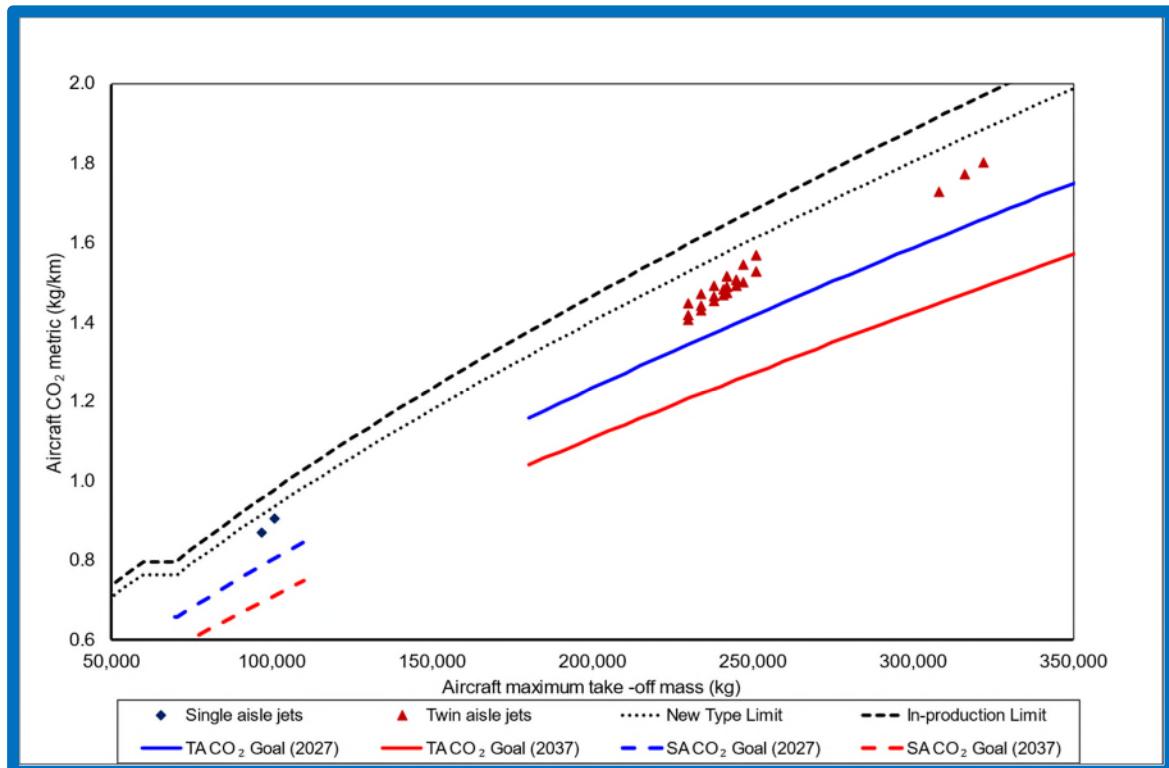


Ilustración 17. Rendimiento de las emisiones de CO₂ de los aviones certificados.

Fuente: European State Action Plans for CO₂ emissions reduction – 5th Edition of the ECAC/EU guidelines

2.1.1.2. Doble norma de la OACI de ruido y CO₂



El Comité sobre la protección del medio ambiente y la aviación (CAEP) de la OACI está estudiando una revisión de las normas del Anexo 16 de la OACI sobre ruido de las aeronaves y emisiones de CO₂. Es la primera vez que el CAEP revisa dos normas al mismo tiempo en forma de proceso integrado de doble rigor que tiene en cuenta las compensaciones del diseño de las aeronaves. Se han evaluado los beneficios medioambientales y costes asociados de una amplia gama de opciones para nuevas normas de tipo más estrictas con una fecha de aplicabilidad para los próximos 5 años. El CAEP deberá presentar una recomendación sobre nuevos límites de ruido y CO₂ en la reunión CAEP/13 de febrero de 2025.

Teniendo en cuenta el desarrollo a largo plazo y los plazos de entrada en servicio de los nuevos tipos de aeronaves, será importante establecer una norma de CO₂ actualizada para los nuevos tipos que influya en la eficiencia del combustible de los futuros diseños y que contribuya eficazmente al objetivo a largo plazo de la OACI de cero emisiones netas de carbono en la aviación internacional para 2050 [6].



2.1.2. AERONAVES CON BAJAS EMISIONES DE CARBONO

En los últimos años, EASA ha recibido un número creciente de consultas sobre la certificación de nuevas configuraciones de aeronaves y fuentes de propulsión con cero emisiones de carbono en funcionamiento cuando se fabrican con energías renovables.

2.1.2.1. Propulsión eléctrica

En lo referente a las aeronaves con capacidad de despegue y aterrizaje vertical (VCA, también conocidas como vehículos de movilidad aérea urbana o vehículos de movilidad aérea avanzada), EASA ha publicado recientemente dos especificaciones técnicas de protección medioambiental (EPTS en inglés), ambas sometidas a consulta pública. La primera EPTS, publicada en 2023, aborda las VCA con rotores no basculantes [7], y cubre diseños como el VoloCity de Volocopter o el CityAirbus de Airbus. La segunda EPTS, publicada en 2024, se refería a las VCA propulsados, al menos parcialmente, por rotores basculantes [8], y abarcaba diseños como el Lilium Jet. Estas dos EPTS cubren la mayoría de los diseños de VCA actualmente previstos y se utilizarán en los programas de certificación de ruido correspondientes. Provenían de las normas de ruido heredadas para grandes helicópteros y rotores basculantes, se adaptaron a las características de las VCA y se ampliaron para incluir puntos de medición en condiciones de vuelo estacionario. Hasta que se puedan recopilar más datos, se están utilizando los mismos límites de ruido que para los grandes helicópteros. Finalmente, un Acto delegado de la UE tendrá como objetivo incorporar el contenido de estos EPTS a la normativa sobre ruido de EASA.

Aunque han aumentado las solicitudes a EASA de aeronaves propulsadas eléctricamente, se han completado pocos programas de aviación general desde la certificación acústica del Pipistrel Velis Electro en 2020, aparte del planeador de autodespegue LAK-

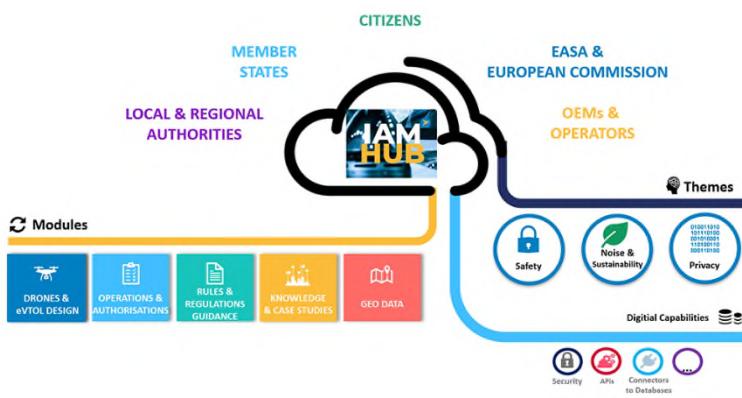


17 en 2023, debido a los continuos retos que plantea el aumento de la densidad energética de las baterías para reducir el peso y aumentar la autonomía. En ambos casos se utilizaron las normas de ruido heredadas del capítulo 10 del Anexo 16 de la OACI con pequeños ajustes. Esta tecnología puede reducir el ruido en 10 decibelios en comparación con un avión con motor de pistón equivalente, lo que se percibe como un 50% más silencioso.

Hub de Movilidad Aérea Innovadora de EASA

El Hub de Movilidad Aérea Innovadora (IAM en inglés) de EASA [9] es una plataforma digital única, desarrollada por un grupo de trabajo específico que reúne a todas las partes interesadas del sistema europeo, incluyendo ciudades, regiones, autoridades nacionales, la UE, operadores y fabricantes. El objetivo principal es facilitar la aplicación segura, eficiente y sostenible de las prácticas IAM (como los drones o la movilidad aérea urbana).

En la actualidad, la plataforma consta de cinco módulos: diseño de drones y eVTOL, normas y reglamentos, tarjetas de conocimiento e información, información operativa y datos geográficos, como los relativos a la población. Se han desplegado diversas estrategias para mitigar los impactos medioambientales de los UAS y los VCA (por ejemplo, normativas, zonas de exclusión aérea, geovallas, restricciones de altitud, identificación remota) para crear un equilibrio entre los beneficios de estas nuevas tecnologías y la necesidad de proteger a los ciudadanos de la UE. También se está desarrollando una metodología en la que se base la evaluación medioambiental del ciclo de vida completo de las aeronaves de movilidad aérea innovadora (IAM), conocida como *Environmental Footprint Aviation* (huella de la aviación en el medio ambiente) [10].



2.1.2.2. Aeronaves propulsadas por hidrógeno

El potencial del hidrógeno para propulsar vuelos sin emisiones de carbono ha reavivado el interés por este combustible alternativo, ya que el hidrógeno ecológico es relativamente fácil de producir, siempre que se disponga de suficiente energía renovable. Concretamente, lo que más ha despertado el interés es el potencial del hidrógeno utilizado junto con pilas de combustible y motores eléctricos para la aviación regional / de corta distancia, en la que actualmente muchos consideran restrictivo el peso de las baterías necesarias para el almacenamiento de energía.

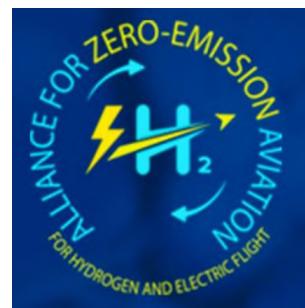
Los pioneros en este campo han avanzado en su actividad de pruebas de vuelo: H2FLY realizó el primer vuelo pilotado del mundo con un avión eléctrico propulsado por hidrógeno líquido en septiembre de 2023, utilizando su avión de demostración HY4, que opera desde Maribor (Eslovenia). Otros vuelos destacables incluyen la campaña de pruebas de vuelo de ZeroAvia con un Dornier 228 cuya hélice izquierda estaba propulsada por su motor prototípico ZA600 y, recientemente, Beyond Aero logró realizar el primer vuelo tripulado completamente eléctrico propulsado por hidrógeno de Francia, utilizando un modelo G1 SPYL-XL para demostrar su tecnología.



Aunque los titulares se han centrado sobre todo en las pruebas de vuelo con las pilas de combustible mencionadas anteriormente, también se han producido avances notables en la tecnología de combustión del hidrógeno: en este campo, Rolls Royce, Safran y GE han realizado con éxito pruebas en tierra.

2.1.2.3. Alianza para una Aviación de Cero Emisiones

La Alianza para una Aviación de Cero Emisiones (AZEa en inglés) se fundó en junio de 2022, y su objetivo es preparar el entorno de la aviación para la entrada en servicio de aeronaves eléctricas y de hidrógeno [10]. Cuenta con 181 miembros que representan a la industria, organismos normativos y de certificación, organismos de investigación, grupos de interés ambiental y reguladores. Los miembros de AZEA trabajan conjuntamente para identificar las barreras a la entrada en servicio comercial de estas aeronaves, establecer recomendaciones y una hoja de ruta para abordarlas, promover los proyectos de inversión y crear sinergias e impulso entre los miembros.



En junio de 2023, AZEA publicó una visión general del panorama normativo actual de la aviación en lo referente a aeronaves eléctricas y de hidrógeno [11] que describe las actividades que está realizando EASA para adaptar el marco normativo de la aviación y facilitar la entrada en el mercado de las aeronaves que utilicen propulsión eléctrica o de hidrógeno. Para fomentar la introducción de tecnologías disruptivas, conceptos innovadores (incluidas las operaciones en tierra y en el aire) o de productos, cuya viabilidad puede tener que ser confirmada, y para los que todavía no existe un marco regulador adecuado o el que existe no sea lo suficientemente maduro, EASA está colaborando con futuros candidatos a través de varios Servicios de Innovación [12].

En los reglamentos basados en el rendimiento existe una mayor necesidad de normas industriales de apoyo para el cumplimiento de la normativa y la interoperabilidad. Por ello, AZEA también ha publicado un documento en el que se describen las normas y los comités que trabajan actualmente en este ámbito, como EUROCAE, SAF y ASTM [13]. Se está llevando a cabo un trabajo para identificar dónde se necesitan nuevas normas, que servirá como recurso para que las Organizaciones de Desarrollo de Normas y las partes interesadas de la industria identifiquen oportunidades de colaboración y armonización de las actividades.

En enero de 2024, AZEA publicó su Concepto Operacional (CONOPS) para la introducción de aeronaves eléctricas, híbridas-eléctricas y propulsadas por hidrógeno [14]. En él se abordan los retos y oportunidades derivados de la integración de estos nuevos segmentos de mercado en el sistema europeo de aviación, abarcando todos los componentes de la red europea de gestión del tráfico aéreo, en particular los aeropuertos. El CONOPS se reevaluará una vez que se disponga de datos sólidos sobre el rendimiento de las aeronaves.

La visión de AZEA de “volar con electricidad e hidrógeno en Europa”, publicada en junio de 2024 [15], ha desarrollado un escenario de referencia que, si bien reconoce que no se puede contar con que los vuelos de larga distancia que dependen de estas fuentes de energía sean una realidad antes de 2050, también predice que aproximadamente 5.000 aeronaves eléctricas y de hidrógeno (excluyendo los vehículos de movilidad aérea urbana y los helicópteros) llegarán a los operadores europeos antes de 2050, lo que supondrá una reducción de las emisiones de CO₂ de corta y media distancia del 12%. Aunque existen retos significativos que requieren la colaboración de todas las partes interesadas, una vez superados estos obstáculos hay una oportunidad para remodelar el sector de la aviación y liderar el cambio a un futuro sostenible.

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

Ilustración 18. Panorama indicativo de ATAG sobre dónde se podría desplegar la energía baja en carbono y de carbono cero en la aviación comercial, junto con la de los SAF [16].

Fuente: European State Action Plans for CO₂ emissions reduction – 5th Edition of the ECAC/EU guidelines

2.1.3. AERONAVES SUPERSÓNICAS

Tras la retirada del Concorde en 2003, varios fabricantes han estado estudiando el desarrollo de aviones supersónicos de negocios, algunos de los cuales planean su entrada en servicio en torno a 2030. Algunos de los principales retos medioambientales son el consumo de mucho más combustible por pasajero y kilómetro en comparación con los aviones comerciales subsónicos [17], y el ruido, concretamente el impacto del estampido sónico que se genera al volar a velocidad supersónica.

2.1.4. HOJA DE RUTA PARA LA SOSTENIBILIDAD DE LA AVIACIÓN GENERAL

EASA está comprometida con conseguir que la aviación general (GA en inglés) sea más sostenible. Basándose en el éxito de la anterior hoja de ruta de la aviación general, la Agencia ha lanzado el nuevo programa GA Flightpath 2030+ en 2024 [18]. La aviación general se considera una cuna para el desarrollo, las pruebas y la industrialización de innovaciones que, una vez probadas y puestas en marcha en la

práctica, pueden impulsar mejoras en todo el sector de la aviación en materia de seguridad y sostenibilidad.

La iniciativa “Greener Faster (más ecológicos, más rápido)” está diseñada para lograr un acuerdo en todo el sector sobre lo que significa la aviación general sostenible y cómo trabajar juntos para acelerar la transición de la tecnología de propulsión, la infraestructura y los combustibles de la aviación general para facilitar las operaciones sostenibles y el objetivo de una aviación libre de carbono para 2050. Esto se complementará con la iniciativa “Fly Direct”, cuyo objetivo es optimizar las operaciones de aviación general en el espacio aéreo eliminando restricciones operativas innecesarias, lo que permitirá a las aeronaves navegar con seguridad por las rutas más eficientes y respetuosas con el medio ambiente.

2.1.5. PROGRAMAS DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN

La investigación sobre el medio ambiente y la aviación está integrada en programas de investigación europeos, nacionales y de la industria. En la UE, la mayor parte de la investigación se financia actualmente a través de “Horizon Europa” (2021-2027), con un presupuesto inicial de 95,5 mil millones de euros [19]. La investigación específica sobre aviación contribuye principalmente al Pacto Verde Europeo y a las estrategias digitales y de competitividad de la UE en los tres pilares de Horizon Europa.



- **Pilar I:** La ciencia del Consejo Europeo de Investigación, que a menudo lleva la ciencia y la tecnología a nuevos límites (por ejemplo, nuevos materiales, procesos físicos revolucionarios, inteligencia artificial y computación cuántica, tecnologías de sensores);
- **Pilar II:** El programa de aviación del Clúster 5 ha sido la base de la investigación aeronáutica durante más de 35 años, lo que incluye las asociaciones pertinentes (por ejemplo, Clean Aviation (Aviación Limpia), Clean Hydrogen (Hidrógeno Limpio) y SESAR), los demostradores tecnológicos dirigidos por la industria y las sinergias del Clúster 4 (Digital, Industria y Espacio); y
- **Pilar III:** Las acciones de investigación del Consejo Europeo de Innovación, centradas especialmente apoyar y conectar a las PYME y

la cadena de suministro de la aviación.

La principal investigación colaborativa y medioambiental de la aviación del Clúster 5 del Pilar II desarrolla y elimina los riesgos de las tecnologías a un Nivel de Madurez Tecnológica (TRL en inglés) 4, que serán llevadas más lejos por las asociaciones de Horizonte Europa y los programas nacionales o industriales. La investigación actual se centra en:

- Piezas de fuselaje y motor ligeras, multifuncionales e inteligentes
- Marco digital global para optimizar el diseño, la fabricación y el mantenimiento
- Cuantificación de incertidumbres para el diseño, la fabricación y el funcionamiento
- Propulsión ultraeficiente de aeronaves
- Propulsión electrificada y basada en hidrógeno
- Sistemas de combustión flexibles y almacenamiento criogénico de hidrógeno líquido
- Mejor comprensión y mitigación de las emisiones distintas al CO₂, especialmente las estelas de condensación.
- Reducción de las emisiones de NOx y material particulado
- Tecnologías y procedimientos de reducción del ruido

Uno de estos proyectos de Horizonte Europa es HESTIA [20], que se centra en aumentar el conocimiento científico de la combustión hidrógeno-aire de los futuros motores aeronáuticos alimentados con hidrógeno. Otro ejemplo es BeCoM [21], que aborda las incertidumbres relacionadas con la previsión de estelas de condensación persistentes y sus efectos radiativos individuales dependientes del tiempo meteorológico, con el fin de elaborar recomendaciones sobre cómo aplicar estrategias que permitan a la gestión del tráfico aéreo reducir el impacto climático de la aviación. Para más información sobre los numerosos proyectos financiados por el programa de investigación Horizonte Europa, se puede consultar la página web de la Comisión Europea [22].

2.1.5.1. Cielo Limpio 2 (parte de “Horizon 2020”: de 2014 a 2020)



Los proyectos de Cielo Limpio 2 (2014-2024) contaban con un presupuesto combinado público y privado de unos 4.000 millones de euros, con una financiación de la UE de hasta 1.750 millones [23]. Sus objetivos eran desarrollar, demostrar y acelerar la integración de tecnologías capaces de reducir las emisiones de CO₂, NOx y ruido entre un 20 y un 30% en comparación con los aviones “de última generación” en 2014.

Los beneficios y el impacto potencial de la investigación de Cielos Limpios 2 a nivel de aeronaves, aeropuertos y flotas se evalúan mediante una función específica de evaluador de tecnología con tareas clave de evaluación y notificación. La evaluación final del evaluador tecnológico se realizó en 2024 [24], y los resultados se resumen en la Tabla 10.

Mission Level Assessment				
Concept Model	Assessment	CO ₂ ¹	NOx ¹	Noise ²
Long Range (LR+)	1st	-13%	-38%	<-20%
	2nd	-18.2%	-44.9%	-20.1%
Short-Medium Range (SMR+ & SMR++)	1st	-17% to -26%	-8% to -39%	-20% to -30%
	2nd	-25.8% to -30.4%	-2.3% to -5.1%	-11.5% to -16.3%
Regional (TP90 - TP130 - MM TP70)	1st	-20% to -34%	-56% to -67%	-20% to -68%
	2nd	-25% to -32.5%	-44% to -60%	+14% to -44%
Commuter³ & BJ	1st	-21% to -31%	-27% to -28%	-20% to -50%
	2nd	-17.3% to -19.6%	-16.5% to -51.5%	-19% to -31%

- (1) Valores de CO₂ y NO_x por pasajero-kilómetro.
 (2) Reducción media del volumen sonoro percibido (EPNLdB) según las condiciones del Anexo 16 de la OACI para aeronaves de ala fija (Capítulo 10 para aeronaves CS-23 y Capítulo 14 para aeronaves CS-25). Un 20 % de reducción de ruido equivale a una reducción de 3dB. Un 30% de reducción del ruido equivale a una reducción de 5dB.
 (3) Solo conceptos de combustible fósil, excluido el concepto innovador de híbrido-eléctrico de despegue y aterrizaje cortos (STOL en inglés) de tipo *commuter* (de cercanías).

Tabla 10 Resultados finales de la evaluación del evaluador tecnológico de Cielo Limpio 2

Fuente: European State Action Plans for CO₂ emissions reduction – 5th Edition of the ECAC/EU guidelines

Airport Level Assessment			
Assessment	CO ₂	NO _x	Noise Area
1st	-8% to -13.5%	-6.5% to -10.5%	-10% to -15%
2nd	-11.5 to -15%	-10.5 to -14.5%	-8% to -17% (Lden¹)

(1) Surface area Reduction of Lden contours for 60-65 dB(A) noise levels at the European airports considered.

Fleet Level Assessment			
Assessment	CO ₂	NO _x	Fleet Renewal
1st	-14% to -15%	-29% to -31%	70% to 75% (ASK)
2nd	-14.5%	-29%	71.4% (ASK) 61.6% (a/c)

2.1.5.2. Clean Aviation (parte de “Horizon Europa”: de 2021 a 2027)

Clean Aviation (Aviación Limpia) se creó en noviembre de 2021 en el marco de Horizon Europa de la UE para apoyar el objetivo de la UE de neutralidad climática para 2050 [25]. El objetivo del programa Clean Aviation es desarrollar tecnologías aeronáuticas disruptivas que proporcionen reducciones netas de gases de efecto invernadero (GHG en inglés) de como mínimo el 30 %, en comparación con las aeronaves de última generación de 2020. Los objetivos se han ampliado a los efectos del CO₂ y a los efectos de gases diferentes al CO₂ (óxidos de nitrógeno, vapor de agua, partículas, estelas de condensación, etc.) y EASA está trabajando con Clean Aviation para transmitir estos beneficios en el contexto de los requisitos de certificación medioambiental del Anexo 16 de la OACI. La preparación tecnológica e industrial tiene como objetivo permitir el despliegue de estas nuevas aeronaves antes de 2035, lo que permitirá sustituir el 75% de la flota mundial de aviación civil para 2050.



CLEAN AVIATION

Clean Aviation se centrará en tres ámbitos clave: arquitecturas híbridas eléctricas y completamente eléctricas, arquitecturas de aeronaves ultraeficientes y tecnologías disruptivas que permitan el uso de aeronaves propulsadas por hidrógeno. Los niveles de rendimiento previstos se resumen en la Tabla 11 [26].

Aircraft Category	Key technologies and architectures to be validated at aircraft level in roadmaps	Entry Into Service Feasibility	CO ₂ Emissions reduction (technology based) ²⁸	Net CO ₂ Emissions reduction (i.e. including SAF effect) ²⁹	Current share of air transport system emissions
Regional Commercial Aircraft	> Hybrid-electric (SAF + Batteries) coupled with highly efficient aircraft configuration	~2035 Beyond 2035	-30%	-86%	~5%
	> Same with H2-electric power injection (Fuel Cells electric generation)		Up to -50%	Up to -90%	
Short-Medium Range Commercial Aircraft	Advanced ultra-efficient aircraft configuration and ultra-efficient gas turbine engines	~2035	-30%	-86%	~50%
Hydrogen-Powered Commercial Aircraft	Full hydrogen-powered aircraft (H2 Fuel Cells or H2-combustion)	~2035	-100%	N/A	N/A

28. Improvement targets are defined as CO₂ reduction compared to 2020 state-of-the-art aircraft available for order/delivery.
 29. Assumes full use of SAF at a state-of-the-art level of net 80% carbon footprint reduction (and where applicable, zero-carbon electric energy for batteries charging and green hydrogen production).

Tabla 11 Objetivos de Clean Aviation

Fuente: European State Action Plans for CO₂ emissions reduction – 5th Edition of the ECAC/EU guidelines

Hybrid Electric	Ultra Efficient / Short Medium Range	H ₂
Combining Innovative Airframe, Novel Systems & HE power train	Combined powerplant & Airframe efficiency	Novel concepts with H₂ direct burn & fuel cell based propulsion
HE-ART 2.150-2.850 MW Multi Hybrid Electric propulsion system for regional Aircraft ROLLS-ROYCE (*)	HEAVEN UltraFan - Hydrogen & hybrid gas turbine design ROLLS-ROYCE (*)	CAVENDISH Hydrogen and dual fuel combustion technologies ROLLS ROYCE (*)
AMBER ~2MW Multi Power train Innovative for hyBrid-Electric Regional Application GE AVIO (*)	SWITCH Sustainable Water-Enhanced-Turbofan (WET) Comprising Hybrid-electrics MTU AERO ENGINES (*)	HYDEA Hydrogen engine integration in flying platform AVIO AERO (*)
TheMa4HERA Thermal Management Solutions for Hybrid Electric Regional Aircraft HONEYWELL (*)	OLERIA Open fan engine demonstrator ind. gas turbine design hybridisation for Environmental Low Impact of Aviation SAFRAN (*)	NEWBORN NExt generation high poWer fuel cells for airBORNe applications HONEYWELL (*)
HECATE Electrical Distribution Solutions for Hybrid-Electric Regional Aircraft COLLINS (*)	UP Wing Ultra Performance Wing AIRBUS (*)	H2ELIOS HydroGen Lightweight & Innovative tank for zero-emission aircraft ACITURRI (*)
HERWINGT Hybrid Electric Regional Wing Integration Novel Green Technologies AIRBUS (*)	FASTER-H2 Fuselage, Rear Fuselage and Empennage Technologies for H ₂ Integration AIRBUS (*)	FLHYing Tank Liquid hydrogen load bearing tank for commuter PIPISTREL (*)
(*) Consortium Leader		HyPoTranDe Hydrogen Fuel Cell Electric Power Train Demonstration PIPISTREL (*)

Tabla 12 Proyectos iniciales que se pusieron en marcha en 2023 para ofrecer importantes avances tecnológicos en los tres ámbitos

Fuente: European State Action Plans for CO₂ emissions reduction – 5th Edition of the ECAC/EU guidelines

ACCIONES DE LAS PARTES INTERESADAS

Asociación de Industrias Aeroespaciales, de Seguridad y Defensa de Europa (ASD)



ASD cuenta entre sus miembros con 25 grandes empresas europeas y 25 asociaciones nacionales, con una representación global de hasta 4.000 empresas en 21 países europeos. En 2022, los miembros de ASD empleaban a 921.000 personas y generaban un volumen de negocio de 261.000 millones de euros.

Demostrador de tecnología UltraFan®
Rolls-Royce ha conseguido que su demostrador de tecnología UltraFan® funcione a máxima potencia durante 2023. La fase inicial de la prueba se realizó utilizando 100% combustibles de aviación sostenible (SAF). UltraFan® ofrece una mejora de eficiencia del 10% con respecto al motor Trent XWB y un aumento de la eficiencia del 25% desde el lanzamiento del primer motor Trent. Las pruebas han contado con el apoyo de varios socios, incluidos los programas Cielos Limpios de la UE.



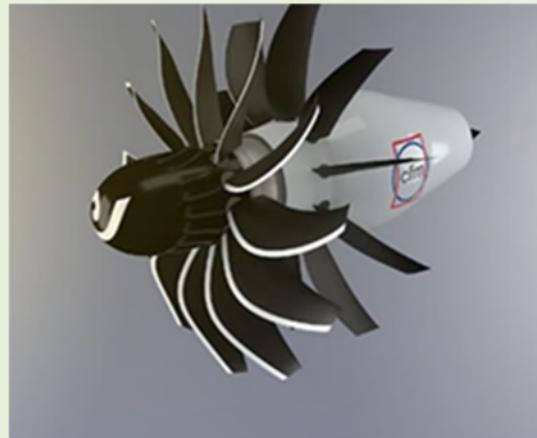
Pilas de combustible de hidrógeno

Airbus ha realizado pruebas en tierra para lograr el hito de hacer funcionar un concepto de motor de pila de combustible a plena potencia (1,2 megavatios). Se trata de la prueba con pilas de combustible más potentes realizada en el sector de la aviación, acoplando 12 pilas de combustible para alcanzar la potencia necesaria para el uso comercial. Además, el demostrador de energía no propulsora, HyPower, utilizará una pila de combustible que contiene diez kilogramos de hidrógeno gaseoso generado a partir de fuentes renovables para producir electricidad cuando se pruebe a bordo de un Airbus A330 en condiciones de funcionamiento estándar. Su objetivo es reducir las emisiones de CO₂, NO_x y los niveles de ruido asociados a una unidad de potencia auxiliar (APU en inglés) tradicional.



Rotor abierto RISE Open Fan

SAFRAN está desarrollando el demostrador de motor CFM RISE Open Fan que combina equipos ligeros y tecnologías avanzadas como los sistemas eléctricos híbridos. La arquitectura de rotor abierto tiene el potencial de reducir el consumo de combustible y las emisiones de CO₂ más de un 20% en comparación con los motores actuales más eficientes. Se espera que esta avanzada arquitectura de rotor abierto de nueva generación pueda volar a la misma velocidad que los aviones actuales de pasillo único (hasta Mach 0,8) con un ruido acústico que cumpla la normativa prevista para el futuro.



Las pruebas de vuelo del RISE Open Fan se están llevando a cabo en colaboración con Airbus utilizando su demostrador de pruebas de vuelo A380, cuyo objetivo es madurar y acelerar el desarrollo de tecnologías de propulsión avanzadas. Los objetivos del programa incluyen una mejor comprensión de la integración motor/ala y del rendimiento aerodinámico, así como mejoras en la eficiencia del sistema propulsor, la evaluación de modelos acústicos y la garantía de su compatibilidad con combustibles de aviación 100% sostenibles.



Lista de fuentes

- [1] UE (2018), [Reglamento \(UE\) 2018/1139](#) del Parlamento Europeo y del Consejo de 4 de julio de 2018 sobre normas comunes en el ámbito de la aviación civil y por el que se crea una Agencia de la Unión Europea para la Seguridad Aérea.
- [2] OACI (2023), [Anexo 16 al Convenio sobre Aviación Civil Internacional — Protección del Medio Ambiente, Volumen I, 8^a Edición, Enmienda 14 — Ruido de las aeronaves.](#)
- [3] OACI (2023), [Anexo 16 al Convenio sobre Aviación Civil Internacional — Protección del Medio Ambiente, Volumen II, 5^a Edición, Enmienda 11 — Emisiones de los motores de las aeronaves.](#)
- [4] OACI (2023), [Anexo 16 al Convenio sobre Aviación Civil Internacional — Protección del Medio Ambiente, Volumen III, 1^a Edición, Enmienda 1 — Emisiones de CO₂ de los aeroplanos.](#)
- [5] EASA (2025), [Base de datos de EASA sobre emisiones de CO₂ de los aeroplanos.](#)
- [6] OACI (2025), [Objetivo ambicioso global a largo plazo \(LTAG\) de la OACI para la aviación internacional.](#)
- [7] EASA (2023), [Especificaciones técnicas de protección ambiental para aeronaves VTOL propulsadas por motores no basculantes.](#)
- [8] EASA (2024), [Especificaciones técnicas de protección ambiental para aeronaves VTOL propulsadas por motores basculantes.](#)
- [9] EASA (2025), [Estudio sobre la huella medioambiental de los drones y eVTOL.](#)
- [10] AZEA (2025), [Alianza para aviones de emisiones cero.](#)
- [11] AZEA (2023), [Panorama actual de normativa de aviación para aeronaves de propulsión eléctrica o por hidrógeno.](#)
- [12] EASA (2025), [Servicios de innovación.](#)
- [13] AZEA (2023), [Panorama actual de normalización.](#)
- [14] AZEA (2024), [Concepto operativo para la introducción de aeronaves de emisiones cero de propulsión eléctrica, híbrida eléctrica y por hidrógeno.](#)
- [15] AZEA (2024), [Volar con electricidad e hidrógeno en Europa.](#)
- [16] ATAG (2021), [Segunda edición del Waypoint 2050.](#)
- [17] ICCT (2022), [Límites medioambientales de las aeronaves supersónicas en 2035.](#)
- [18] EASA (2025), [Ruta de vuelo de la aviación general 2030+.](#)
- [19] EU (2025), [Horizonte Europa.](#)
- [20] EU (2025), [HESTIA](#), proyecto Horizonte Europa.
- [21] EU (2025), [BeCoM](#), proyecto Horizonte Europa.
- [22] EU (2025), [Proyectos de investigación de la UE.](#)
- [23] Cielo Limpio 2 (2014), [Reglamento \(UE\) No 558/2014 del Consejo](#) del 6 de mayo de 2014 por el que se establece la Empresa Común Clean Sky 2.
- [24] Cielo Limpio 2 (2024), [Evaluador tecnológico.](#)
- [25] Clean Aviation (2021), [Reglamento \(UE\) 2021/2085 del Consejo](#) por el que se establecen las empresas comunes en el marco de Horizonte Europa.
- [26] Clean Aviation (2024), [Agenda de investigación e innovación estratégica.](#)

2.2. COMBUSTIBLES DE AVIACIÓN SOSTENIBLES

La iniciativa ReFuelEU Aviation establece un mandato de suministro mínimo de combustibles de aviación sostenibles (SAF) en la UE, que comienza con un 2% en 2025 y aumenta hasta el 70% en 2050.

Un submandato para los combustibles sintéticos de aviación, que comienza con el 0,7% en 2030 y aumenta hasta el 35% en 2050, subraya el potencial significativo de reducción de emisiones.

Todos los SAF suministrados en virtud del mandato ReFuelEU Aviation deben cumplir los criterios de sostenibilidad y reducción de emisiones de gases de efecto invernadero establecidos en la Directiva sobre energías renovables (RED en inglés) y en la Directiva revisada sobre gases.

La conferencia CAAF/3 de la OACI acordó en 2023 una aspiración global para reducir las emisiones de CO2 de la aviación internacional en un 5% en 2030 mediante el uso de SAF, combustibles de aviación bajos en carbono y otras energías más limpias para la aviación.

En 2024, la producción de SAF representaba solo el 0,53% del uso mundial de combustible de aviación. Para cumplir los mandatos y objetivos futuros se necesitará un aumento significativo de la capacidad de producción.

Los SAF deben cumplir las normas internacionales para garantizar la seguridad y el rendimiento del combustible de aviación. Se han aprobado varios tipos de SAF, y se están realizando esfuerzos para aumentar los límites de mezcla y apoyar el uso del 100% de SAF drop-in para 2030.

Los SAF tienen el potencial de ofrecer reducciones significativas de las emisiones de CO2 y otros gases distintos al CO2 durante su ciclo de vida en comparación con los combustibles de aviación convencionales, principalmente en el proceso de producción, utilizando materias primas sostenibles. Sin embargo, diversos factores, como los cambios en el uso del suelo, pueden afectar negativamente a las emisiones globales del ciclo de vida.

El aumento de los SAF ha generado inquietud por posibles comportamientos fraudulentos en los que los productos etiquetados como conformes a los requisitos de sostenibilidad de la RED no lo son.

Se han puesto en marcha varias medidas para apoyar la consecución de los objetivos europeos y de la OACI en materia de SAF, como una Clearing House, incentivos financieros, programas de investigación y cooperación internacional.

La capacidad de producción de SAF actualmente en construcción podría suministrar las 3,2 Tm de SAF requeridas por ReFuelEU Aviation para 2030, pero a partir de esta fecha sería necesario aumentarla rápidamente.

En la actualidad, los precios de los SAF son entre 3 y 10 veces más caros que los del combustible convencional, aunque se espera que se reduzcan sustancialmente a medida que se amplíen las tecnologías de producción.

2.2.1. AVANCES EN SAF

En los últimos años se han producido avances significativos en el panorama europeo de los combustibles de aviación sostenibles. Con la adopción del Reglamento de aviación ReFuelEU [1], los legisladores europeos están garantizando la igualdad de condiciones para el transporte aéreo sostenible mediante el establecimiento de mandatos mínimos para los proveedores de combustible a partir de 2025, incluyendo submandatos para los combustibles sintéticos. Además del número creciente de iniciativas y mandatos fuera de Europa, el mercado se encuentra ahora en un punto crucial, y será necesario un ambicioso aumento de la capacidad de producción para cumplirlo.

2.2.2. ¿QUÉ SON LOS COMBUSTIBLES DE AVIACIÓN SOSTENIBLES?

Un combustible sostenible de aviación (SAF) es una alternativa sostenible al combustible convencional de origen fósil para los reactores. Se le aplican varias definiciones y terminología dependiendo del contexto normativo, la base de materia prima y la tecnología de producción.

Según el Reglamento de Aviación ReFuelEU, los SAF se definen como varios tipos de combustibles de aviación de drop-in (Tabla 13). Por ejemplo, por biocombustibles de aviación se entienden los biocombustibles definidos en la Directiva sobre energías renovables (RED) [2], excluyendo los combustibles producidos a partir de cultivos para alimentos y piensos, así como otras materias primas especificadas en el artículo 4 del Reglamento. Por último, para los combustibles sintéticos de aviación se utilizan diversas terminologías, como combustibles renovables de origen no biológico (RFNBO) líquidos en ReFuelEU Aviation, pero también electrocombustibles, e-combustibles y Power-to-Liquid (PtL; energía a líquido).

Tanto ReFuelEU Aviation como el régimen de comercio de derechos de emisión (EU ETS) de la UE utilizan la RED como base y todos los combustibles elegibles deben cumplir los criterios de sostenibilidad y reducción de emisiones de gases de efecto invernadero establecidos en la RED.

Tipo de combustible de aviación RefuelEU	Definición en Art. de la RFEUA	Observaciones
Categorías de combustibles de aviación sostenibles (SAF)		
Combustibles de aviación sintéticos	Art 3(12)	Combustible renovable de origen no biológico en la Directiva (UE) 2018/2001
Biocombustibles de aviación avanzados	Art 3(8)(a)	Producidos a partir de las materias primas enumeradas en la parte A del Anexo IX de la Directiva (UE) 2018/2001
Biocombustibles de aviación	Art 3(8)(b)	Producidos a partir de las materias primas enumeradas en la parte B del Anexo IX de la Directiva (UE) 2018/2001
Otros biocombustibles de aviación	Art 3(8)(c)	Producidos a partir de materias primas no enumeradas en el Anexo IX de la Directiva (UE) 2018/2001, excepto los producidos a partir de cultivos para alimentos y piensos

Combustibles de aviación de carbono reciclado	Art 3(9)	Producidos a partir de flujos de residuos de origen no renovable que no son adecuados para la recuperación de materiales
Categorías de otros combustibles de aviación renovables y con bajas emisiones de carbono admisibles según la RFEUA		
Hidrógeno con bajas emisiones de carbono para la aviación	Art 3(15)	Producidos a partir de fuentes no fósiles no renovables
Hidrógeno renovable para la aviación	Art 3(16)	Combustible renovable de origen no biológico en la Directiva (UE) 2018/2001
Combustibles sintéticos de bajo contenido en carbono para la aviación	Art 3(13)	Producidos a partir de fuentes no fósiles no renovables
Otros combustibles de aviación según la RFEUA		
Combustible de aviación convencional	Art 3(14)	Combustibles de aviación producidos a partir de fuentes fósiles no renovables de hidrocarburos (por ejemplo, petróleo crudo)

Tabla 13 Categorías de combustibles de aviación ReFuelEU

Fuente: European State Action Plans for CO₂ emissions reduction – 5th Edition of the ECAC/EU guidelines

2.2.2.1. Proceso de normalización para la cualificación de nuevas vías de producción de SAF

El rendimiento fiable del combustible de aviación es esencial para el funcionamiento seguro de las aeronaves y es una cuestión de aeronavegabilidad que requiere prácticas internacionales armonizadas. Lo que comúnmente se denomina “combustible de turbina de aviación” es un material técnico muy específico, caracterizado por numerosas propiedades químicas y físicas definidas por especificaciones técnicas, como la ASTM D1655 y la DEF STAN 91-091 [3, 4]. Estas especificaciones las desarrollan y mantienen ASTM International y el Ministerio de Defensa del Reino Unido (UK MOD), respectivamente, con el apoyo de grupos de partes interesadas como fabricantes de equipos originales (OEM en inglés), productores de combustible, proveedores de combustible, operadores de aerolíneas y organismos reguladores. Estas normas de combustible enumeran los requisitos para el Jet A/Jet A-1, que es un combustible de turbina de aviación destinado a usos en motores de turbina de gas.

Las vías de producción cualificadas se enumeran en la norma ASTM D7566 [5], que establece la especificación estándar para el “combustible de turbina de aviación que contiene hidrocarburos sintetizados”, es decir, combustibles de origen no convencional. Cada tipo de vía de producción se define en términos de materia prima, tecnología de conversión, propiedades específicas del combustible y fracción máxima de mezcla. Una vez cumplidos los requisitos de mezcla en la Tabla 1 de ASTM D7566, el combustible se vuelve a clasificar y se trata como combustible ASTM D1655 Jet A/Jet A-1.

Desde octubre de 2024, la ASTM ha normalizado ocho procesos de producción de SAF y, en consecuencia, se han adoptado en otras normas de combustibles [5]. Además, hay tres vías cualificadas para el coprocesamiento de materias primas renovables en refinerías de petróleo [3] con un límite de mezcla de materias primas de hasta el 24% (véase la Tabla 14).

Vía de producción	Materias primas ²⁰	Nombre de la certificación	Porcentaje máx. de SAF
Gasificación de biomasa + Fischer-Tropsch (Gas+FT)	Cultivos energéticos, biomasa lignocelulósica, residuos sólidos	FT-SPK ²¹	50%
Ésteres y ácidos grasos hidroprocesados (HEFA)	Grasa vegetal y animal	HEFA-SPK	50%
Azúcares directos a hidrocarburos (DSHC)	Azúcares convencionales, azúcares lignocelulósicos	HFS-SIP ²²	10% ²³
Gasificación de biomasa + FT con aromáticos	Cultivos energéticos, biomasa lignocelulósica, residuos sólidos	FT-SPK/A ²⁴	50%
Alcohol a combustible de aviación (AtJ)	Azúcar, almidón, biomasa lignocelulósica	ATJ-SPK	50%
Hidrotermólisis catalítica a combustible (CHJ)	Grasa vegetal y animal	CHJ o CH-SK ²⁵	50%
HEFA hecho con algas	Aceites de microalgas	HC-HEFA-SPK ²⁶	10%
AtJ con aromáticos	Azúcar, cultivos de almidón, biomasa lignocelulósica	ATJ-SKA	50%
Coprocesamiento de FOG	Grasas y aceites	FOG	5%
Coprocesamiento de FT	Biocrudo Fischer-Tropsch (FT)	FT	5%
Coprocesamiento de lípidos hidroprocesados	Aceites vegetales hidroprocesados, grasas animales, aceites de cocina usados	Coprocesamiento de lípidos hidroprocesados	10%

Tabla 14 Vías de producción cualificadas de drop-in SAF

Fuente: European State Action Plans for CO₂ emissions reduction – 5th Edition of the ECAC/EU guidelines

Para poder incluirlas en la norma ASTM D7566, las nuevas vías de producción de SAF deben someterse a un exhaustivo proceso de cualificación especificado en la norma ASTM D4054 [6]. Este proceso incluye la realización de pruebas con muestras de combustible, desde pruebas de laboratorio a pequeña escala con una cantidad

²⁰ Las materias primas enumeradas son tecnológicamente viables para la vía de producción específica, pero no necesariamente de aplicación en virtud de determinadas normativas (por ejemplo, ReFuelEU Aviation)

²¹ FT-SPK: queroseno parafínico sintetizado por Fischer-Tropsch.

²² HFS-SIP: azúcares fermentados hidroprocesados a isoparafinas sintéticas.

²³ TRL 7-8 para materias primas azucareras convencionales; TRL 5 para materias primas azucareras lignocelulósicas.

²⁴ FT-SPK/A: queroseno parafínico sintetizado Fischer-Tropsch con aromáticos.

²⁵ CH-SK: queroseno sintetizado por hidrotermólisis catalítica.

²⁶ HC-HEFA-SPK: queroseno parafínico sintetizado a partir de ésteres y ácidos grasos hidroprocesados con hidrocarburos.

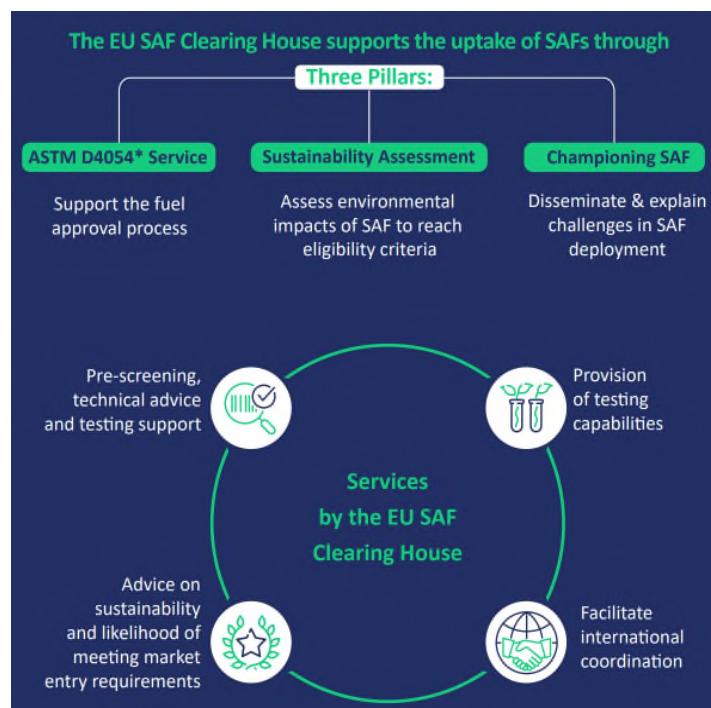
limitada de combustible hasta pruebas completas en equipos y motores que requieren miles de litros. A continuación, los informes de investigación resultantes son revisados y aprobados por los fabricantes de equipos originales antes de proponer su inclusión en un nuevo anexo de la norma ASTM D7566. Se trata de un proceso caro y largo para todas las partes implicadas, lo que ha llevado a la creación de varias iniciativas denominadas Clearing Houses de SAF para apoyar este proceso (véase el cuadro de texto).

2.2.2.2. EU SAF Clearing House [7]

Financiada por la UE y gestionada por EASA, es un centro de conocimientos que integra toda la información, los datos y las conexiones con las partes interesadas que necesitan los productores de combustible que deseen avanzar en el proceso de cualificación ASTM descrito anteriormente y contribuir a la producción y el suministro de combustibles de aviación sostenibles.

Cada uno de los SAF aprobados en los anexos de la norma ASTM D7566 tiene sus propias características y aprovecha determinadas categorías de materias primas. Para poder producir suficientes SAF que satisfagan las necesidades futuras del sector de la aviación, se necesitan más vías que aprovechen nuevas materias primas que tengan buenas características de sostenibilidad y sean económicamente viables.

Los comités de normalización de los combustibles están trabajando intensamente para aumentar los límites de mezcla tanto de SAF como de coprocesamiento de materias primas renovables en las refinerías convencionales. En este último caso, se pretende aumentar el límite al 30% para 2025, ya que la infraestructura existente puede utilizarse inmediatamente para aumentar la cuota sostenible en los combustibles de aviación y facilitar el cumplimiento de los mandatos sin necesidad de realizar grandes inversiones. El trabajo de investigación necesario para eliminar el límite de mezcla y permitir el uso del 100% de SAF sigue en curso (véase el cuadro de texto).



2.2.2.3. Dos opciones para los combustibles 100% SAF: drop-in y non-drop-in

En la actualidad, los SAF aprobados tienen asociados unos coeficientes máximos de mezcla (Tabla 14) que pueden limitar la capacidad de utilizar mayores cantidades de SAF en el futuro. Por ello, los grupos de trabajo de los comités de normas de combustible están evaluando dos opciones para facilitar el uso de los combustibles 100% SAF en las aeronaves, con el objetivo inicial de que las normas para el combustible estén listas, a más tardar, en 2030:

- a. SAF 100% drop-in: combustible de aviación totalmente compuesto de hidrocarburos sintetizados como sustituto drop-in (que se mezcla directamente con el combustible tradicional) idéntico al Jet A/Jet A-1
- b. SAF 100% non-drop-in: combustible de aviación totalmente sintético y sin aromáticos, parecido al Jet A/Jet A-1, pero sería un combustible diferente.

Los SAF 100% drop-in serán una modificación de la norma ASTM D7566 existente. Una opción para realizar un combustible de este tipo es mezclar dos o más SAF para producir un combustible con características aptas para su uso al 100%. Otra opción es la adaptación de las materias primas y los procesos de producción utilizados actualmente para producir un SAF 100% formulado en un único flujo de proceso (por ejemplo, AtJ, FT- SPK/A y CHJ) o el uso de nuevas materias primas y procesos que todavía no se han desarrollado ni aprobado. En los dos últimos años, varias aerolíneas comerciales, en estrecha colaboración con los fabricantes de equipos originales y las autoridades de aeronavegabilidad, han demostrado en vuelos experimentales el uso con éxito de SAF 100% drop-in.

Los SAF 100% non-drop-in serían una nueva especificación estándar de combustible. Solo podría utilizarse en aeronaves/motores designados y requerirían una cadena de suministro independiente. Una de las principales razones para emplear este nuevo tipo de combustible implica la reducción significativa de las emisiones que contribuyen a los impactos climáticos no debidos al CO₂ y a la calidad del aire local. En el caso de los SAF 100% non-drop-in (no aromáticos), una serie de investigaciones y vuelos de prueba demostraron sus efectos positivos sobre las emisiones y la formación de estelas de condensación. Además, se recopilaron datos valiosos que respaldarán la especificación de SAF 100% non-drop-in.

Este esfuerzo de colaboración en todo el ecosistema de la aviación tiene como objetivo maximizar el impacto global con la homogeneización y la preparación técnica actualmente en curso. El análisis de impacto que se está llevando a cabo se centra en la producción de combustible, pero se necesitan más estudios para abordar los retos de infraestructura relacionados con los SAF 100% non-drop-in.

Con la variedad de categorías de materias primas que pueden utilizarse para producir SAF, la producción puede adaptarse a las circunstancias específicas de un país y fomentar así la diversificación de los suministros de combustible. Cuatro de las vías de producción que se espera que desempeñen un papel importante en el futuro son los ésteres y ácidos grasos hidroprocesados (HEFA) (TRL27 8-9), los alcoholes a combustible de aviación (AtJ) (TRL 7-8), la gasificación de biomasa con Fischer-

²⁷ Nivel de madurez tecnológica

Tropsch (Gas+FT), (TRL 6-8) y el Power-to-Liquid (PtL; energía a líquido) (TRL 5-8). Se están desarrollando nuevas vías de producción y materias primas adecuadas. La conversión de metanol a combustible de aviación es una tecnología prometedora en la que varias empresas están trabajando, y que actualmente está pasando por el proceso de cualificación. La ventaja de esta vía es que puede utilizarse tanto con materias primas de biomasa como tecnología de conversión para combustibles Power-to-Liquid.

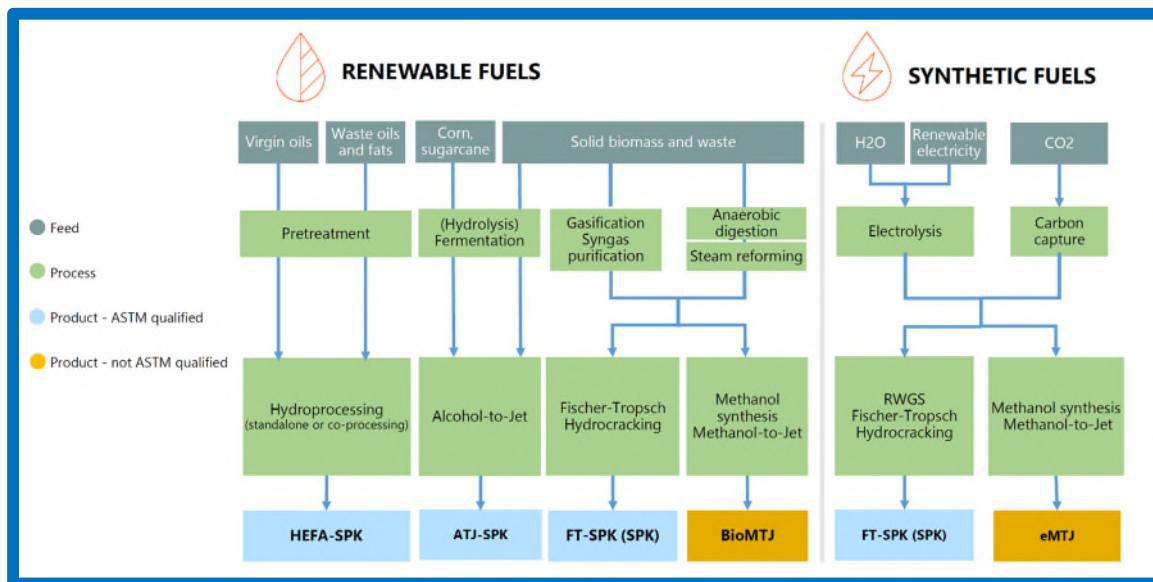


Ilustración 19. Principales vías de producción de SAF con componentes similares [8].

Fuente: European State Action Plans for CO₂ emissions reduction – 5th Edition of the ECAC/EU guidelines

Ésteres y ácidos grasos hidroprocesados (HEFA). Actualmente, es la opción más viable para producir SAF debido a su madurez comercial y técnica. Las materias primas incluyen desechos y residuos grasos, como aceite vegetal, aceite de cocina usado y grasas animales, así como cultivos específicos como la jatrofa y la camelina. Estas materias primas se procesan con hidrógeno para eliminar el oxígeno y crear componentes para combustible de hidrocarburos. Sin embargo, la oferta se ve limitada por la disponibilidad de materias primas sostenibles y la competencia de otros sectores, como el del transporte por carretera. Además, con la creciente demanda existe el riesgo de posibles fraudes por el uso de materias primas que no cumplan los criterios de sostenibilidad (véase el recuadro sobre sistemas de certificación sostenible).

Alcoholes a combustible de aviación (AtJ) y gasificación de biomasa con Fischer-Tropsch (Gas+FT). Los combustibles AtJ se pueden producir a partir de residuos agrícolas y de cultivos, así como de la fracción renovable de los residuos municipales mediante una síntesis de alcohol. El Gas+FT convierte el biogás o el gas de síntesis de materias primas similares. Ambos métodos se pueden producir con o sin aromáticos. Los aromáticos son esenciales para el rendimiento de determinados componentes de los motores de aviación (por ejemplo, las juntas), pero presentan inconvenientes medioambientales en términos de emisiones de

partículas. Por otra parte, la producción con aromáticos permitiría la futura producción de SAF 100% drop-in (véase el cuadro de texto) una vez que las dos vías se desarrollen y estén comercialmente disponibles en la UE para la producción de combustible de aviación.

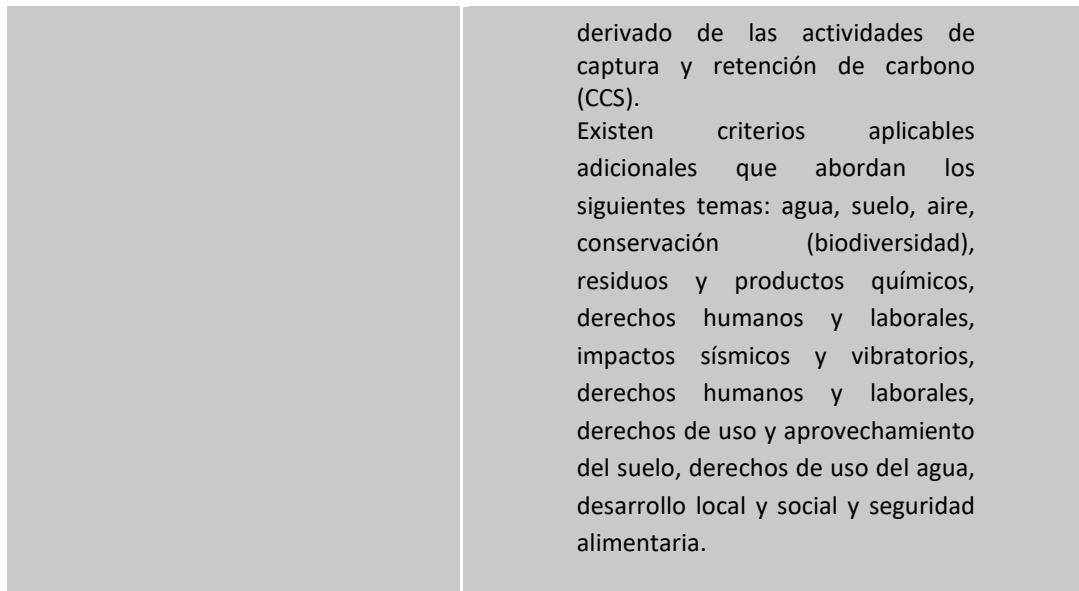
Power-to-Liquid (PtL; energía a líquido). Estos combustibles tienen uno de los mayores potenciales para aumentar la capacidad de producción en el futuro. Aunque no están limitados por la disponibilidad de biomasa sostenible, dependen del acceso a electricidad adicional suficiente que proceda de energías renovables y de un proceso de conversión eficiente desde el punto de vista energético para lograr reducciones significativas de las emisiones de CO₂. El agua y la electricidad se utilizan en un electrolizador para generar hidrógeno, que luego se combina con CO₂ para crear gas de síntesis. A continuación, este gas de síntesis se puede convertir en SAF mediante la vía Fischer-Tropsch (FT) o la vía de metanol a combustible (actualmente en proceso de cualificación ASTM D4054). El CO₂ necesario para el proceso PtL puede obtenerse a partir de gases residuales industriales, biomasa o captura directa del aire (DAC en inglés). Con la DAC, el CO₂ se captura directamente del aire a través de filtros. Como la concentración de CO₂ en el aire es baja, este proceso consume mucha energía, pero ofrecerá un elevado potencial de reducción de

2.2.3. ¿HASTA QUÉ PUNTO SON SOSTENIBLES LOS SAF?

La Tabla inferior proporciona una visión general de los criterios de sostenibilidad utilizados tanto en la RED [2] como en el Sistema de Compensación y Reducción de Emisiones de Carbono para la Aviación Internacional (CORSIA) de la OACI [9].

Régimen	Criterios de sostenibilidad
Directiva sobre energías renovables (2023), artículo 29	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Reducciones de GHG</i>: Las emisiones de gases de efecto invernadero en base al ciclo de vida de los biocombustibles deben ser inferiores a las del combustible fósil al que sustituyen (combustible fósil de referencia = 94 g de CO₂e/MJ): al menos un 50% menos para las instalaciones previas al 5 de octubre de 2015, un 60% menos para las instalaciones posteriores a esa fecha y un 65% menos para los biocombustibles producidos en instalaciones que empiecen a funcionar a partir del 2021. En el caso de los combustibles renovables de origen no biológico y los combustibles de carbono reciclado, la reducción será de al menos el 70%. • <i>Cambio en el uso de la tierra</i> – Reserva de carbono y biodiversidad: las materias primas para la producción de biocombustibles no pueden proceder de tierras con una elevada biodiversidad o una elevada reserva de carbono (es decir, bosques primarios y protegidos, o praderas, tierras pantanosas y turberas con gran biodiversidad). En el Reglamento sobre gobernanza [10] se establecen otras cuestiones de sostenibilidad contempladas por la obligación de informar, y pueden incluirse en sistemas de certificación de forma voluntaria. También existen limitaciones para la gestión forestal. • Existen criterios adicionales que son aplicables y garantizan que la electricidad utilizada para la producción de hidrógeno renovable y los RFNBO sean de origen renovable y adicional.

	<ul style="list-style-type: none"> • También existen limitaciones a la producción de biomasa a partir de materias primas con alto riesgo de cambio indirecto del uso de la tierra (ILUC en inglés) y al uso de materias primas que podrían destinarse a la alimentación, para evitar el uso inadecuado de la tierra y el riesgo para la seguridad alimentaria.
<p>Criterios de sostenibilidad de CORSIA de los combustibles viables para CORSIA (noviembre de 2022)</p>	<p>Para los lotes producidos a partir del 1 de enero de 2024, se aplican los siguientes Criterios de Sostenibilidad:</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Reducciones de GHG:</i> El combustible/SAF que cumpla los criterios para CORSIA (o viable para CORSIA) debe lograr reducciones netas de emisiones de GHG de al menos un 10% en comparación con los valores de referencia de las emisiones del ciclo de vida para el combustible de aviación según el ciclo de vida (combustible fósil de referencia = 89 g CO₂e/MJ), incluida una estimación de las emisiones ILUC y/o DLUC. • <i>Existencias de carbono:</i> El combustible/SAF viable para CORSIA no se fabricará a partir de biomasa obtenida de tierras destinadas a este uso después del 1 de enero de 2008 que fueran bosques primarios, zonas pantanosas o turberas y/o que contribuyan a la degradación de las existencias de carbono en bosques primarios, zonas pantanosas o turberas, ya que todas estas tierras tienen elevadas existencias de carbono. • <i>Permanencia:</i> Las reducciones de emisiones atribuidas a los SAF del CORSIA deben ser permanentes. Se aplicarán prácticas que controlen, mitiguen y compensen cualquier efecto material de no permanencia



2.2.3.1. Reducción de las emisiones de GHG

En un análisis del ciclo de vida (LCA en inglés), las emisiones de los SAF de tipo drop-in se reducen principalmente durante el proceso de producción y, concretamente, mediante el uso de materias primas sostenibles. Las emisiones de gases de efecto invernadero (GHG en inglés) en términos de g CO₂e/MJ procedentes de la combustión en un motor de avión son las mismas que las de los combustibles fósiles. Muchas variables pueden influir en los resultados globales del LCA (Ilustración 2.2) pero, dadas las preocupaciones históricas en torno a la sostenibilidad de los biocombustibles, se recomienda calcular los valores reales de las emisiones del ciclo de vida en vez de aplicar un valor predeterminado.

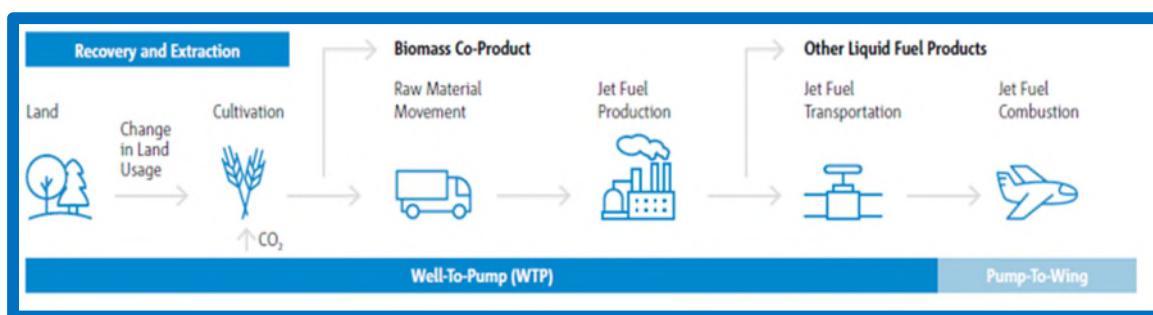


Ilustración 20. Componentes de un LCA well-to-wing (del pozo al ala/tanque) típico para combustible de aviación a base de biocombustible.

Fuente: *European State Action Plans for CO₂ emissions reduction – 5th Edition of the ECAC/EU guidelines*

Se puede llegar a sobreestimar la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero si no se tienen debidamente en cuenta los posibles cambios en el uso de la tierra. Los cambios directos de uso de la tierra (DLUC, por sus siglas en inglés) se producen cuando se transforma la tierra existente para el cultivo de materia prima

para biocombustibles, mientras que los cambios indirectos de uso de la tierra (ILUC, por sus siglas en inglés) se producen cuando la tierra agrícola utilizada para alimentos o piensos se transforma para la producción de biocombustible, y la producción desplazada se traslada a tierras que antes no eran agrícolas, como bosques o pastizales [11]. El cambio en el uso de la tierra, causado tanto directa como indirectamente por el desplazamiento de cultivos, puede anular cualquier ahorro de GHG derivado de los biocombustibles, o incluso producir más emisiones equivalentes de CO₂ que las que la biomasa cultivada posteriormente en esa tierra sea capaz de reducir. Normalmente, se considera que los desechos y residuos tienen cero emisiones asociadas a DLUC o ILUC.

La actualización de la RED en 2023 ha endurecido las normas en torno al uso de la tierra, haciendo hincapié en la protección de las zonas de biodiversidad y estableciendo controles más estrictos sobre el cambio de uso de la tierra, e imponiendo restricciones a las materias primas con mayor riesgo de ILUC. La producción de bioenergía está restringida en tierras con alto valor de biodiversidad, como bosques primarios, pastizales de alta biodiversidad y zonas designadas para la protección de la naturaleza. ReFuelEU Aviation es más estricto que RED, al excluir como viables los cultivos para piensos y alimentos, los materiales derivados de la palma y la soja, el destilado de ácidos grasos de la palma (PFAD), las reservas de jabón y sus derivados.

La Ilustración ofrece una visión general de los modelos de emisiones según el CORSIA para las vías de producción de SAF aprobadas a fecha de marzo de 2024, separadas en valores básicos de LCA e ILUC. Se está trabajando para aprobar la metodología de cálculo de las reducciones de emisiones de GHG para los combustibles PtL, en los que la principal herramienta de reducción de emisiones es la fuente de electricidad para obtener el hidrógeno y la fuente de carbono, ambas necesarias para los combustibles PtL.

2.2.3.2. Emisiones SAF distintas del CO₂

Las emisiones de aviación distintas del CO₂ son agentes contaminantes distintos del dióxido de carbono (CO₂) que tienen un impacto climático, incluidos los óxidos de nitrógeno (NO_x), las partículas de aerosol (hollín y partículas con base de azufre) y el vapor de agua. Algunos tipos de SAF tienen el potencial de ofrecer reducciones significativas de las emisiones distintas del CO₂ [12, 13].

Aunque se reconoce que las emisiones de la aviación distintas del CO₂ contribuyen al impacto climático global, en la actualidad, estos efectos distintos del CO₂ se estiman con un nivel de confianza bajo y con grandes incertidumbres. La Directiva revisada sobre el EU ETS exige a los operadores aéreos que controlen y notifiquen una vez al año los efectos no CO₂ de la aviación.

Algunos proyectos de investigación, como AVIATOR y RAPTOR [14, 15], han demostrado que el uso de determinados tipos de SAF podría tener efectos positivos en la calidad del aire local [16], debido a unos niveles inferiores de azufre y aromáticos, que contribuyen a las emisiones de partículas volátiles y no volátiles (nvPM). Se han recopilado pruebas de la reducción de las estelas de condensación al

utilizar SAF. Desde 2015, están reconocidas científicamente (ECLIF I), y se han corroborado aún más en los proyectos ECLIF II y ND-MAX (2018) [17].

Las mediciones en vuelo entre 2021 y 2024 durante los proyectos de investigación europeos ECLIF III y VOLCAN I y II ampliaron los estudios utilizando SAF 100 % drop-in y 100 % non-drop-in tanto en quemadores modernos de combustión rica como de combustión pobre. Estas pruebas demostraron una reducción significativa de las estelas de condensación debido a la disminución de las emisiones de nvPM y las formaciones de cristales de hielo, lo que indica efectos positivos en la mitigación del cambio climático mediante el uso de SAF [18].

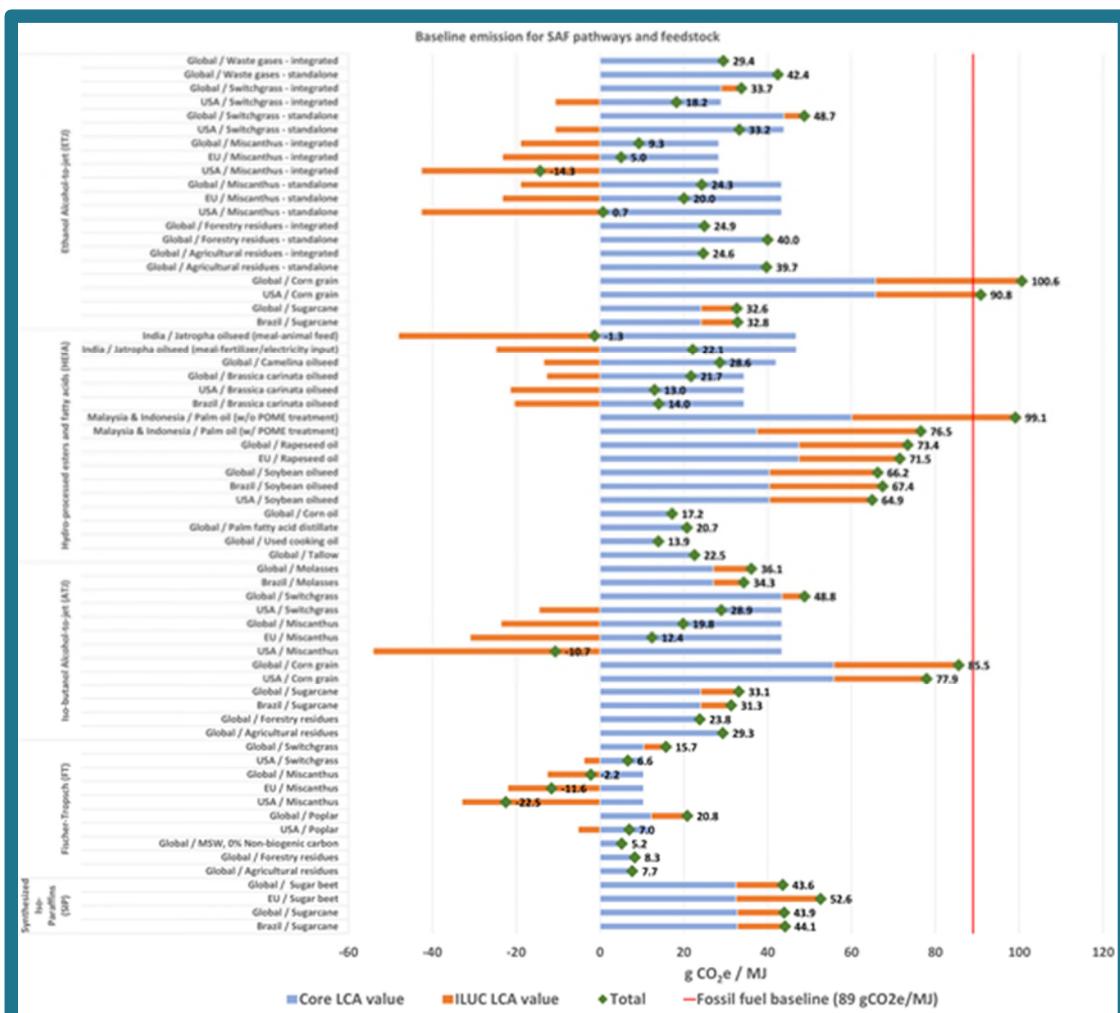


Ilustración 21. Emisiones del LCA para las vías y materias primas de SAF viables para CORSIA comparadas con el valor de referencia de los combustibles fósiles de CORSIA (89 g CO2e/MJ) [19]

Fuente: European State Action Plans for CO₂ emissions reduction – 5th Edition of the ECAC/EU guidelines

Programas de certificación de la sostenibilidad: lucha contra las prácticas fraudulentas

Como se hace tanto hincapié en la ayuda que suponen los SAF para reducir las emisiones en aviación, la "S" de SAF tiene que estar a la altura de lo que promete y garantizar la reducción de las emisiones, evitando al mismo tiempo los impactos ambientales y sociales negativos no deseados de su producción, lo que contribuiría a la credibilidad del sector.

Por ello, los principales marcos normativos, como la RED de la UE y CORSIA, recurren a sistemas de certificación de la sostenibilidad (SCS). El objetivo de los SCS es garantizar que los SAF cumplen los criterios de sostenibilidad exigidos mediante el control del cumplimiento de los requisitos de sostenibilidad por toda la cadena de valor de los SAF y todo el ciclo de vida. A lo largo de toda la cadena de valor, desde la extracción de las materias primas hasta la entrega de los SAF a su ubicación para su uso, se realizan auditorías que llevan a cabo organismos de certificación de terceros acreditados por la ISO. En estas auditorías, el auditor se centra en verificar el cumplimiento por parte de cada operador económico de un conjunto de criterios de sostenibilidad establecidos, así como de criterios de trazabilidad (cadena de vigilancia) y de las emisiones del ciclo de vida, garantizando así que los SAF se producen de acuerdo con los requisitos normativos pertinentes (por ejemplo, según la RED de la UE o CORSIA).

En los últimos años, el aumento de los SAF y los biocombustibles ha generado una creciente preocupación por el comercio fraudulento de materias primas o biocombustibles no sostenibles en la UE [20, 21]. Puede haber comportamientos fraudulentos en los que los productos se etiquetan como conformes a los requisitos de sostenibilidad, aunque no lo sean. Esto resulta muy problemático, ya que estas prácticas amenazan tanto la eficacia como la credibilidad de las políticas climáticas y de energías renovables.

Las ONG y los productores europeos de biocombustibles han advertido en repetidas ocasiones contra las importaciones dudosas y han expresado su preocupación por la eficacia de los programas de certificación, lo cual ha llevado en parte al desarrollo de la Base de Datos de la Unión Europea, que aumentará la transparencia y la fiabilidad del sistema de seguimiento de los combustibles renovables a lo largo de sus cadenas de suministro. La Base de Datos de la UE está debidamente integrada en el proceso de notificación de los SAF suministrados a los aeropuertos de la UE en virtud del Reglamento de aviación ReFuelEU y de la Directiva RCDE de la UE.

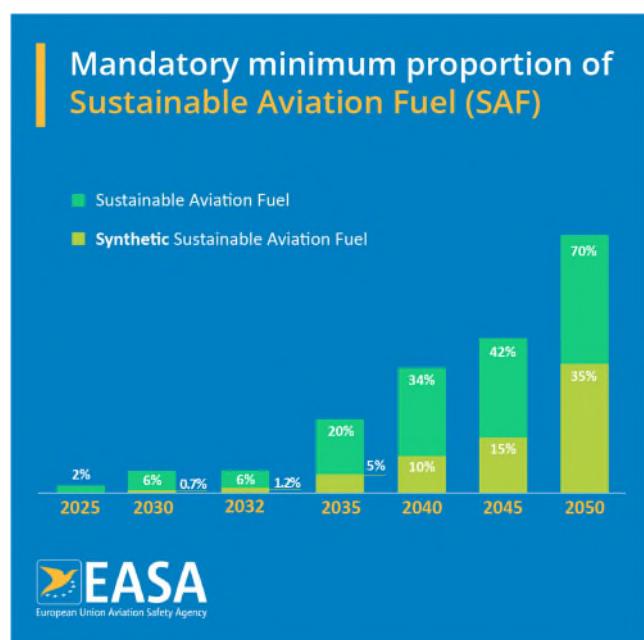
Ante estas preocupaciones, los programas de certificación han redoblado sus esfuerzos para aumentar la credibilidad del sistema, incluyendo la realización de auditorías de integridad sin previo aviso en plantas y operadores económicos seleccionados al azar. Como resultado de esto, se han retirado o suspendido temporalmente algunos certificados de sostenibilidad. También se ha establecido una

base de datos de transacciones vinculada a la base de datos de la Unión Europea para evitar el reetiquetado de las declaraciones de sostenibilidad, una herramienta de mapeo para ayudar a los auditores a identificar riesgos, materiales de orientación específicos sobre los materiales de desecho y residuos y evaluaciones de la viabilidad técnica de las plantas de procesamiento para tratar materiales de desecho/residuos avanzados de baja calidad [22].

2.2.4. ACCIONES POLÍTICAS RELACIONADAS CON LOS SAE

2.2.4.1. ReFuelEU Aviation

El Reglamento de aviación ReFuelEU establece obligaciones armonizadas a nivel de la UE para los proveedores de combustible de aviación, los operadores de aeronaves y los aeropuertos de la Unión para aumentar el uso de SAF en los vuelos que salen de todos los aeropuertos de la UE por encima de determinados umbrales de tráfico anual (tráfico de pasajeros superior a 800.000 personas o tráfico de mercancías superior a 100.000 toneladas). A partir de 2025, los proveedores de combustible de aviación deberán suministrar a los aeropuertos de la Unión una mezcla mínima del 2% de SAF con combustibles convencionales de origen fósil, que aumentará gradualmente hasta alcanzar al menos el 70% en 2050. Los combustibles sintéticos de aviación se encuentran sujetos a un ambicioso submandato, que comienza con un 1,2% en 2030, un 2% en 2032 y alcanza el 35% en 2050 [1]. Los operadores aéreos que despeguen de aeropuertos de la UE también deben abastecerse con el combustible de aviación necesario para realizar el vuelo. De este modo se evitan las emisiones excesivas relacionadas con el peso adicional y se minimizan los riesgos de fugas de carbono causados por las prácticas conocidas como "repostaje económico". Entre 2025 y 2034, los proveedores de combustibles de aviación podrán suministrar las cuotas mínimas de SAF como la media de todo el combustible de aviación que hayan suministrado en los aeropuertos de la Unión durante ese período de notificación. Este mecanismo de flexibilidad permite a la industria desarrollar la capacidad de producción y suministro adecuadamente, y a los proveedores de combustible cumplir sus obligaciones de la manera más rentable sin reducir el objetivo global. El informe de la Comisión determinará y evaluará la evolución de la producción y el suministro de SAF en el mercado del combustible de aviación de la Unión, así como posibles mejoras o medidas adicionales al mecanismo



de flexibilidad existente, como el establecimiento de un posible mecanismo de contabilidad y comercio de SAF (un sistema denominado *book and claim*, "reserva y solicitud"). [27]

Para facilitar el cumplimiento del mandato ReFuelEU de suministro a la aviación, la UE ha puesto en marcha diversas medidas de apoyo normativo, financiero y de otros tipos, entre las que se incluyen las siguientes:

- Una clasificación de cero emisiones de los SAF conformes con la RED utilizados en el marco del Régimen de Comercio de Derechos de Emisión (EU ETS);
- En el marco del EU ETS, se asignará a los operadores aéreos un máximo de 20 millones de derechos de emisión adicionales (con un valor estimado de 1.600 millones de euros) entre 2024 y 2030 para el abastecimiento de SAF, con el fin de cubrir también una parte o la totalidad de la diferencia de precio con el queroseno fósil, en función del tipo de SAF y del lugar de abastecimiento;
- Una estructura impositiva para el combustible en el marco de la revisión propuesta de la Directiva sobre fiscalidad de la energía que incentivaría el uso de SAF frente al queroseno fósil mediante tipos impositivos preferentes;
- Una etiqueta de emisiones de los vuelos que establezca normas armonizadas para la estimación de las emisiones de las aerolíneas teniendo en cuenta la utilización de SAF;
- La inclusión en la taxonomía de la UE de la producción y consumo de SAF para mejorar el acceso a la financiación ecológica;
- Apoyo a la financiación de la I+D y el despliegue en el marco de los programas Horizonte Europa, Fondo de Innovación e InvestEU para reducir el riesgo de la producción de SAF en todas las fases de madurez de la tecnología;
- La cualificación acelerada de las nuevas tecnologías de SAF y la aprobación de nuevas plantas de producción mediante la creación de la Cámara de compensación de SAF de la UE y la inclusión de los SAF en la propuesta de Ley sobre la industria de cero emisiones netas;
- La cooperación intersectorial en la Alianza de la Cadena de Valor de Combustibles Renovables y de Bajo Carbono (Alianza RLCF). La Alianza RLCF, como pilar industrial de ReFuelEU Aviation para apoyar el suministro de SAF, la aparición de proyectos relacionados con los SAF y la puesta en contacto con posibles compradores de combustible está abierta a todas las partes interesadas.
- Proyectos SAF de cooperación internacional financiados por la UE con Estados socios de África, Asia, América Latina y el Caribe. Esto incluye un proyecto ACT-SAF de 4 millones de euros para realizar estudios de viabilidad y actividades de desarrollo de capacidades.
- Designación de los SAF como iniciativa emblemática del Portal Global Gateway 2024, apoyando el desarrollo, la producción y el uso de SAF a través de la reducción del riesgo de las inversiones en SAF fuera de Europa mediante diferentes tipos de financiación.

- Cooperación internacional a nivel de la OACI, incluido el papel de la UE en las negociaciones para alcanzar un acuerdo en el CAAF/3 en noviembre de 2023.

Conferencia de la OACI sobre Aviación y Combustibles Alternativos (CAAF/3)

La tercera Conferencia de la OACI sobre Aviación y Combustibles Alternativos (CAAF/3) se celebró en noviembre de 2023, y en ella los Estados miembros de la OACI acordaron el Marco Global de la OACI para SAF, Combustibles de Aviación de Bajas Emisiones de Carbono (LCAF) y otras Energías Más Limpias para la Aviación. Esto incluye una visión global para reducir las emisiones de CO₂ de la aviación internacional en un 5% para 2030 con el aumento de la producción de SAF, LCAF y otras iniciativas [23]. Para lograr este objetivo, serán fundamentales ciertos elementos básicos en materia de política y planificación, marco normativo, apoyo a la aplicación y financiación. Esta visión se supervisará continuamente y se revisará periódicamente, incluso mediante la convocatoria del CAAF/4 en una fecha anterior a 2028 para poder actualizar el objetivo en función de la evolución del mercado en todas las regiones.



El Reglamento de aviación ReFuelEU también prevé un sistema exhaustivo de seguimiento y notificación del suministro y uso de SAF que proporcionará una visión general del mercado europeo de SAF y formará parte de futuras ediciones de este informe. Esta notificación está vinculada a un mecanismo de aplicación consistente en sanciones impuestas por los Estados miembros para los casos de incumplimiento por parte de los proveedores de combustible y operadores de aeronaves.

La Comisión Europea presentará, primero en 2027 y después cada cuatro años, una evaluación detallada del mercado de los SAF y de la posible necesidad de revisar el ámbito de aplicación del Reglamento, de los combustibles viables, las cuotas mínimas y el nivel de las multas por incumplimiento. También incluirá una evaluación de los posibles mecanismos de apoyo a la producción y uso de SAF.

2.2.4.2. Medidas políticas de los Estados de la CEAC

Suiza ha establecido una estrategia para el uso de combustibles fósiles con el objetivo de que este combustible contribuya con un mínimo del 60 % a la reducción neta de CO₂ en la aviación civil suiza para 2050, contribuyendo así al objetivo suizo de alcanzar emisiones netas de CO₂ cero en 2050. La estrategia va acompañada de una propuesta legislativa que incluye un mandato de combinación y la provisión de fondos para el desarrollo de vías de producción de combustibles fósiles, cuya entrada en vigor está prevista para 2025. Para evitar distorsiones del mercado, el mandato se alinearán con ReFuelEU Aviation. Turquía también está planeando desarrollar

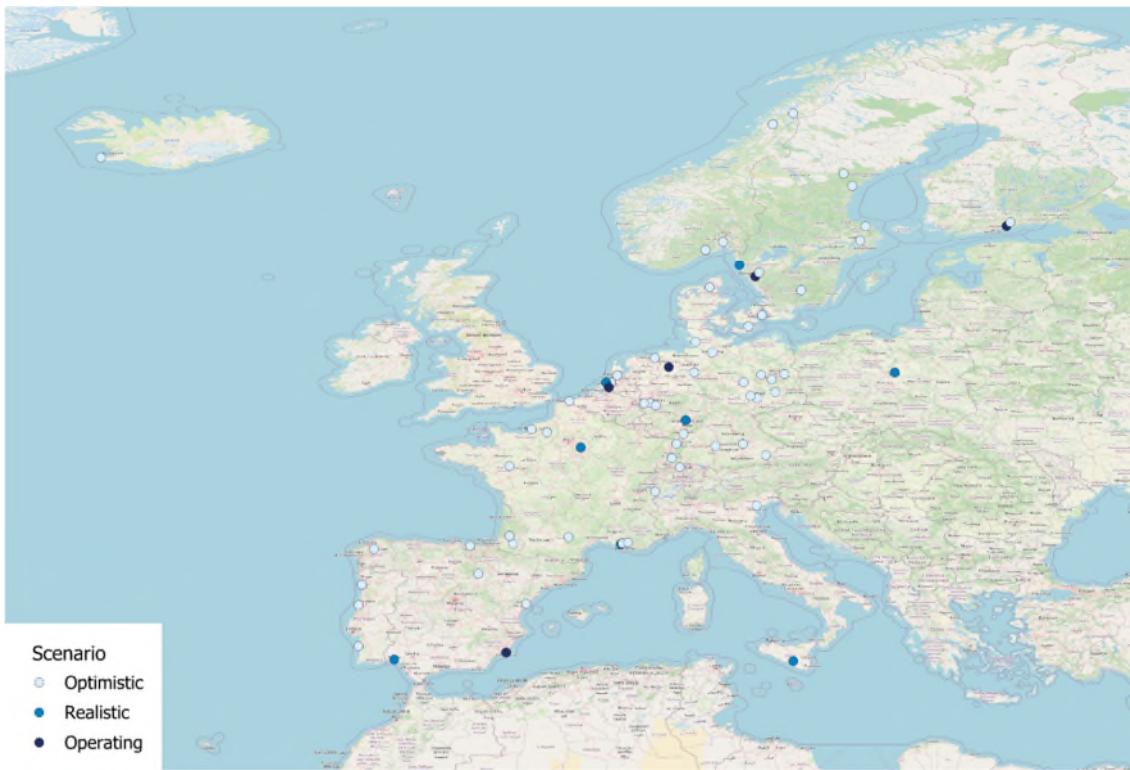
regulaciones específicas para el uso de combustibles fósiles con el fin de incentivar su adopción [24]. El Reino Unido presentó su política SAF en 2024 que incluye un Mandato SAF para impulsar un ambicioso aumento de SAF en el suministro de combustible de aviación, comenzando con un 2% en 2025, aumentando linealmente al 10% SAF en 2030 y alcanzando el 22% en 2040. También incluye un submandato Power-to-Liquid. El Mandato incluye un límite a la cantidad de SAF HEFA utilizado para cumplir con las obligaciones, y hay una obligación separada para los combustibles power-to-liquid, comenzando en 2028 con el 0,2% del suministro total de combustible y llegando al 3,5% en 2040. El mandato pide entregar este porcentaje de SAF a todo el combustible para aviones en vuelos que despeguen del Reino Unido e incluye un límite al SAF HEFA [25].

2.2.5. MERCADO DE LOS SAF

La producción mundial de SAF representó solo el 0,53% del uso de combustible de aviación en 2024, frente al 0,2% en 2023 [26, 27, 28]. El mercado de SAF de la UE, incentivado tras la adopción del Reglamento de aviación ReFuelEU y la revisión del RCCDE y la RED, se encuentra ahora en una fase de transición. El reglamento exige una expansión significativa de la capacidad de producción para evitar que el mercado de la UE dependa excesivamente de las importaciones. A partir de 2025, los proveedores de combustible están obligados a suministrar una cantidad creciente de SAF a los aeropuertos de la Unión. EASA se encarga de supervisar e informar de todo lo relacionado con el reglamento, y elaborará informes anuales, que incluirán un estado de la evolución del mercado de los SAF.

2.2.5.1. Capacidad actual y futura de producción de SAF

Según la información recopilada con el apoyo de la red de Estados miembros de aviación de ReFuelEU (Ilustración 2.5), creada por EASA para apoyar la aplicación del Reglamento, la capacidad anual actual de producción de SAF en la UE es ligeramente superior a 1 millón de toneladas (Tm). Casi toda esta producción de SAF proviene de HEFA y no tiene en cuenta la producción de coprocesamiento con materias primas sostenibles en plantas de combustibles fósiles, de la que no se dispone de suficiente información fiable. Esto podría considerarse un “escenario operativo”.



Si se tienen en cuenta las instalaciones actualmente en construcción, la capacidad de producción de SAF en 2030 podría alcanzar los 3,5 Tm, lo que podría considerarse un "escenario realista". De nuevo, casi toda esta producción estaría dominada por la vía de producción proveniente de HEFA y no incluye ninguna producción de Power-to-Liquid (PtL), ya que ninguna planta ha evolucionado todavía más allá de la fase piloto. Otros estudios llegan a conclusiones diferentes, sobre todo debido a un conjunto distinto de hipótesis y metodologías. La reciente previsión de mercado SkyNRG Market Outlook de junio de 2024 [29] estima 3,8 Tm para 2030, incluyendo 0,3 Tm de PtL, así como cierta producción de coprocesado, mientras que la IEA predice aproximadamente 3,8 Tm para 2038 [30]. En ambos casos, será necesaria una aceleración significativa en la construcción de plantas de PtL para cumplir el primer submandato de 0,7% en 2030.

Además del escenario operativo y del realista, tanto la red de Estados miembros de aviación de ReFuelEU como el informe SkyNRG Market Outlook recopilaron información para elaborar un "escenario optimista". En él se incluyen todos los proyectos en fase de tramitación que entrarán en funcionamiento en 2030, así como los proyectos PtL, lo que daría lugar a una capacidad SAF prevista de 5,9 Tm y 5,5 Tm, respectivamente.

La Ilustración ilustra todos los escenarios anteriores hasta 2030. Mientras que el escenario realista (3,5 Tm) podría satisfacer la demanda prevista del mandato del 6% para 2030 (2,8 Tm), se necesitaría un crecimiento significativo de la capacidad de producción para cumplir el ambicioso aumento al 20% en el período posterior 2030-2035.

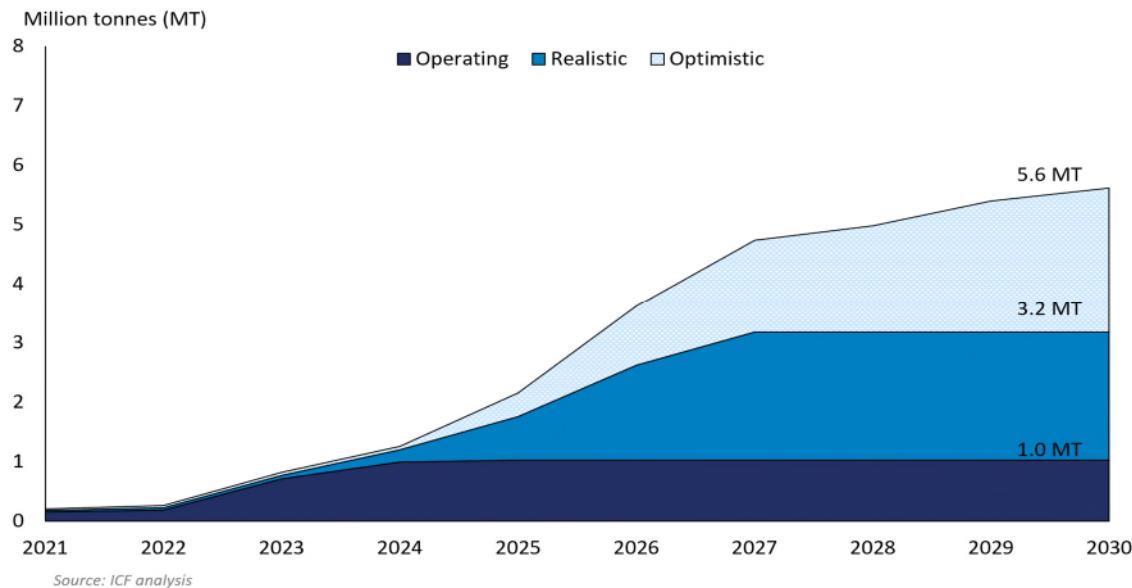


Ilustración 22. Capacidad de SAF de la UE prevista para 2030 por escenario

Fuente: European State Action Plans for CO₂ emissions reduction – 5th Edition of the ECAC/EU guidelines

Más allá de 2030, las proyecciones de la capacidad de producción son más complejas, y el potencial de producción de SAF dependerá de la disponibilidad de materias primas (por ejemplo, HEFA, hidrógeno verde, energía renovable). La industria de la aviación competirá con otros sectores como parte de los esfuerzos de descarbonización de toda la economía, donde estas materias primas podrían utilizarse para descarbonizar directamente el suministro de energía primaria. Por tanto, garantizar estas fuentes de energía renovable será fundamental para garantizar el aumento de la producción de SAF de PtL en Europa. También hay indicios positivos; en particular, en la industria solar, donde el crecimiento de la capacidad de instalación mundial se está acelerando más de lo previsto y se está convirtiendo en la mayor fuente de nueva electricidad, con una capacidad que se duplica cada tres años y, por tanto, se multiplica por diez cada década [31]. En conjunto, las energías renovables superarán por primera vez el 30% del suministro total de energía mundial en 2023 [32]. Para la década de 2030, es probable que la energía solar se convierta en la mayor fuente de energía eléctrica, y para la década de 2040 podría ser la mayor fuente de energía en conjunto [31].

Otro factor que limita el despliegue de los SAF para 2050 es el gasto de capital necesario para construir las instalaciones de producción. Se calcula que en 2050 se necesitarán entre 500 y 800 instalaciones de SAF²⁸ en todo el mundo, lo que, suponiendo 1.800 millones de euros por instalación, supondría un gasto de capital de unos 36.000 millones de euros anuales entre 2025 y 2050 [29].

Las estimaciones del panorama de los SAF en el futuro han llegado a la conclusión de que, efectivamente, los combustibles PtL tienen potencial para cubrir el 50% de la capacidad mundial de producción de SAF en 2050, mientras que la producción

²⁸ Suponiendo una producción media anual de SAF de entre 0,3 y 0,5 Tm por instalación.

basada en HEFA rondará el 7% y la de AtJ / FT el 43% restante. Las previsiones por regiones también señalan las diferentes disponibilidades de materias primas en las distintas partes del mundo [33].

2.2.5.2. Reducción de las emisiones de CO2

Para calcular el ahorro potencial de emisiones de CO2 del Reglamento de aviación ReFuelEU, se ha realizado una comparación entre la reducción de la intensidad del carbono del combustible mundial de aviación teniendo en cuenta el SAF suministrado y la intensidad de referencia del combustible fósil de 94 gCO2e/MJ de la RED de la UE.

Se han evaluado dos escenarios, uno “mínimo” de reducción de emisiones y otro más “ambicioso”. Los escenarios difieren en las reducciones de emisiones supuestas que se conseguirían con el mandato de biocombustibles (avanzados) y el submandato de combustibles RFNBO (PtL). El escenario mínimo supone una reducción de emisiones del 65% y del 70% para los biocombustibles y los RFNBO a lo largo de su ciclo de vida, respectivamente, lo que se ajusta a los requisitos mínimos establecidos en el Reglamento de aviación ReFuelEU [1]. El segundo escenario, más ambicioso, supone una reducción de emisiones del 80% y del 90%, respectivamente, para los dos tipos de SAF.

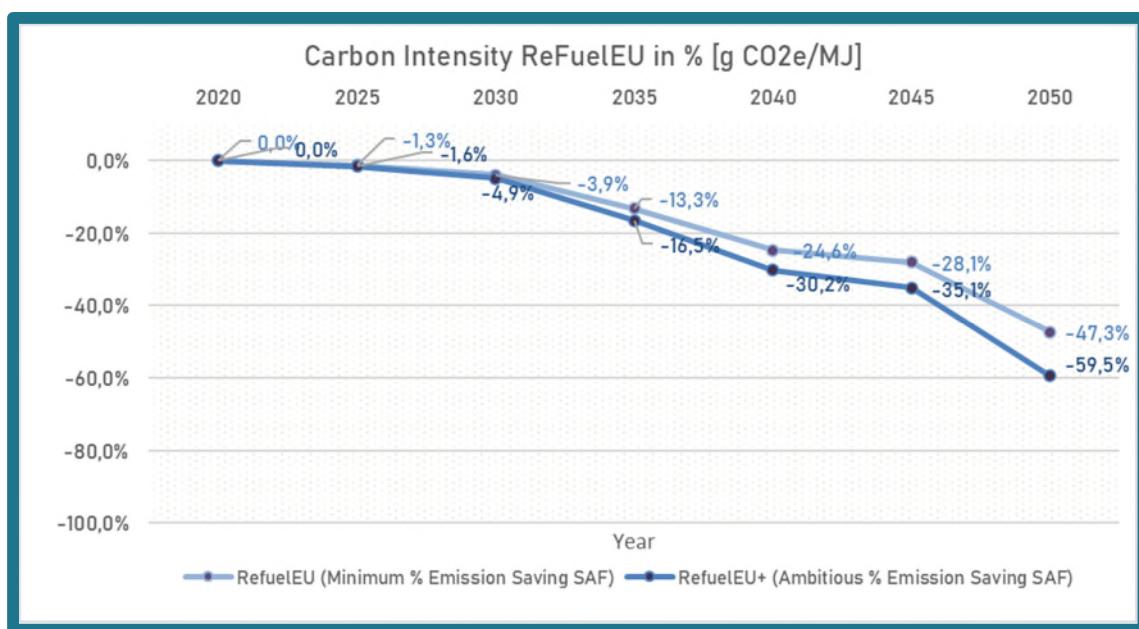


Ilustración 23. Porcentaje de reducción de las emisiones de CO2eq por la incorporación de los SAF en los escenarios de ReFuelEU Aviation

Fuente: European State Action Plans for CO₂ emissions reduction – 5th Edition of the ECAC/EU guidelines

2.2.5.3. Precio de los SAF

El precio de los SAF es uno de los factores más críticos a la hora de su adopción, ya que los costes del combustible representan actualmente una gran parte del coste

operativo de los operadores de aeronaves (aproximadamente el 30%). En 2023, el precio del combustible de aviación convencional rondaba los 816 euros por tonelada de media. Esta es una cifra que se puede consultar fácilmente en los índices de las Agencias de Información de Precios (PRA en inglés) [34].²⁹ Al evaluar los precios de los SAF viables para ReFuelEU Aviation, se diferenció entre los SAF disponibles actualmente en el mercado y los SAF para los que solo pueden realizarse estimaciones de los costes de producción ya que el mercado aún no es lo suficientemente maduro. En el primer caso, solo los biocombustibles de aviación producidos a partir de materias primas enumeradas en el Anexo IX, Parte B, de la Directiva sobre energías renovables estarán disponibles en el mercado en 2023. El precio medio de estos SAF se sitúa en torno a los 2.768 euros por tonelada en 2023, tomando como referencia los índices pertinentes de las PRA.

En el caso de los combustibles que no estaban disponibles en el mercado en 2023, se elaboraron estimaciones de los costes de producción basadas en los costes de materia prima, energía y despliegue tecnológico, lo que dio lugar a precios que oscilan entre los 1.600 euros por tonelada de los biocombustibles avanzados para la aviación y los 8.700 euros por tonelada de los combustibles PtL. La Ilustración 6.9 ilustra los rangos de precios estimados para los diferentes combustibles elegibles en el marco de ReFuelEU Aviation en 2023. Se espera que estos costes de producción se reduzcan sustancialmente a medida que aumenten las tecnologías emergentes de SAF y de producción de hidrógeno y se reduzcan los costes asociados.

Especialmente en el caso de los combustibles PtL, para los que el precio de la energía es un factor clave en el coste, las diferencias en los precios de la energía en Europa pueden influir a la hora de determinar dónde resultará más atractiva y competitiva la producción de estos combustibles en el futuro [35, 36].

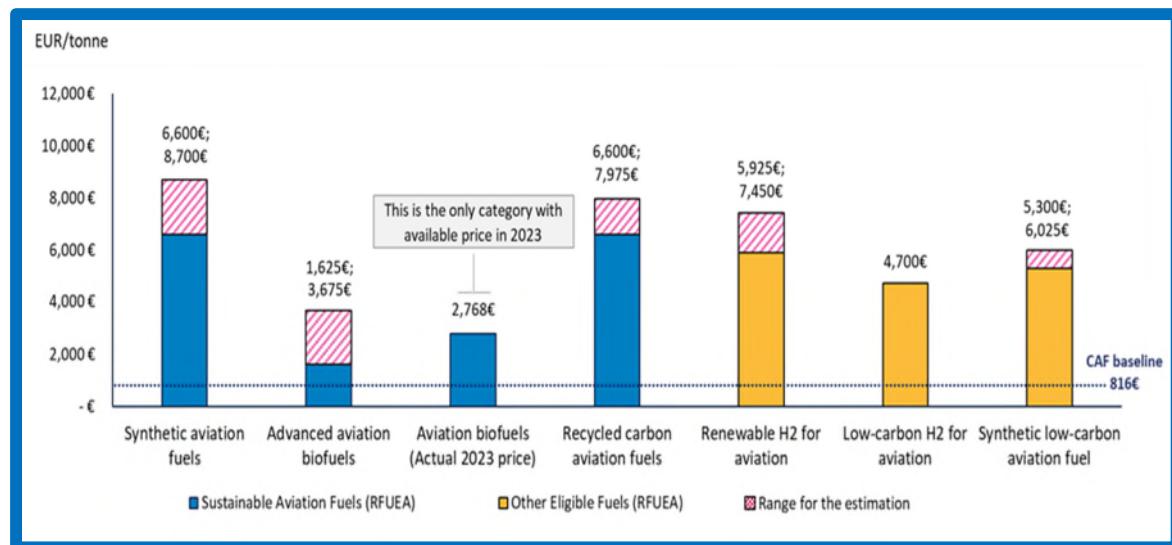


Ilustración 24. Precios y costes de producción estimados en 2023 para los combustibles de ReFuelEU Aviation

²⁹ Agencias de Información de Precios (PRA) utilizadas como fuentes: S&P Global Commodity Insights (Platts), Argus Media y General Index

³⁰ Con una densidad del queroseno de cerca de 0,8 g/cm3, el precio ronda 1,02€/l.

Fuente: European State Action Plans for CO₂ emissions reduction – 5th Edition of the ECAC/EU guidelines

ACCIONES DE LAS PARTES INTERESADAS

Sistema de oleoductos de Europa Central: Primer suministro de SAF

El Sistema de Oleoductos de Europa Central (CEPS) [37] es el mayor sistema de suministro de combustible de la OTAN. Atraviesa Bélgica, Francia, Alemania, Luxemburgo y los Países Bajos, y consta de unos 5.300 km de oleoductos. Suministra combustible para aviones a los principales aeropuertos civiles, como los de Fráncfort, Bruselas, Luxemburgo, Zúrich y Schiphol (Ámsterdam). Con el permiso de la OTAN, los aeropuertos conectados al sistema pueden recibir mezclas de SAF a través del CEPS desde 2023.



Neste cooperó con Brussels Airlines para suministrar combustible sostenible de aviación a la aerolínea en el aeropuerto de Bruselas el 1 de enero de 2023. Esta fue la primera vez que se suministró SAF a una compañía aérea en un aeropuerto europeo utilizando el CEPS de la OTAN. Es un ejemplo de cómo puede utilizarse la infraestructura de combustible existente para suministrar SAF a los aeropuertos.

Suministro de SAF con certificación CORSIA a las aerolíneas [38]

En julio de 2022, Neste entregó a American Airlines el primer lote de SAF certificado por CORSIA (Neste MY Sustainable Aviation Fuel™) en el Aeropuerto Internacional de San Francisco en julio de 2022. Esto formaba parte de un proyecto piloto para certificar los SAF como Combustible conforme a los requisitos CORSIA que puede ser utilizado por una aerolínea para cumplir con su obligación de reducción de emisiones según el Esquema de Compensación y Reducción de Carbono para la Aviación Internacional ("CORSIA"), una medida basada en el mercado para reducir las emisiones de CO₂ de los vuelos internacionales y reducir la contribución de la aviación al cambio climático.

Primer vuelo de la historia con combustible de aviación 100% sostenible en un avión comercial regional [39]

El fabricante de aviones regionales ATR, la aerolínea sueca Braathens Regional Airlines y Neste colaboraron para hacer posible el primer vuelo de prueba con combustible 100% SAF de la historia en un avión comercial regional.



El vuelo tuvo lugar en Suecia en julio de 2022 y forma parte del proceso de certificación 100 % SAF de los aviones ATR que comenzó en septiembre de 2021.

Colaboración de aerolíneas y empresas [40]

El proyecto Runway es una iniciativa lanzada por SkyNRG en junio de 2024 que reúne a aerolíneas y empresas para facilitar el acceso a los SAF. El proyecto ayudará a las aerolíneas a sortear las complejidades de la adquisición de SAF y les proporcionará una forma eficaz de reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero. El proyecto Runway facilita el acceso de las aerolíneas a los SAF y les permite compartir el elevado precio de los SAF con empresas ambiciosas que pretenden reducir sus propias emisiones de aviación de Alcance 3.

Plantas modulares de Power-to-X [41]

Las plantas químicas modulares para aplicaciones de power-to-X (energía a X; convertir la electricidad en X productos sostenibles) y de gas a líquido desarrolladas por INERATEC utilizan hidrógeno a partir de electricidad renovable y gases de efecto invernadero como el CO₂ para producir, entre otros productos, combustibles Power-To-Liquid (energía a líquido). El enfoque modular se está utilizando por primera vez en una planta pionera y en un proyecto industrial de PtL a gran escala en Alemania. El concepto modular de las plantas permite la escalabilidad en varias etapas, manteniendo los esfuerzos



de planificación y construcción manejables y mejorando la relación coste-beneficio.

Primer vuelo transatlántico con combustible sostenible de aviación 100% drop-in [42]

En 2023, el vuelo 100 de Virgin Atlantic voló de Londres a Nueva York con un combustible 100% SAF, culminando así un año de colaboración para demostrar la capacidad de los SAF como un sustituto drop-in seguro del combustible fósil para los reactores, compatible con los motores, los fuselajes y la infraestructura de combustible actuales. El vuelo, realizado a bordo de un Boeing 787 con motores Rolls-Royce Trent 1000, fue el primero del mundo en el que una aerolínea comercial cruzó el Atlántico con un SAF 100% drop-in. Se utilizó un 88% de HEFA (ésteres y ácidos grasos hidroprocesados) hechos de grasas residuales y un 12% de SAK (queroseno aromático sintético) hecho de azúcares vegetales. Se calcula que el uso de SAF redujo las emisiones de nvPM en un 40% y las de CO₂ en un 64%, así como una mejora general de la eficiencia de combustión, ya que el SAF produjo un 1% más de energía en comparación con la misma masa de combustible fósil.



Lista de fuentes

- [1] Comisión Europea (2023), [Reglamento \(UE\) 2023/2405 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 18 de octubre de 2023, relativo a la garantía de unas condiciones de competencia equitativas para un transporte aéreo sostenible \(ReFuelEU Aviation\)](#)
- [2] UE (2018), [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 \(texto pertinente a efectos del EEE\)](#).
- [3] ASTM (2021) [D1655, 2021, Especificación estándar para combustibles de turbinas de aviación. DOI: 10.1520/D1655-21C](#).
- [4] Ministerio de Defensa (2024), [DefStan 91-091 Publicación Nº 17](#)
- [5] ASTM (2021), [D7566, 2021, Especificación estándar para combustibles de turbinas de aviación que contengan hidrocarburos sintetizados. DOI: 10.1520/D7566-21](#).
- [6] ASTM (2021), [ASTM D4054, 2021, Práctica normalizada para la evaluación de nuevos combustibles y aditivos para turbinas de aviación. DOI: 10.1520/D4054-21A](#).
- [7] Unión Europea (2024), [Cámara de compensación de SAF de la UE](#)
- [8] Alianza Industrial de la Cadena de Valor de los Combustibles Renovables y de Bajas Emisiones de Carbono (2024)
- [9] OACI (2021), [CORSIA Criterios de sostenibilidad para los combustibles elegibles CORSIA](#).
- [10] UE (2018), [Reglamento \(UE\) 2018/1999 del Parlamento Europeo y del Consejo de 11 de diciembre de 2018 sobre la gobernanza de la Unión de la Energía y de la Acción por el Clima.](#)
- [11] Tribunal de Cuentas Europeo (2023), [El apoyo de la UE a los biocarburantes sostenibles en el transporte – Falta de claridad en la ruta a seguir.](#)
- [12] Teoh, Roger et al (2022), [Targeted Use of Sustainable Aviation Fuel to Maximize Climate Benefits \(Uso selectivo de combustibles de aviación sostenibles para maximizar los beneficios climáticos\)](#)
- [13] Märkl, Raphael Satoru et all (2024), [Powering aircraft with 100 % sustainable aviation fuel reduces ice crystals in contrails \(Propulsar los aviones con combustibles de aviación 100 % sostenibles reduce los cristales de hielo en las estelas de condensación\)](#)
- [14] Proyecto AVIATOR (2024), [Assessing aViation emission Impact on local Air quality at airports: TOwards Regulation \(Evaluación del impacto de las emisiones de aviación en la calidad del aire local en los aeropuertos: hacia la regulación\).](#)
- [15] RAPTOR (2024), [Investigación de tecnologías, modelos y reglamentación de PM de aviación](#)

- [16] Lukas Durdina, Benjamin T. Brem, Miriam Elser, David Schönenberger, Frithjof Siegerist, y Julien G. Anet (2021), [Reduction of Nonvolatile Particulate Matter Emissions of a Commercial Turbofan Engine at the Ground Level from the Use of a Sustainable Aviation Fuel Blend \(Reducción de las emisiones de partículas no volátiles en un motor turbofán comercial a nivel del suelo mediante el uso de una mezcla de combustibles de aviación sostenibles\)](#).
- [17] Voigt, C. et all (2021), [Cleaner burning aviation fuels can reduce contrail cloudiness | Communications Earth & Environment \(nature.com\) \(Los combustibles de aviación de combustión más ecológicos pueden reducir la nubosidad de las estelas de condensación\)](#)
- [18] Euractiv (2024), [El estudio ECLIF3 europeo de pruebas en vuelo muestra una reducción significativa de las estelas de condensación con un 100 % de SAF](#)
- [19] OACI (2021), [Documento de apoyo CORSIA “combustibles elegibles CORSIA – Metodología de evaluación del ciclo de vida” \(Versión 3 – marzo de 2021\)](#).
- [20] Euractiv (2024), [Los sistemas de certificación de biocombustibles, criticados por no impedir el fraude](#)
- [21] Argus (2024), [Noruega dice que Esso clasificó erróneamente los biocombustibles de grasa animal](#)
- [22] ISCC (2023), [Biodiésel e importaciones de la UE procedentes de China](#)
- [23] OACI (2023), [Marco Mundial OACI para SAF, LCAF y otras energías más limpias](#)
- [24] Orientaciones de la CEAC sobre combustibles de aviación sostenibles (SAF) (2023), [Conferencia Europea de Aviación Civil](#)
- [25] Departamento de Transporte (2024), [Plan de combustibles para la aviación](#)
- [26] Simple Flying (2024), [Según IATA, la producción de SAF alcanzará el 0,53 % del uso de combustibles de aviación en 2024](#)
- [27] EUROCONTROL (2024), [Uso de combustibles de aviación sostenibles en los Estados europeos \(CEAC\) y aeropuertos](#)
- [28] Transport and Environment (2024), [¿Cómo se desarrolla el equeroseno en Europa?](#)
- [29] SkyNRG (2024), [Perspectivas del mercado de combustibles de aviación sostenibles - Actualización de junio de 2024](#)
- [30] Agencia Internacional de la Energía (2023), [Renovables 2023 análisis y previsión a 2028](#)
- [31] The Economist (2024), [El crecimiento exponencial de la energía solar cambiará el mundo](#)
- [32] The Guardian (2024), [Las energías renovables superan el 30 % del suministro eléctrico mundial](#)

- [33] ICF (2021), [Fueling Net Zero – How the aviation industry can deploy sufficient sustainable aviation fuel to meet climate ambitions. An ICF Report for ATAG Waypoint 2050 \(Cómo la industria de la aviación puede desplegar suficiente combustible de aviación sostenible para cumplir los objetivos climático\)](#)
- [34] IATA (2024), [Desvelando los mayores costes de las aerolíneas](#)
- [35] EASA (2024), [Informe de mercado de ReFuelEU](#)
- [36] Politico (2024), [El derroche energético franco-alemán tensa el mercado único europeo](#)
- [37] CIM&CCMP (2024), [La red CEPS](#)
- [38] Neste (2022), [Suministro de SAF con certificación CORSIA a las aerolíneas](#)
- [39] Neste (2022), [Primer vuelo de la historia con combustible de aviación 100 % sostenible en un avión comercial regional](#)
- [40] SkyNRG (2024), [SkyNRG lanza el proyecto Runway con Microsoft como miembro fundador](#)
- [41] INERATEC (2023), [Planta de Fráncfort pionera en producción de combustibles sostenibles](#)
- [42] The Guardian (2023), [Despega el primer vuelo transatlántico con combustible 100 % sostenible](#)



2.3. GESTIÓN DEL TRÁFICO AÉREO Y MEJORAS OPERATIVAS

La propuesta del Cielo Único Europeo (SES2+) de la Comisión fue adoptada formalmente por el Consejo y el Parlamento Europeo en 2024, aunque solo se lograron modestos avances y quedaron varias cuestiones sin resolver.

Aplicar el SES2+, y lograr un enfoque en la mejora continua para abordar las cuestiones sin resolver, es fundamental para mejorar la capacidad, la eficiencia y la sostenibilidad.

Los objetivos de rendimiento del SES de la RP4 (2025-2029) reflejan la visión de mejorar el rendimiento medioambiental, al igual que el deseo de desarrollar mejores indicadores de seguimiento medioambiental al tiempo que se aumenta la resiliencia y se refuerza la capacidad.

Se reconoce que el plan de rendimiento del Cielo Único Europeo debe mejorar los indicadores de rendimiento relacionados con la gestión del tráfico aéreo en materia de medio ambiente. Se está trabajando para identificar un KPI más sólido que, tras un período de seguimiento y de análisis durante el RP4, estará listo para el establecimiento de objetivos de rendimiento en el RP5.

El Plan Maestro ATM del SES actualizado se ha ajustado a las ambiciones del RP4, de forma que los ANSP inviertan en tecnologías que proporcionen un tráfico aéreo más ecológico, inteligente y eficaz.

Los ambiciosos objetivos de rendimiento medioambiental no pueden alcanzarse a menos que el sistema ATM apoye e incentive a todas las partes interesadas para que optimicen la eficiencia de sus operaciones.

Con la puesta en marcha del Plan Maestro ATM de SES para 2050, se podrían ahorrar 400 millones de toneladas de emisiones de CO2 (un 9,3% menos de CO2 por vuelo).

La guerra en Ucrania y el conflicto de Oriente Próximo, con el consiguiente impacto que tienen en el espacio aéreo de la UE, han hecho más difícil evaluar si las acciones de ATM encaminadas a mejorar los indicadores de rendimiento medioambiental se han traducido en beneficios tangibles.

Durante los períodos de mayor actividad, los controladores aéreos pueden verse obligados a utilizar procedimientos alternativos para mantener la separación necesaria entre aeronaves, lo que limita la capacidad para realizar operaciones de descenso continuo con un consumo eficiente de combustible.

Las emisiones totales de CO2 gate to gate (de puerta a puerta) desglosadas por fase de vuelo indican que las emisiones más elevadas proceden de la fase de crucero (62,9%) y de la fase de ascenso (23,2%).

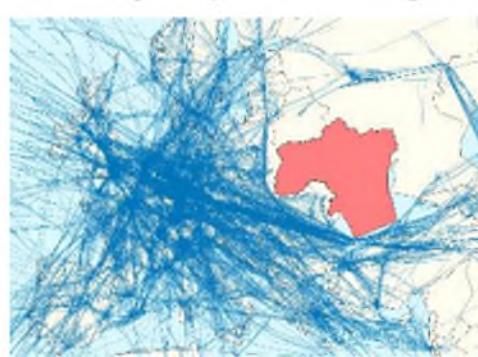
La implantación del espacio aéreo Free-Route (FRA) mejora significativamente los resultados medioambientales en ruta. Se calcula que en 2026 se habrán ahorrado hasta 94.000 toneladas anuales de emisiones de CO2 gracias a la implantación del FRA de Borealis Alliace entre 9 Estados.

Las huelgas de control del tráfico aéreo en 2023 tuvieron un impacto medioambiental significativo con 96.000 km volados adicionales y 1.200 toneladas de emisiones de CO2 debido a los efectos en cadena en los Estados vecinos y en toda la red del Cielo Único Europeo.

El estudio SESAR estimó que 1 euro invertido en las funcionalidades ATM del Proyecto Común 1 (CP1) durante 2023 se tradujo en 1,5 euros en beneficios monetizables y 0,6 kg de ahorro de CO2, y se espera que estos beneficios aumenten con el tiempo a medida que se aplique plenamente el CP1.

2.3.1. CIELO ÚNICO EUROPEO

En los últimos años, el tráfico aéreo ha seguido recuperándose tras la pandemia de COVID y el número de vuelos con origen o destino en aeropuertos de la UE27+EFTA fue de 8,35 millones durante 2023. Esto supone un aumento del 8,5% en comparación con 2022 (7,69 millones), pero sigue siendo un 9,1% inferior al nivel de 2019 (9,19 millones). Las tasas de crecimiento a nivel estatal se han distribuido de forma desigual debido a los cambios en los flujos de tráfico derivados de la guerra en Ucrania desde 2022, los cambios en el tráfico de vacaciones y un menor tráfico nacional en varios Estados.



El cierre del espacio aéreo ucraniano al tráfico comercial se vio amplificado por las prohibiciones recíprocas del espacio aéreo para los operadores rusos y varios operadores occidentales. Aunque la mayor parte del tráfico europeo no se ve directamente afectado por los cierres del espacio aéreo, los vuelos este-oeste entre Europa y Asia que antes viajaban por el espacio aéreo ruso tienen que desviarse, lo que añade tiempo de viaje y consumo de combustible, reduciendo así la eficiencia de los vuelos.

En 2004, la Comisión puso en marcha el Cielo Único Europeo (SES) [1], que representa un marco holístico para armonizar y mejorar el rendimiento de la gestión del tráfico aéreo (GTA) en términos de seguridad, capacidad, rentabilidad y medio ambiente. El SES se basa en cinco pilares interrelacionados: regulación económica, organización del espacio aéreo/gestión de la red, innovación tecnológica, seguridad y dimensión humana. El proyecto SESAR (Single European Sky ATM Research and Development) es el pilar de innovación tecnológica del SES, cuyo objetivo es modernizar la gestión del tráfico aéreo mediante el ciclo de innovación de definición, desarrollo y despliegue de sistemas tecnológicos y procedimientos operativos innovadores. El objetivo es llegar a contar con el "cielo digital europeo" definido en el Plan Maestro ATM Europeo [2], que es una hoja de ruta común para convertir a Europa en el cielo más eficiente y respetuoso con el medio ambiente del mundo. Incluye el objetivo de reducir la emisión media de CO₂ por vuelo en un 9,3% (600 kg) de aquí a 2050. Un elemento clave para lograrlo es el despliegue del Proyecto Común Uno (CP1 en inglés) [25], que facilita la prestación de servicios a lo largo de las rutas *gate to gate* optimizadas y reduce así las emisiones de CO₂ y de otros gases.

El SES ha evolucionado con el tiempo y ha supuesto un beneficio considerablemente para la gestión del tráfico aéreo en Europa. No obstante, se consideró necesaria una reforma profunda del SES para alcanzar más eficazmente los objetivos mencionados, lo que llevó a la Comisión a lanzar la propuesta "SES2+" en 2020. El proceso de adopción del SES2+ fue arduo y muy debatido, pero finalmente se alcanzó un acuerdo político entre el Parlamento Europeo y el Consejo, y el nuevo Reglamento se adoptó en 2024.

Aunque el resultado del SES2+ refuerza la regulación de los resultados económicos e incentiva los resultados medioambientales mediante la creación del Organismo de Evaluación de Resultados (PRB) con carácter permanente, solo se lograron avances modestos y muchas cuestiones quedaron sin resolver. Por ejemplo, el gestor de red³¹ carece de medios para garantizar que los ANSP aporten a la red la capacidad prometida que es necesaria cuando la demanda de las compañías aéreas es elevada. Además, aunque SESAR ha mejorado la coordinación entre las partes interesadas a través del ciclo de innovación ATM, la transición del desarrollo al despliegue de las soluciones SESAR por parte de los ANSP, los operadores aeroportuarios y los usuarios del espacio aéreo en toda Europa ha resultado difícil y, en consecuencia, ha dado lugar a un progreso insuficiente en la modernización del sistema ATM. Esto puede deberse a los requisitos nacionales en materia de diseño y seguridad del espacio aéreo, lo que complica la identificación de soluciones universales para los proveedores de servicios de navegación aérea (ANSP por sus siglas en inglés) monopolísticos y estatales. Todos estos puntos podrían contribuir a plantear retos en términos de adopción de innovaciones tecnológicas, capacidad de respuesta a la demanda y ajustes de la base de costes, y cooperación entre los ANSP.

El objetivo de neutralidad climática para 2050 exige que la UE garantice la descarbonización del sector del transporte aéreo. Del mismo modo, el Plan de Acción Contaminación Cero incluye objetivos para reducir el impacto del ruido y la calidad del aire. Objetivos tan ambiciosos como estos no podrán alcanzarse a menos que el sistema de gestión del tráfico aéreo apoye e incentive a los proveedores de servicios de navegación aérea (ANSP), a los operadores aeroportuarios y a los usuarios de aeronaves para que optimicen la eficiencia de sus operaciones y reduzcan así al mínimo el consumo excesivo de combustible y las emisiones.

Una mejor organización del espacio aéreo que reduzca al mínimo el uso ineficiente del espacio aéreo disponible, principalmente a través de un mejor diseño del espacio aéreo y del sector de control del tráfico aéreo y de procedimientos eficaces de gestión del espacio aéreo (coordinación civil-militar), son herramientas adicionales de la ATM para posibilitar y permitir trayectorias de vuelo eficientes en términos de consumo de combustible. Debe fomentarse la mejora continua tanto a nivel local como de red.

Aunque ya se ha avanzado mucho en el ámbito de la ATM, ahora hay que aplicar la reforma SES2+ y centrarse en la mejora continua de las infraestructuras y los procedimientos operativos, sobre todo con una cooperación más estrecha entre todas las partes interesadas y un despliegue más rápido de las soluciones SESAR.

³¹ La Decisión de Ejecución (UE) 2019/709 de la Comisión [4] renovó el nombramiento de EUROCONTROL como gestor de red (NM) para el período 2020-2029. EASA sigue actuando como autoridad competente que certifica y supervisa al gestor de red. El gestor de red coordina a las partes interesadas operativas con el fin de gestionar la demanda mediante la gestión del flujo y la capacidad, optimizando así el rendimiento de la red para limitar el consumo innecesario de combustible y las emisiones.

2.3.2. RENDIMIENTO Y OBJETIVOS MEDIOAMBIENTALES DEL SES

Contexto general

Reference Period 2 (RP2)	2015-2019
Reference Period 3 (RP3)	2020-2024
Reference Period 4 (RP4)	2025-2029
Reference Period 5 (RP5)	2030 -2034

El sistema del rendimiento y tarificación del SES [6] define indicadores clave del rendimiento (KPI) para los servicios de navegación aérea y las funciones de red, que se utilizan para fijar objetivos de rendimiento a escala de la Unión y local en las áreas clave de rendimiento (KPA) de medio ambiente, seguridad, rentabilidad y capacidad. Los períodos de referencia (PR) del sistema de evaluación del rendimiento del SES se dividen en períodos de cinco años. Este informe recoge los resultados de los RP2 y RP3, al tiempo que destaca las intenciones para el RP4 y los preparativos para futuros cambios en el RP5 (por ejemplo, seguimiento de la seguridad sin KPA, KPA climático y medioambiental). La dimensión medioambiental del SES implica tanto el establecimiento de objetivos para impulsar mejoras como el seguimiento y la elaboración de informes sobre indicadores de rendimiento medioambiental.

2.3.2.1. Indicador clave del rendimiento medioambiental (con objetivos)

Durante el RP3, el rendimiento medioambiental se ha medido a través de un KPI, concretamente, la eficiencia del vuelo horizontal en ruta de la trayectoria de vuelo real (KEA). La KEA mide la distancia adicional volada en comparación con la distancia ortodrómica (la distancia más corta entre dos aeropuertos).

Cuanto mayor sea el valor de ineficacia KEA, peor será el rendimiento. Sin embargo, otros factores como el viento, la meteorología, las estructuras del espacio aéreo y las limitaciones de la red influyen en la trayectoria óptima. Uno de los objetivos de la propuesta SES2+ de la Comisión era desarrollar un KPI más adecuado sobre el rendimiento medioambiental para la RP4. Sin embargo, debido a la duración de las negociaciones y la adopción de la legislación SES2+, esto no fue posible y ahora está previsto para la RP5.

Tras la pandemia de COVID, el rendimiento medioambiental medido con respecto al KPI de la KEA se deterioró significativamente en 2022 y 2023 (Ilustración 3.1). Los Estados miembros de la UE no fueron capaces de alcanzar, por un amplio margen, los objetivos de rendimiento medioambiental a escala de la Unión fijados para 2022 (2,37 %) y para 2023 (2,40 %). Lamentablemente, el impacto de la guerra en Ucrania y las consiguientes restricciones en partes del espacio aéreo de la UE hicieron más difícil evaluar si las acciones de gestión del tráfico aéreo encaminadas a mejorar la KEA se tradujeron realmente en beneficios tangibles. El PRB calcula que en 2022 se volaron más de 26 millones de kilómetros adicionales como resultado de no haber alcanzado el objetivo fijado para toda la Unión en un 0,59%. Esto equivale a aproximadamente 118 millones de kilogramos de combustible quemado en exceso (375 millones de kilogramos de CO2).

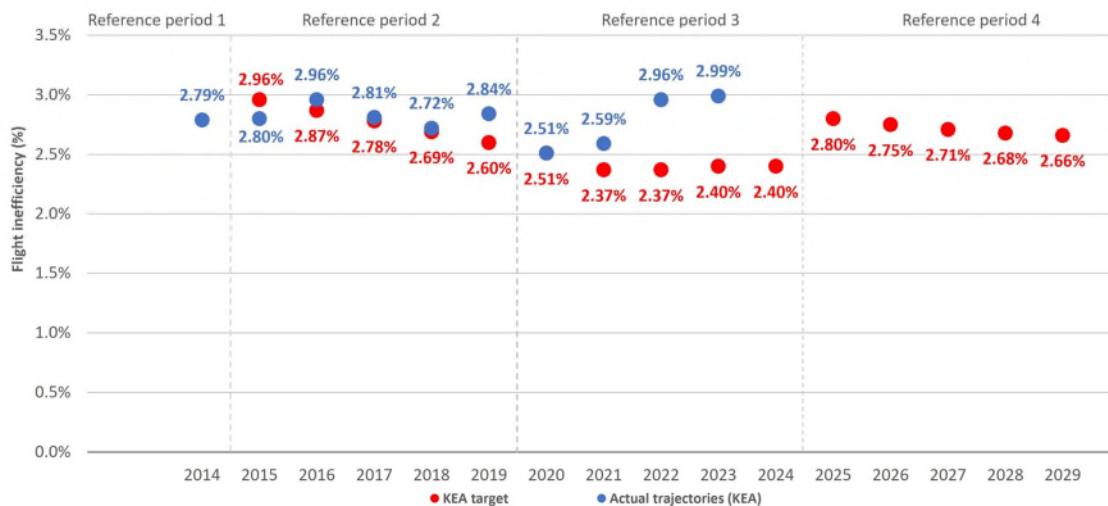


Ilustración 25. Ineficiencia de los vuelos horizontales en ruta de KEA y objetivos para 2014-2029

Fuente: European State Action Plans for CO₂ emissions reduction – 5th Edition of the ECAC/EU guidelines

2.3.2.2. Indicadores de rendimiento para el seguimiento (sin objetivos)

El sistema de evaluación del rendimiento incluye varios indicadores que solo se controlan a nivel de la UE o localmente, pero sin contar con objetivos vinculantes. Entre ellos se incluye la eficiencia media del vuelo horizontal en ruta de la trayectoria del último plan de vuelo presentado (KEP)³² y la trayectoria más corta restringida (KES/SCR)³³. Al igual que el resto de indicadores, la KEP y la KES/SCR (Ilustración 4.2) se han visto significativamente afectadas por la guerra en Ucrania, lo que ha provocado un aumento general de la ineficacia durante 2022 y 2023, aunque se ha producido una reducción del delta entre la KES/SCR y la KEP. Al igual que en el caso de la KEA, se reconoce que se necesitan indicadores más adecuados para ofrecer una indicación más clara sobre la eficacia de las acciones de ANSP y del gestor de red.

³² La diferencia entre la longitud de la parte en ruta de la trayectoria del último plan de vuelo archivado y la parte correspondiente de la distancia ortodrómica, sumada sobre todos los vuelos IFR dentro del espacio aéreo europeo o que lo atravesen.

³³ La diferencia entre la longitud de la parte en ruta de la ruta restringida más corta disponible para la planificación de vuelos, calculada por los algoritmos de búsqueda de trayectorias y los sistemas de validación de planes de vuelo del gestor de red, medida entre los puntos de salida y entrada de dos áreas terminales de maniobras, y la parte correspondiente de la distancia ortodrómica sumada sobre todos los vuelos IFR dentro del espacio aéreo europeo o que lo atravesen.

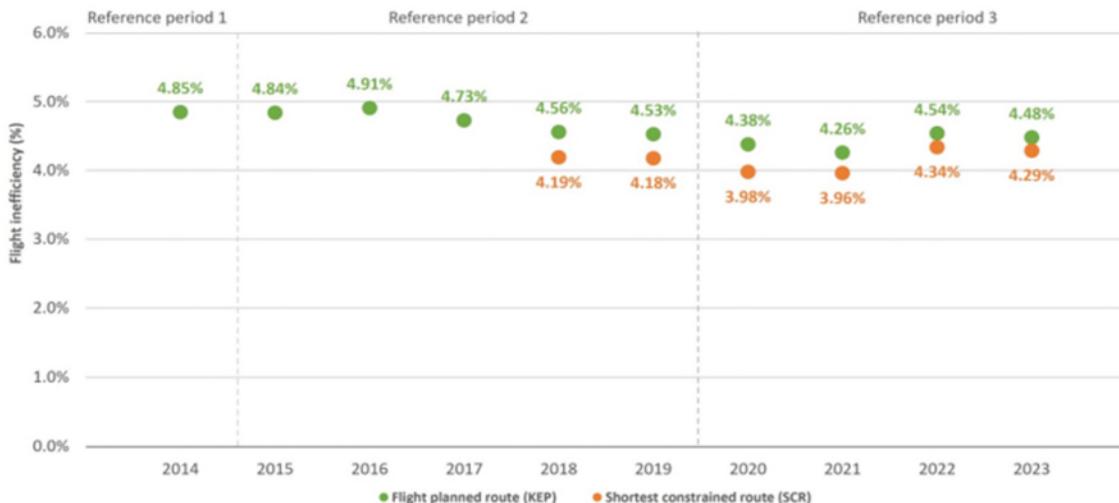


Ilustración 26. Ineficiencia de los vuelos horizontales en ruta KEP y KES/SCR de 2014 a 2023

Fuente: *European State Action Plans for CO₂ emissions reduction – 5th Edition of the ECAC/EU guidelines*

El porcentaje de vuelos que completaron Operaciones de Descenso Continuo (CDO en inglés) en 2023 descendió solo un 0,03% en comparación con los datos de 2022. La tendencia en términos de cuota mensual de vuelos con CDO durante 2023 (Ilustración 4.3) fue bastante estable en torno al 30-35%, incluso durante el período estival con un número de vuelos significativamente mayor. Los controladores aéreos (ATCO en inglés) intentarán autorizar a las aeronaves para una CDO cuando puedan garantizar una separación segura hasta la aproximación final. Sin embargo, durante los períodos de mayor actividad, los ATCO pueden tener que utilizar procedimientos de ATC alternativos para mantener la separación requerida, como la vectorización por radar y el control de velocidad, que no son compatibles con las CDO. La Ilustración 3.3 ilustra que existe una capacidad limitada para dar cabida a las CDO durante los períodos de mayor actividad.

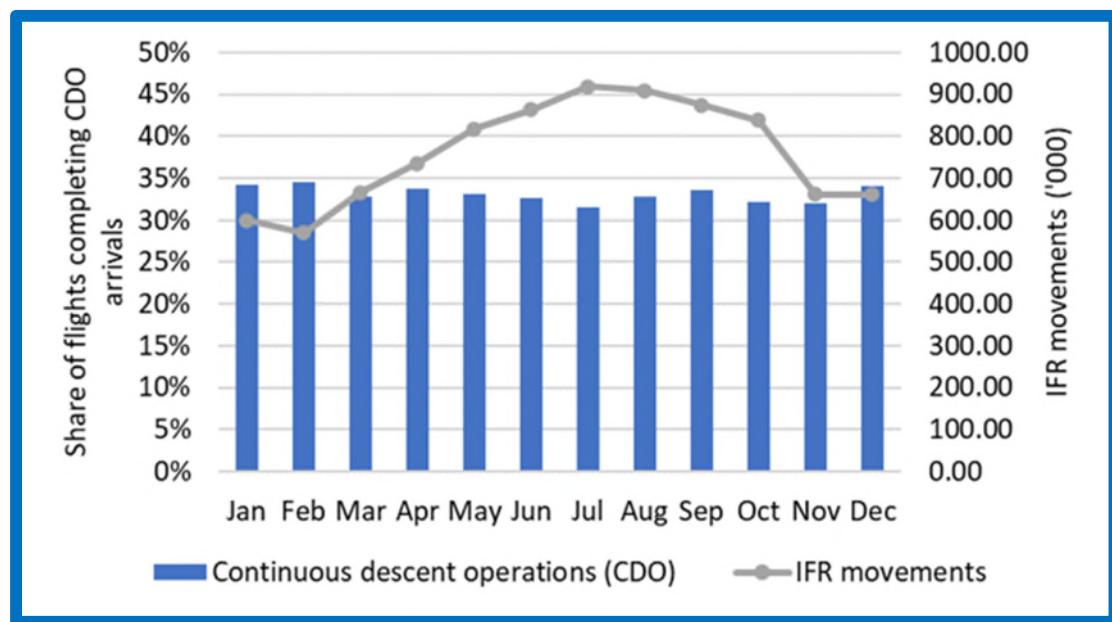


Ilustración 27. Indicador de eficiencia de vuelo vertical con CDO para 2023

Fuente: *European State Action Plans for CO₂ emissions reduction – 5th Edition of the ECAC/EU guidelines*

Las restricciones al número de CDO se vinculan al actual sistema ATM. Se espera que con las futuras Operaciones Basadas en el Tiempo (TBO), se faciliten más CDO integrándolas en las trayectorias de ahorro de combustible de las aeronaves.

2.3.2.3. Tiempo adicional en la zona de secuenciación y cómputo de llegadas (tiempo ASMA)

El tiempo adicional ASMA, también conocido como tiempo de espera en el aire, tiene un impacto directo en términos de mayor consumo de combustible. Existe un claro interés por encontrar un equilibrio entre la regulación de las llegadas mediante la absorción de los retrasos en tierra y los retrasos en el aire durante la fase de aproximación. Los retrasos en el aire permiten una gestión táctica del flujo de llegadas, optimizando potencialmente la secuencia de aproximación y maximizando el rendimiento de la pista. Sin embargo, los retrasos aéreos excesivos son innecesarios y tienen un claro impacto en las emisiones. En cuanto al tiempo ASMA, las duraciones del rodaje prolongadas contribuyen a un mayor consumo de combustible y más emisiones de CO₂. Reconociendo que el establecimiento de una secuencia de salida mejora la eficiencia de la pista y que los aeropuertos pueden necesitar ocasionalmente despejar las gradas para los vuelos que llegan, alcanzar un equilibrio entre los retrasos ATC previos a la salida para regular el tráfico en pista y los tiempos adicionales de rodaje de salida es esencial para minimizar el impacto medioambiental.

La evolución de ambos indicadores sigue una tendencia similar (Ilustración 3.4), con un ligero aumento durante 2014-2019 seguido de un descenso significativo debido a la drástica reducción del tráfico durante el COVID. Desde entonces, el tráfico se ha recuperado hasta situarse en 2023 solo un 10 % por debajo de 2019 en los 40 aeropuertos más transitados de la UE27+EFTA, mientras que los tiempos adicionales de ASMA y rodaje de salida también aumentan a la vez.

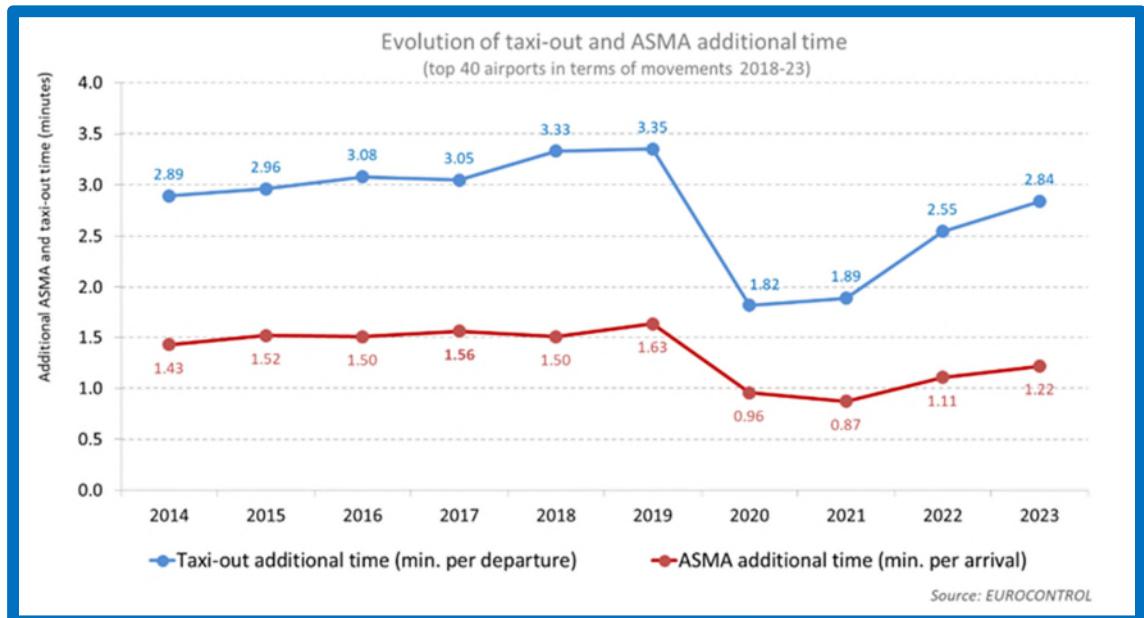


Ilustración 28. Tiempos medios adicionales ASMA y de rodaje de salida de los 40 aeropuertos más transitados de la UE27+EFTA en términos de movimientos de vuelo

Fuente: European State Action Plans for CO₂ emissions reduction – 5th Edition of the ECAC/EU guidelines

Existen variaciones significativas entre los 40 aeropuertos más transitados de la UE27+EFTA en términos de tiempo ASMA adicional (Ilustración 3.5).

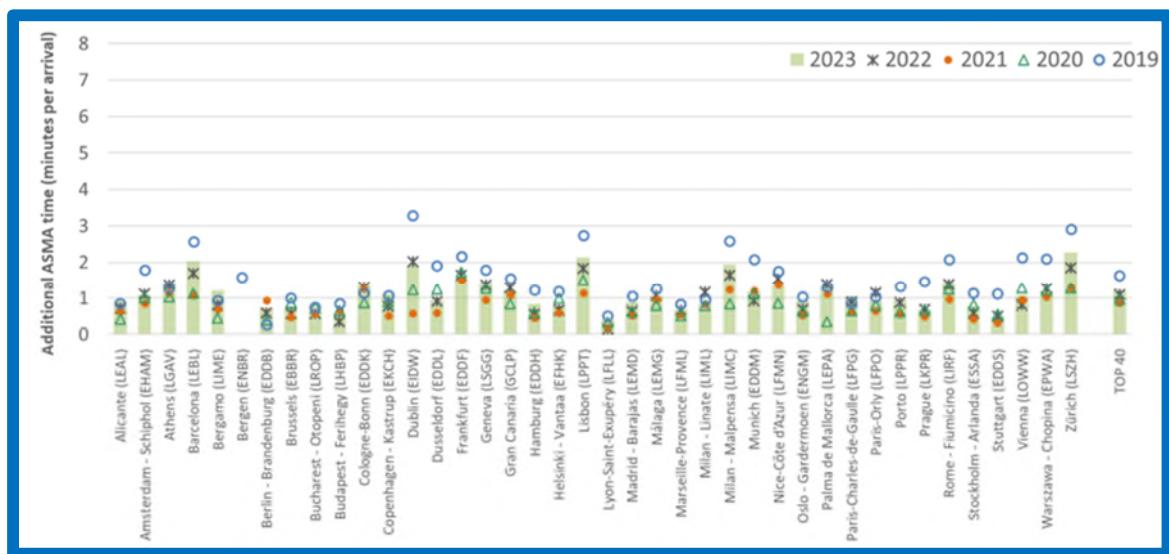


Ilustración 29. Ineficiencias relacionadas con la ATM en el flujo de llegadas (AMSA) en los 40 aeropuertos más transitados de la UE27+EFTA (2019-2023)

Fuente: European State Action Plans for CO₂ emissions reduction – 5th Edition of the ECAC/EU guidelines

2.3.2.4. Próximo período de referencia 4 (2025-2029)

Sigue siendo esencial que el sector de la gestión del tráfico aéreo mantenga e incluso refuerce su compromiso de contribuir a la consecución de los objetivos del Pacto Verde Europeo y a un futuro más sostenible de la aviación. Los objetivos de rendimiento a escala de la Unión del RP4 [42] reflejan la ambición de mejorar el rendimiento medioambiental y la sostenibilidad, al tiempo que se aumenta la resiliencia y se refuerza la capacidad, así como se reducen los costes. También cabe señalar que el PRB ha desarrollado un sistema tipo semáforo para evaluar el comportamiento medioambiental de los Estados miembros [43].

El asesoramiento del PRB a la Comisión Europea en relación con los indicadores de rendimiento para la RP4 se centró en la mejora del rendimiento medioambiental de la gestión del tráfico aéreo, dando prioridad a las acciones que permitan a los usuarios del espacio aéreo volar por las trayectorias más eficientes en términos de consumo de combustible, y reducir así el consumo de combustible de puerta a puerta [41]. En aras de una mayor eficiencia de los vuelos en el espacio aéreo europeo, los ANSP y el gestor de red deben hacer todo lo posible para apoyar las trayectorias eficientes en términos de consumo de combustible, evitando desvíos y retrasos debidos a puntos críticos de capacidad.

Dada la interdependencia entre las KPA de medio ambiente y de capacidad, es esencial abordar la escasez de capacidad a largo plazo a la que se enfrentan determinados ANSP para permitir las mejoras de rendimiento medioambiental requeridas. Tales problemas de capacidad se vienen observando desde el segundo período de referencia del Cielo Único Europeo (2015-2019), y han resurgido durante la recuperación de la crisis de COVID-19 debido a la insuficiencia de ATCO en la zona central de Europa para satisfacer adecuadamente la demanda de tráfico.

Reconociendo el crecimiento previsto del tráfico durante el RP4, que puede repercutir en la complejidad de las operaciones, y las continuas consecuencias de la guerra en Ucrania, los futuros objetivos medioambientales del RP4 mejoran siguiendo un enfoque gradual, con una reducción de los objetivos KEA del 2,80% para 2025 al 2,66% para 2029. También se ha avanzado en el desarrollo de indicadores de seguimiento (PI en inglés) de resultados nuevos y revisados, incluso en el ámbito medioambiental, que se basan en los resultados de un estudio realizado por la Comisión. Estos indicadores se están debatiendo actualmente en el Comité del Cielo Único con vistas a su posible utilización durante la RP4.

2.3.2.5. Preparativos para el período de referencia 5 (2030-2034)

Las nuevas normas que se elaboren para el sistema de rendimiento y tarificación sobre la base del Reglamento SES2+ empezarán a aplicarse durante el período de referencia 5. Esto incluye una única área clave de rendimiento que abarcaría tanto los aspectos medioambientales como climáticos, así como un requisito de objetivos vinculantes para los servicios terminales de navegación aérea, siempre que se identifiquen y establezcan indicadores medioambientales adecuados.

El sistema de rendimiento y tarificación del SES pretende captar la relación entre la ruta de los vuelos y el impacto ambiental, y anteriormente los indicadores existentes se consideraban medidas sustitutivas razonables para incentivar la eficiencia de los proveedores de servicios de navegación aérea. Sin embargo, se han detectado limitaciones con los actuales KPI/PI medioambientales, que se confirmaron durante la pandemia de COVID, cuando algunos Estados miembros fueron incapaces de cumplir sus objetivos medioambientales a pesar de la drástica reducción del tráfico. Estas deficiencias deben tenerse en cuenta a la hora de extraer conclusiones sobre la base de los actuales KPI de KEA, especialmente teniendo en cuenta el rendimiento a nivel de un espacio aéreo individual de un Estado miembro de la UE.

El esquema de rendimiento del SES debe mejorarse en lo que respecta a los indicadores de rendimiento relacionados con la ATM del medio ambiente. La KEA no proporciona la granularidad necesaria a nivel nacional para evaluar específicamente la contribución de la ATM a la eficiencia medioambiental. Sin embargo, aunque este principal indicador no se considera adecuado para su finalidad, ha resultado complicado llegar a un acuerdo sobre una alternativa. En la actualidad, se está trabajando para encontrar un KPI más sólido, que, tras un período de seguimiento y análisis durante el RP4, permita el establecimiento de objetivos de rendimiento en el RP5 y más adelante.

2.3.3. INDICADORES DE RENDIMIENTO OPERATIVO

2.3.3.1. Emisiones totales de CO2 gate to gate

Las emisiones totales de CO2 gate to gate (de puerta a puerta) dentro del área de EUROCONTROL [39], o la parte de la trayectoria dentro del espacio aéreo de los vuelos con origen o destino en dicha área, fueron de 180,2 millones de toneladas en 2023, lo que representa un aumento del 14% con respecto a 2022. La Ilustración 3.6 ilustra el desglose de estas emisiones de CO2 por fase de vuelo y, como era de esperar, las fases de crucero y ascenso son las que presentan la mayor proporción de emisiones, con un 63% y un 23% respectivamente. Aunque se detectan muchas menos ineficiencias en la fase de ascenso que en la de descenso y, por consiguiente, se prestó más atención a esta última, es importante señalar que incluso un pequeño porcentaje de ineficiencia durante el ascenso puede dar lugar a una cantidad significativa de CO2 adicional.

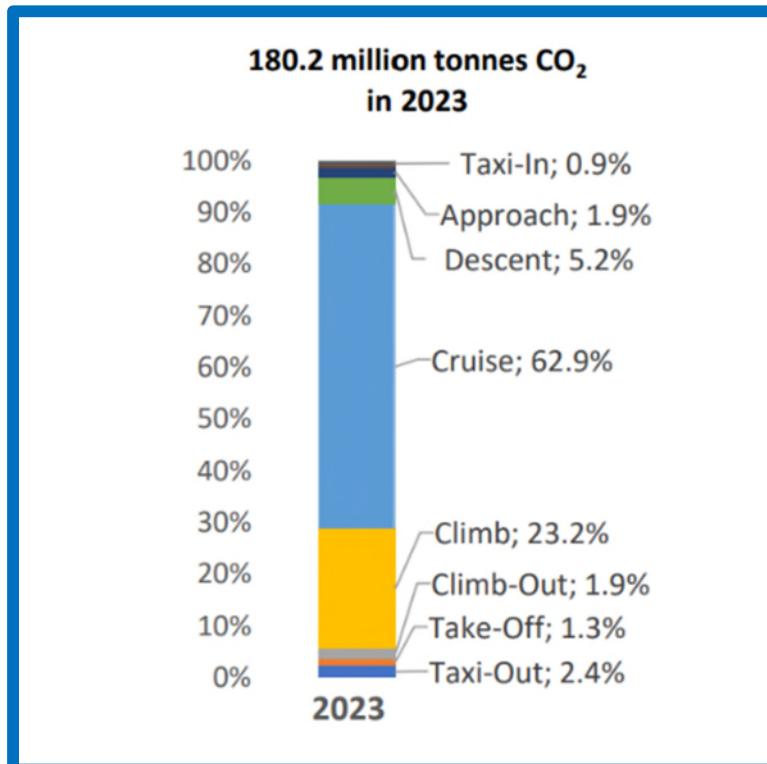


Ilustración 30. Emisiones totales de CO₂ por fase de vuelo en el área de EUROCONTROL en 2023

Fuente: *European State Action Plans for CO₂ emissions reduction – 5th Edition of the ECAC/EU guidelines*

2.3.3.2. Consumo de combustible de la red

El gestor de red (NM en inglés) del Cielo Único Europeo desarrolló una métrica de Consumo Excesivo de Combustible (XFB) que sirve de medida de la ineficiencia del combustible en una ruta concreta para un tipo de aeronave determinado, en comparación con una referencia basada en el mejor rendimiento en esa combinación de ciudades/tipo de aeronave.

Posteriormente, el NM mejoró el conjunto de datos de consumo de combustible con perfiles de combustible para todos los vuelos, incluido el consumo de combustible en puntos específicos a lo largo del perfil de vuelo, y lo presentó de diferentes maneras en el panel CO2MPASS del NM [30]. La Ilustración 3.7 muestra que el 95% de las salidas de vuelos del NM recorren menos de 5.000 km y representan el 55% del consumo total de combustible, lo que significa que solo el 5% de las salidas que representan vuelos de larga distancia de más de 5.000 km queman el 45% del combustible total.

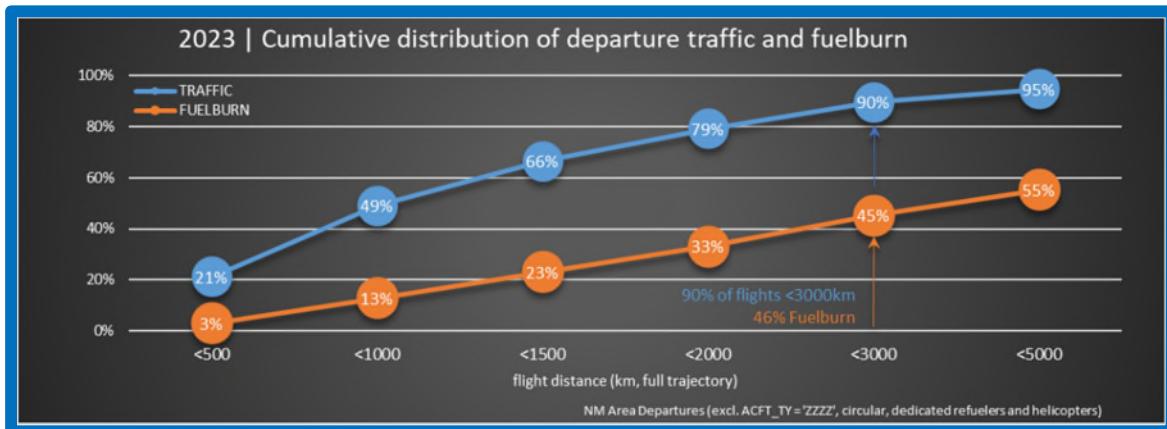


Ilustración 31. Distribución acumulativa de salidas y consumo de combustible en 2023

Fuente: European State Action Plans for CO₂ emissions reduction – 5th Edition of the ECAC/EU guidelines

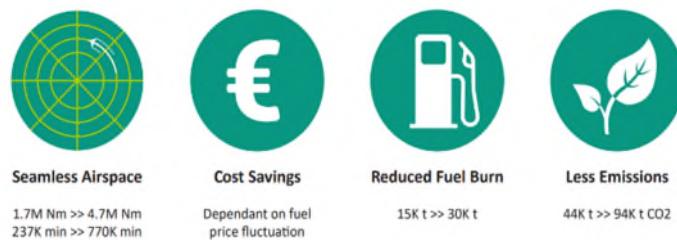
2.3.3.3. Espacio aéreo Free Route

El espacio aéreo Free Route (FRA) es una solución SESAR que se define como un volumen de espacio aéreo dentro del cual los usuarios pueden planificar libremente una ruta entre cualquier punto de entrada y salida definido, sujeto a la disponibilidad de espacio aéreo [15]. La continua implantación del FRA en Europa durante los últimos años ha sido un factor que ha permitido mejorar la eficiencia de los vuelos, puesto que proporciona a las aerolíneas una mayor flexibilidad para presentar planes de vuelo más eficientes. Sin embargo, las aerolíneas no solo deben implantar el FRA, sino también aplicarlo para cosechar sus beneficios.

De acuerdo con el Plan Maestro ATM Europeo y el Reglamento (CE) nº 2021/116, la implantación del FRA con dimensión transfronteriza y conectividad a las Áreas Terminal de Maniobras (TMA) se debe completar antes del 31 de diciembre de 2025. Se han implantado áreas FRA transfronterizas entre los siguientes Estados:

- BALTIC FRA: Polonia y Lituania.
- BOREALIS FRA: Dinamarca, Estonia, Irlanda, Islandia, Finlandia, Letonia, Noruega, Suecia y Reino Unido.
- SECSI FRA: Albania, Austria, Bosnia y Herzegovina, Croacia, Montenegro, Macedonia del Norte, Serbia y Eslovenia.
- SEE FRA: Bulgaria, República Checa, Hungría, República de Moldavia, Rumanía y Eslovaquia.
- BALTIC FRA y SEE FRA.
- SECSI FRA y FRA IT

La Alianza Borealis (una colaboración de ANSP de Dinamarca, Estonia, Finlandia, Islandia, Irlanda, Letonia, Noruega, Suecia y Reino Unido) es pionera en la implantación de un FRA transfronterizo entre sus nueve espacios aéreos nacionales. Aunque su implantación se ha visto ralentizada por la crisis del COVID, sigue estando prevista para finales de 2026. La Ilustración anterior ilustra los beneficios reales del FRA conseguidos en 2018 y las ganancias anuales estimadas en 2026 con la plena implantación del FRA.



1.7M Nm >> 4.7M Nm
237K min >> 770K min

Dependant on fuel price fluctuation

15K t >> 30K t

44K t >> 94K t CO2

Impacto de las huelgas en la aviación europea

Entre el 1 de marzo y el 9 de abril de 2023, hubo 34 días de huelga que afectaron al transporte aéreo en Europa, principalmente en Francia, pero también en Alemania, aunque en menor medida. Como referencia, en 2022 solo hubo 5 días de huelga en Francia. Los 34 días de huelga de 2023 afectaron potencialmente a 237.000 vuelos (vuelos con origen, destino o escala en los países mencionados, principalmente Francia). En comparación, los cierres del espacio aéreo en Europa debidos a la erupción del volcán Eyjafjallajökull en 2010 (15-22 de abril) provocaron la interrupción de unos 100.000 vuelos.

Además del impacto que tienen en los pasajeros, las huelgas también pueden dejar una gran huella medioambiental. EUROCONTROL calcula que en 2023 se volaron 96.000 km más cada día de huelga, con una media adicional de 386 toneladas de combustible quemado y 1.200 toneladas de emisiones de CO2 [31]. El coste medio para los operadores aéreos de las cancelaciones y retrasos fue de 14 millones de euros al día.

Each Strike Day (during 7 March - 9 April)	
	96,000 additional km flown
	386 tons of additional fuel burnt
	1,200 additional tons of CO2 emissions



Por ejemplo, el 12 de marzo, cerca de 40 vuelos tuvieron que ampliar su ruta al menos 370 km para evitar el espacio aéreo francés (comparándolas con los planes de vuelo del 5 de marzo, un día sin huelga). Estas huelgas también afectaron hasta al 30% de los vuelos de todo el continente, lo que señala el impacto desproporcionado que pueden tener las perturbaciones de un país en los países vecinos y en el conjunto de la Red Europea. Aunque Francia cuenta con disposiciones sobre servicios mínimos que impiden el cierre completo de sus operaciones ATC, estas no protegen los sobrevuelos. Una normativa de servicios mínimos en toda

Europa que proteja los sobrevuelos (como la que existe, por ejemplo, en Italia y España) contribuiría en cierta medida a proteger a los pasajeros de este tipo de perturbaciones, así como del impacto medioambiental que generan.

2.3.4. SESAR: HACIA EL CIELO DIGITAL EUROPEO

2.3.4.1. Investigación y desarrollo en materia de SESAR



La primera empresa común SESAR se creó en 2007 como organismo de la UE responsable de la fase de investigación y desarrollo del ciclo de innovación de SESAR. Ha producido más de 100 soluciones con un beneficio combinado estimado que podría permitir una reducción del 4% de las emisiones de CO₂ por vuelo. El catálogo en línea de soluciones SESAR contiene información técnica sobre estas soluciones y su nivel de despliegue según los informes de los Estados europeos [32].

La actual empresa común SESAR 3 [36] tiene un mandato de 10 años (2021-2031) para continuar este trabajo. Durante 2024, se actualizó el Plan Maestro ATM Europeo para definir la ruta crítica para establecer Europa como el cielo más eficiente y respetuoso con el medio ambiente en el mundo. Define los objetivos estratégicos de despliegue y las prioridades de desarrollo, proporcionando un marco para facilitar el despliegue de las soluciones SESAR y configurando la posición europea para impulsar la agenda global de modernización de la ATM a nivel de la OACI.

La implantación de un primer subconjunto crítico de soluciones SESAR es un mandato del Proyecto Común 1 (CP1), que garantiza un despliegue coordinado y oportuno de los elementos clave para las Operaciones Basadas en la Trayectoria (TBO) y para el establecimiento de una espina dorsal digital para el Cielo Único Europeo (SES).

2.3.4.2. Mejoras en todas las fases del vuelo

SESTAR aborda todo el alcance del impacto ambiental de la aviación, desde las emisiones de CO₂ y diferentes al CO₂ hasta el ruido y la calidad del aire en todas las fases del vuelo.

- **Fase de RODAJE.** Un objetivo clave durante la parte en tierra de la trayectoria es reducir el tiempo de encendido del motor. Aumentar la previsibilidad del tiempo de autorización del despegue evita el tiempo de espera en el punto de espera en pista. Además, el rodaje con un solo motor y el rodaje con el motor apagado, en los que las aeronaves son remolcadas por un vehículo de rodaje sostenible, pueden reducir las emisiones totales de los motores. La reducción prevista de las emisiones de una iniciativa de rodaje sin motor puede ser superior al 50%, como también se demostró en el proyecto ALBATROSS [34].
- **Fases de ASCENSO y DESCENSO.** El objetivo en estas fases es

aprovechar la disponibilidad del perfil óptimo para cada vuelo individual a través del Perfil Proyectado Extendido (EPP en inglés), en el que las aeronaves tienden a iniciar su descenso una media de 35-70 millas náuticas (nmi) antes de lo que sería su punto óptimo de ToD (tope del descenso)³⁴. Esto conduce a un descenso de empuje largo, que es ineficiente incluso si no incluye los despegues intermedios (Ilustración 3.8). El EPP proporciona visibilidad sobre el terreno de los puntos óptimos de tope del ascenso y tope del descenso, lo que facilita una trayectoria mejor a los controladores aéreos. Además, SESAR aboga por una transición desde las rutas de llegada fijas convencionales utilizadas hoy en día a un despliegue más dinámico de estructuras de rutas RNP (Required Navigation Performance) dentro del Área Terminal de Maniobras. La utilización de estas rutas dinámicas aumenta la capacidad durante los períodos pico, optimiza el consumo de combustible durante las horas valle y disminuye la huella acústica, especialmente durante las operaciones nocturnas. Además, la adopción de estas rutas dinámicas permite responder con agilidad a las fluctuaciones de las condiciones operativas.

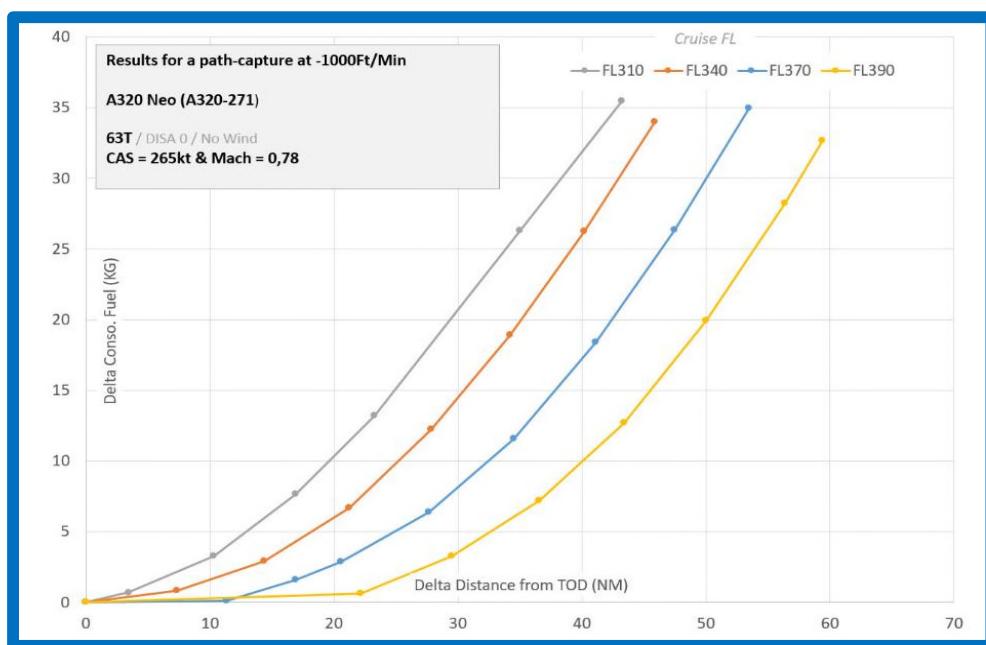


Ilustración 32. Aumento del consumo de combustible en función de la distancia antes del Tope del Descenso óptimo en el que se inicia la fase de descenso, sin niveles intermedios (por ejemplo, cuando un descenso desde crucero a FL370 se inicia 50nmi antes, el consumo adicional de combustible es de 30 kg).

Fuente: European State Action Plans for CO₂ emissions reduction – 5th Edition of the ECAC/EU guidelines

- **Fase de CRUCERO.** La ruta libre en el perfil horizontal ya está ampliamente disponible en Europa. Por ello, la mejora de la eficiencia del

³⁴ Informe de demostración de los descensos de perfil optimizados de SESAR

vuelo prioritaria mediante la provisión de suficiente capacidad de espacio aéreo es fundamental para que las aeronaves vuelen a su altitud óptima. Aunque el aumento exacto de las emisiones varía en función del tipo de aeronave y de las condiciones específicas de vuelo, los estudios sugieren que volar a altitudes inferiores puede aumentar el consumo de combustible en aproximadamente un 6-12% en comparación con las altitudes de crucero óptimas [21;22]. Puede lograrse un aumento de la capacidad mediante el apoyo digital y la automatización de todos los procesos de ATM, incluidos los controladores aéreos, como el Documento de Disponibilidad de Rutas (RAD), que da lugar a menos restricciones verticales tanto en la planificación del vuelo como durante el mismo [33]. La gestión del tráfico aéreo también puede evolucionar para apoyar la desviación de los vuelos con el fin de evitar los cruceros dentro del espacio aéreo en el que los impactos no relacionados con el CO₂ son desproporcionadamente altos (se conocen como volúmenes ecosensibles).

La empresa común SESAR 3 también ha prestado apoyo a las partes interesadas operativas en el seguimiento y la gestión de su comportamiento medioambiental en las fases de planificación, ejecución y postoperación. A nivel aeroportuario, esto incluye la plena integración de la supervisión del comportamiento medioambiental con el Plan de Operaciones Aeroportuarias (AOP) [35].

2.3.4.3. Optimización de la trayectoria en un entorno digital

La desviación del plan de vuelo durante la ejecución del vuelo, por ejemplo, permitiendo un acortamiento imprevisto de la trayectoria de vuelo, permite ahorrar combustible y reducir las emisiones del vuelo en cuestión y de su fase de vuelo específica. Sin embargo, esto puede tener un impacto negativo en la previsibilidad de la red de tráfico aéreo, lo que a su vez podría tener un impacto negativo en el medio ambiente. Los conceptos operativos basados en la trayectoria (TBO) garantizan el libre flujo de información entre las unidades de gestión del tráfico aéreo y el gestor de la red, lo que permite compartir rápidamente la información sobre la trayectoria en toda la red y aumentar la flexibilidad en la ejecución del vuelo para los usuarios del espacio aéreo.

El Plan Maestro ATM actualizado ha definido la hoja de ruta europea del TBO para el período 2025-2045 con la ambición de garantizar una optimización continua y precisa de todas las trayectorias de las aeronaves a lo largo de su ciclo de vida, desde la planificación hasta la ejecución, *gate to gate*, incluso en espacios aéreos congestionados. Con la posible introducción de aeronaves de emisiones cero después de 2035, también habrá que tener en cuenta las características de rendimiento específicas para evaluar cualquier impacto en la Red.

2.3.4.4. Despliegue de SESAR



El Gestor del despliegue de SESAR [36] planifica, sincroniza, coordina y supervisa la aplicación de los "Proyectos Comunes" que exigen el despliegue sincronizado de determinadas funcionalidades ATM (AF en inglés) basadas en soluciones SESAR. El actual Proyecto Común (CP1) [EU 2021/116] cuenta con 6 AF (Ilustración 3.9) destinadas a reducir las ineficiencias y generar así ahorro en combustible y reducciones de CO₂ en diferentes fases del vuelo, especialmente en la de crucero. El Programa de Despliegue de SESAR [38] define el modo en que las partes interesadas operativas aplicarán los AF de la CP1, cuya finalización está prevista para el 31 de diciembre de 2027. Los beneficios de rendimiento esperados de CP1 AF representan aproximadamente el 20% de las ambiciones de rendimiento del Plan Maestro ATM europeo para 2035 [40] y serán un paso crítico hacia una aviación sostenible relacionada con la ATM en Europa. Se espera que el 65% de reducción de CO₂ del CP1 se encuentre en la fase de crucero, el 25% en la fase de descenso y el 10% en la fase de rodaje. A finales de 2023, el [CP1] ya habrá aportado beneficios acumulados por valor de 4.600 millones de euros. Este valor alcanzará los 19.400 millones de euros en 2030, una vez que [el CP1] esté plenamente implantado, mientras que en un plazo más largo se espera que el [CP1] aporte beneficios acumulados por valor de 34.200 millones de euros en 2035 y de 52.300 millones de euros en 2040.



Ilustración 33. Visión general de las funcionalidades ATM del Proyecto Común 1 (CP1).

Fuente: European State Action Plans for CO₂ emissions reduction – 5th Edition of the ECAC/EU guidelines

La Tabla que se muestra debajo detalla el potencial total de reducción de CO₂ de los vuelos en cuestión que podría esperarse si todos los conceptos sub-AF del CP1 se desplegaran en el futuro sistema ATM con todas las tecnologías maduras y obteniendo todos sus beneficios. Los valores de la tabla representan un orden de magnitud de la reducción de CO₂ que se puede esperar de las distintas

subfuncionalidades, y que dependen, en gran medida, de las condiciones específicas del vuelo y de la situación local.

CP1 Functionality		Fuel saving per flight concerned	CO2 savings per flight concerned	Time saving per flight concerned	% of ECAC flights concerned	Flight phase concerned
AF1	Departure Management Synchronised with Pre-departure sequencing	[2.9 – 10 kg]	[9.2 - 31.5 kg]	[0.5 – 1 min]	30%	Taxiing phase
	Initial/ extended AOP	[0.4 – 0.8 kg]	[1.2 - 2.5 kg]	[0.1 – 0.1 min]	70%	Taxiing phase
AF2	Airport Safety Nets	[0.1 – 3.1 kg]	[0.3 - 9.7 kg]	[0.01 – 0.01 min]	30%	Taxiing phase
AF3	ASM and A-FUA	[8 – 41.7 kg]	[25.2 - 131.3 kg]	[0.15 – 0.55 min]	10%	Cruising phase
	Enhanced Free Route Airspace Operations	[35 – 58 kg]	[110.2 - 182.7 kg]	[1 – 2 min]	75%	Cruising phase
AF4	Enhanced Short Term ATFCM Measures	n/a		[0.3 – 0.4 min]	5%	Pre departure phase
	Interactive rolling NOP	n/a		[0.2 – 0.3 min]	50%	Pre departure phase
AF5	Automated Support for Traffic Complexity Assessment and Flight Planning interfaces	n/a		[0.1 – 0.2 min]	70%	Pre departure phase
AF6	Initial AirGround Trajectory Information Sharing	[8 – 12 kg]	[25.2 - 37.8 kg]	[0.05 – 0.1 min]	90%	Cruising phase

Tabla 15 Reducción de CO2 por Funcionalidad ATM del Proyecto Común 1

Fuente: European State Action Plans for CO₂ emissions reduction – 5th Edition of the ECAC/EU guidelines

La ratio beneficio-coste (BCR) de la inversión en AF del CP1 muestra el valor de la inversión comparando los costes de un proyecto con el beneficio que genera. En este caso, se ha estimado que cada euro invertido en el despliegue del CP1 reportó 1,5 euros en 2023 a las partes interesadas en términos de beneficios monetizables, así como 0,6 kg de ahorro de CO₂ (Tabla 16). Además, se espera que el BCR y la reducción de CO₂ aumenten con el tiempo a medida que la AF del CP1 se implante en su totalidad (Tabla 17).

Metric	Already achieved			
	2023	2030	2035	2040
Benefit-cost ratio ¹³	1.5	3.8	5.9	8.0
CO ₂ kg saved per € invested ¹⁴	0.6	2.2	4.0	6.0

Tabla 16 Relación coste-beneficio y reducción de CO₂ gracias a la aplicación de la AF del CP1

Fuente: European State Action Plans for CO₂ emissions reduction – 5th Edition of the ECAC/EU guidelines

	Already achieved			
Metric	2023	2030	2035	2040
Fuel kg saved	7.0 kg	42.3 kg	47.0 kg	47.8 kg
CO ₂ kg saved	22.1 kg	133.2 kg	147.9 kg	150.5 kg

Tabla 17 Ahorro de combustible y reducción de las emisiones de CO₂ por vuelo en 2023 y previsiones hasta 2040

Fuente: European State Action Plans for CO₂ emissions reduction – 5th Edition of the ECAC/EU guidelines

ACCIONES DE LAS PARTES INTERESADAS

Mejora de la eficiencia de los vuelos en el espacio aéreo de Skyguide

Skyguide introdujo el espacio aéreo Free Route en su zona a finales de 2022 (Suiza y partes de Francia, Italia, Alemania y Austria). Uno de los objetivos del proyecto FRA de Skyguide era optimizar las trayectorias de vuelo entre Suiza y Alemania, independientemente de los límites del espacio aéreo. Un análisis posterior a la implantación confirmó mejoras significativas en eficiencia del vuelo horizontal. En comparación con el período anterior al COVID, las trayectorias de vuelo planificadas dentro del espacio aéreo suizo han mejorado en un 22%. Como resultado del FRA transfronterizo, el rendimiento de la eficiencia del vuelo horizontal en la interfaz Skyguide-DFS también ha mejorado significativamente, con una mejora de las trayectorias planificadas y voladas en los puntos de entrada del 16% y el 13% respectivamente. En 2023, pese a un aumento en el tráfico del 5% en comparación con 2022, las trayectorias planificadas y voladas mejoraron un 13% y un 2% respectivamente, gracias al FRA transfronterizo de Skyguide.



CiCERO: Empoderamiento ciudadano y comunitario en la optimización de las rutas

Austro Control, en colaboración con el gobierno federal, está mejorando la transparencia y la participación pública relacionadas con el ruido del tráfico aéreo en el espacio aéreo austriaco. En 2024, se puso en marcha un innovador proceso de participación pública, invitando a los ciudadanos a participar y dar forma activa a los cambios en los procedimientos de llegada y salida de las reglas de vuelo instrumental (IFR) en Austria. Gracias a esta iniciativa, los ciudadanos pueden proponer mejoras de las rutas IFR existentes y aportar valiosos comentarios sobre rutas nuevas o modificadas. Un grupo de expertos revisa las propuestas y garantiza que todas las aportaciones tengan en cuenta y se evalúen. En los dos primeros meses de funcionamiento se registraron más de 500 aportaciones. Todo el proceso se documenta con transparencia, y Austro Control mantiene informado al público en todo momento. Su objetivo es mejorar la calidad del servicio, reduciendo el ruido y fomentando un sistema de tráfico aéreo más seguro, puntual y respetuoso con el medio ambiente.



CONCERTO: Colaboración dinámica para generalizar las trayectorias respetuosas con el medio ambiente

El objetivo del proyecto CONCERTO es normalizar las trayectorias ecológicas para reducir el impacto de la aviación en las emisiones de CO₂ y otras emisiones. El proyecto tratará de integrar la capacidad de control ecológico del tráfico aéreo en el sistema y ayudará a las partes interesadas a equilibrar la regularidad y el rendimiento medioambiental a nivel local y de red. Para ello, el proyecto aprovechará los datos y la inteligencia artificial más avanzados para permitir a las partes interesadas en el control del tráfico aéreo su "responsabilidad ecológica" al siguiente nivel. Asimismo, el proyecto pretende demostrar que las medidas de mitigación se pueden desplegar progresivamente en la red, en sincronía con los avances científicos.



Lista de fuentes

- [1] CE (2004), [Reglamento \(CE\) Nº 549/2004](#) por el que se fija el marco para la creación del cielo único europeo (Reglamento marco); **Reglamento (CE) nº 550/2004 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 10 de marzo de 2004, relativo a la prestación de servicios de navegación aérea en el cielo único europeo;** Reglamento (CE) nº 551/2004 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 10 de marzo de 2004, relativo a la organización y utilización del espacio aéreo en el cielo único europeo (Reglamento del espacio aéreo)
- [2] SESAR (2020), [Plan maestro ATM europeo.](#)
- [3] EU (2019), de 24 de enero de 2019, por el que se establecen disposiciones de aplicación de las funciones de la red de gestión del tránsito aéreo (ATM).
- [4] UE (2019), [Decisión de Ejecución \(UE\) 2019/709](#) de 6 de mayo de 2019, sobre el nombramiento del gestor de la red para las funciones de la red de gestión del tránsito aéreo (ATM) del cielo único europeo.
- [5] UE (2021), [Reglamento \(UE\) 2021/2085](#) de 19 de noviembre de 2021 por el que se establecen las empresas comunes en el marco de Horizonte Europa.
- [6] UE (2019), [Reglamento \(UE\) 2019/317](#) de 11 de febrero de 2019, por el que se establece un sistema de evaluación del rendimiento y de tarificación en el cielo único europeo.
- [7] PRB (2019), [Informe de supervisión del PRB 2020.](#)
- [8] UE (2005), [Reglamento \(CE\) No 2150/2005](#) de 23 de diciembre de 2005 por el que se establecen normas comunes para la utilización flexible del espacio aéreo.
- [9] UE (2020), [Reglamento \(UE\) 2020/1627](#) de 3 de noviembre de 2020 sobre medidas excepcionales para el tercer período de referencia (2020-2024).
- [10] EUROCONTROL (2022), [Documento de Disponibilidad de Rutas \(RAD\).](#)
- [11] [EUROCONTROL \(2021\), Evaluación medioambiental: Estudio sobre la ineficiencia del combustible en la red europea de ATM.](#)
- [12] EUROCONTROL (2019), [Tankering de combustible: beneficios económicos e impacto medioambiental.](#)
- [13] [ICAO \(2014\), Oportunidades operativas para reducir el consumo de combustible y las emisiones \(Doc 10013\).](#)
- [14] [Gestor de la red de EUROCONTROL \(2022\), Rendimiento operativo optimizado.](#)
- [15] EUROCONTROL (2022), [Espacio aéreo de Free Route.](#)
- [16] EUOCONTROL (2021), [Plan de Mejora de la Red Europea de Rutas \(ERNIP\) - Parte 2.](#)

- [17] EUROCONTROL (2020), [Plan de Acción Europeo de Operaciones Continuas de Ascenso y Descenso](#).
- [18] EUROCONTROL (2022), [Eficiencia del vuelo vertical en los aeropuertos](#).
- [19] Proyecto SESAR Dreams (2020), [Intercambio de información sobre la trayectoria inicial](#).
- [20] EUROCONTROL (2022), [Zona de aprendizaje de EUROCONTROL](#).
- [21] SESAR (2021), [Catálogo de soluciones SESAR](#) para trazar el progreso hacia el Cielo Digital Europeo.
- [22] SESAR (2020), Proyecto [Albatross](#).
- [23] SESAR (2021), [SESAR 3 Joint Undertaking Multiannual Work Programme 2022-2031 \(Programa de trabajo plurianual de la empresa común SESAR 3 para 2022-2031\)](#).
- [24] Gestor del despliegue de SESAR (2022), [Gestor del despliegue de SESAR](#).
- [25] UE (2021), [Reglamento \(EU\) 2021/116](#) – Reglamento relative al Proyecto Común Uno.
- [26] SESAR (2022), [SORT](#) - Mejora del rendimiento de las pistas en un aeropuerto.
- [27] SESAR (2022), [ADSCENSIO](#) - ADS-C Permite y facilita las mejora de las operaciones ATM.
- [28] SESAR (2021), [Airbus - Fello'fly](#).
- [30] EUROCONTROL (2024), [Panel interactivo CO₂MPASS](#).
- [31] EUROCONTROL (2023), [Impacto de las huelgas en la aviación europea](#).
- [32] SESAR (2021), [Catálogo de soluciones SESAR](#).
- [33] SESAR (2024), [Documento dinámico de disponibilidad de rutas \(RAD\)](#).
- [35] SESAR (2024), [Plan de operaciones aeroportuarias \(AOP\)](#).
- [36] UE(2021), [Reglamento básico único SESAR](#).
- [37] UE(2013), [Marco de despliegue de SESAR](#).
- [38] SESAR (2022), [Programa de despliegue de SESAR 2022](#).
- [39] EUROCONTROL (2025), [Área de EUROCONTROL](#).
- [40] SESAR (2025), [Gestor del despliegue de SESAR](#).
- [41] PRB(2024), informe del PRB: https://eu-single-sky.transport.ec.europa.eu/news/prb-advice-union-wide-targets-rp4-feedback-period-draft-commission-implementing-decision-opened-2024-03-25_en

[42] CE (2024), Decisión de Ejecución (UE) 2024/1688 de la Comisión de 12 de junio de 2024 por la que se establecen los objetivos de rendimiento a escala de la Unión para la red de gestión del tránsito aéreo correspondientes al cuarto período de referencia, comprendido entre el 1 de enero de 2025 y el 31 de diciembre de 2029.

[43] PRB (2024), Sistema de semáforos para el rendimiento medioambiental 2023.

2.4. MEDIDAS BASADAS EN EL MERCADO

Las medidas basadas en el mercado incentivan la reducción de emisiones “dentro del sector” a partir de la tecnología, las medidas operativas y los combustibles de aviación sostenibles, al tiempo que abordan las emisiones residuales a través de medidas “fuera del sector”.

Los sistemas de comercio de derechos de emisión (p. ej., el ETS) tienen un límite de emisiones de gases de efecto invernadero que cubre varios sectores económicos, mientras que los sistemas de compensación (p. ej., CORSIA) compensan las emisiones a través de reducciones en otros sectores, pero sin un límite asociado.

Entre 2013 y 2023, el EU ETS consiguió una reducción neta de 206 Tm de emisiones de CO2 en aviación mediante la financiación de reducciones de emisiones en otros sectores, 47 Tm de las cuales se lograron entre 2021 y 2023.

Los precios de los derechos de emisión del EU ETS han aumentado en los últimos años, alcanzando un precio medio anual de más de 80 euros por tonelada de CO2 en 2022 y 2023.

Se acordaron revisiones del EU ETS en 2023, incluida una eliminación gradual de los derechos gratuitos para las aerolíneas y una reducción del límite de emisiones de la aviación a partir de 2024.

El seguimiento, notificación y verificación de las emisiones de CO2 en el marco del CORSIA comenzó en 2019. A partir de 2025, 128 de los 193 Estados de la OACI se han ofrecido voluntarios para participar en el sistema de compensación CORSIA.

Se espera que la compensación bajo el esquema CORSIA comience en 2024. Se prevé compensar un total de 19Tm de emisiones de CO2 en vuelos con origen en Europa durante la primera fase de CORSIA en 2024-2026.

Ya se han autorizado las primeras unidades de emisiones para su uso en CORSIA, cumpliendo las normas de la UNFCCC para evitar la doble contabilización de las reducciones de emisiones.

Se está desarrollando tecnología para capturar carbono del aire y almacenarlo bajo tierra para apoyar los esfuerzos más amplios de descarbonización del sector de la aviación.

Se ha modificado la iniciativa de financiación sostenible del Sistema de Taxonomía de la UE para añadir las actividades de aviación.

No se ha llegado a un acuerdo sobre las propuestas de revisión de la Directiva de Fiscalidad de la Energía para introducir tipos impositivos mínimos para los vuelos intracomunitarios de pasajeros.

Se espera que los objetivos futuros para abordar el impacto climático del sector de la aviación se alcancen mediante medidas internas del sector (tecnología, operaciones, combustibles) incentivadas por medidas basadas en el mercado (MBM) a través de la tarificación de las emisiones de carbono. En este capítulo se ofrece una visión general de las principales MBM que se han puesto en marcha para el sector de la aviación, incluidos el Régimen Comunitario de Comercio de Derechos de Emisión

(ETS) y el Sistema de Compensación y Reducción de Emisiones de Carbono para la Aviación Internacional (CORSIA) de la OACI, así como otras iniciativas de financiación sostenible.

2.4.1. RÉGIMEN DE COMERCIO DE DERECHOS DE EMISIÓN DE LA UE

La piedra angular de la política de la UE para combatir el cambio climático es el Régimen de Comercio de Derechos de Emisión de la UE. Varios sectores económicos (por ejemplo, la energía, la calefacción, las industrias de fabricación, el transporte marítimo y la aviación) se han incluido en este sistema de comercio de derechos de emisión con fijación previa de límites máximos para incentivar la reducción de CO₂ en cada sector, o mediante el comercio de derechos con otros sectores económicos incluidos en el EU ETS en los que los costes de reducción de las emisiones son más bajos.

2.4.1.1. La aviación y el EU ETS

La UE decidió incluir las actividades de aviación en el régimen EU ETS en 2008 [1], y el sistema comenzó a aplicarse a las actividades de aviación en 2012. Por tanto, están sujetas al objetivo de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero de la UE de al menos un 55% para 2030 en comparación con 1990. El ámbito de aplicación inicial del EU ETS abarcaba todos los vuelos con destino u origen en aeropuertos del Espacio Económico Europeo (EEE)³⁵. Sin embargo, los vuelos con origen o destino en aeropuertos de países no pertenecientes al EEE o de las regiones ultraperiféricas quedaron posteriormente excluidos hasta finales de 2023 mediante una excepción temporal. Esta exclusión facilitó la negociación de una medida global basada en el mercado para las emisiones de la aviación internacional en la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI).

En julio de 2021, la Comisión Europea adoptó el paquete legislativo "Fit for 55" para adecuar las políticas climáticas, energéticas, de transporte y fiscales de la UE a la consecución del objetivo de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero para 2030. Este paquete incluía propuestas de modificación de la Directiva EU ETS de la Unión para las actividades de aviación, que entraron en vigor el 5 de junio de 2023 [2]. Los principales cambios del régimen EU ETS de aviación entrarán en vigor a partir de 2024, y entre ellos se incluyen los siguientes:

- Aplicar el EU ETS a los vuelos dentro de los países del Espacio Económico Europeo y entre ellos, así como a los vuelos con destino a Suiza y al Reino Unido., Además aplicar CORSIA a los vuelos con destino a terceros países y procedentes de ellos.
- Aplicar el régimen EU ETS a los vuelos entre países del Espacio Económico Europeo y a las regiones ultraperiféricas, así como entre las regiones ultraperiféricas, a menos que sean vuelos de conexión con el territorio continental del Estado miembro respectivo. El EU ETS también se aplica a los vuelos desde las regiones ultraperiféricas a Suiza y el Reino Unido.
- Supresión gradual de la asignación gratuita del EU ETS a las compañías

³⁵ El Espacio Económico Europeo incluye a los 27 Estados miembros de la UE (EU27), Noruega, Islandia y Liechtenstein.

aéreas de la siguiente manera: 25% en 2024; 50% en 2025; y 100% a partir de 2026, lo que significa la subasta completa de los derechos de emisión de la UE al sector de la aviación a partir de 2026. La asignación gratuita para los años 2024 y 2025 se distribuirá en función de la cuota de emisiones verificadas de los operadores aéreos en el año 2023.

- Aplicación de un factor de reducción lineal anual del 4,3% a los derechos de emisión de la UE expedidos para la aviación a partir de 2024.
- Creación de un nuevo régimen de incentivos para los combustibles de aviación sostenibles (SAF). Para el período comprendido entre 2024 y 2030, se asignará a los operadores de aeronaves un máximo de 20 millones de derechos de emisión de ETS para el aumento del SAF con el fin de cubrir una parte o la totalidad de la diferencia de precio entre el SAF y el queroseno fósil, en función del tipo de SAF utilizado.
- Creación de un sistema de seguimiento, notificación y verificación de los efectos de la aviación distintos del CO₂³⁶.
- Evaluación de los resultados medioambientales del CORSIA después de la Asamblea de la OACI de 2025. Cada tres años, la Comisión informará en 2026 sobre los avances en las negociaciones de la OACI, acompañando los avances con propuestas legislativas, cuando sea pertinente.

Las modificaciones más detalladas de la Directiva ET ETS se aplican mediante diversos actos delegados y de ejecución, a los que se hace referencia en la propia Directiva.

La vinculación del EU ETS a otros regímenes de comercio de derechos de emisión está permitida siempre que dichos regímenes sean compatibles, obligatorios y tengan un límite de emisiones absoluto. El 1 de enero de 2020 entró en vigor un acuerdo para vincular los sistemas de la UE y Suiza. Desde entonces, los vuelos desde la zona del EEE a Suiza están sujetos al régimen EU ETS, y los vuelos desde Suiza a los países del EEE están sujetos al ETS suizo. Los derechos de emisión de ambos sistemas pueden utilizarse para compensar las emisiones que se produzcan en cualquiera de ellos.

El Servicio de Información sobre Gestión Medioambiental (EMIS) de EUROCONTROL, que sustituyó al Mecanismo de Apoyo al EU ETS en 2023, sigue proporcionando a 28 Estados acceso a los datos relacionados con el EU ETS y el CORSIA de la OACI, así como a los datos de tráfico y emisiones de más de 400 operadores aéreos.

2.4.1.2. Emisiones históricas y previstas de la aviación en el marco del EU ETS

La cantidad total inicial de derechos de emisión de la aviación en el EU ETS en 2012 fue del 95% de las emisiones anuales medias entre 2004 y 2006 de los vuelos incluidos en el ámbito de aplicación del ETS (todos los vuelos con origen o destino en el Espacio Económico Europeo), lo que representa 221,4 millones de toneladas (Tm) de CO₂ al año. Los EUAA emitidos para las actividades de aviación en la tercera fase

del ETS (2013-2020) se ajustaron al ámbito de aplicación. Mientras que los operadores de aeronaves pueden utilizar los EUAA, así como los derechos de emisión de la UE (EUAs) de los sectores estacionarios, las instalaciones estacionarias no están autorizadas a utilizar los EUAA. Además, los operadores de aeronaves tenían derecho a utilizar determinados créditos internacionales (CER en inglés) hasta 2020, hasta un máximo del 1,5% de sus emisiones verificadas. En 2023, había 254 operadores de aeronaves que notificaron un total de 53 millones de toneladas (Tm) de emisiones de CO₂ en el marco del EU ETS.

Los operadores aéreos deben notificar anualmente los datos de emisiones verificadas de los vuelos cubiertos por este régimen. Como se muestra en la Ilustración 4.1, las emisiones totales verificadas de CO₂ de la aviación comprendidas en el EU ETS aumentaron de 53,5 Tm en 2013 a 68,2 Tm en 2019. Esto implica un aumento medio de las emisiones de CO₂ del 4,15 % anual. El impacto de la pandemia de COVID-19 en la aviación internacional hizo que esta cifra decayese a 25,3 Tm en 2020, lo que representa una disminución del 63% con respecto a los niveles de 2019. De 2013 a 2020, la cantidad de EUAA anuales emitidos fue de alrededor de 38,3 Tm, de los cuales alrededor del 15% han sido subastados por los Estados miembros, mientras que el 85% han sido asignadas gratuitamente. La compra de EUA por el sector de la aviación para superar los EUAA emitidos pasó de 20,4 Tm en 2013 a 32,4 Tm en 2019 contribuyendo así a una reducción de alrededor de 155,6 Tm de emisiones de CO₂ de otros sectores durante 2013-2019. Como consecuencia de la pandemia de COVID-19, las emisiones verificadas de 25,3 Tm en 2020 se situaron por primera vez por debajo de los derechos asignados libremente (véase la Ilustración 4.1).

Desde 2021, se ha observado una recuperación gradual de las actividades de aviación: las emisiones totales verificadas de CO₂ de la aviación comprendidas en el EU ETS en 2021, 2022 y 2023 fueron de 27,7Tm, 48,8Tm y 53,0Tm respectivamente. Los derechos de emisión gratuitos asignados al sector de la aviación fueron de 23,9 millones de toneladas en 2021, de 23,1 millones de toneladas en 2022 y de 22,5 millones de toneladas en 2023. Tras el repunte de las emisiones de CO₂ de la aviación a raíz de la pandemia de COVID-19, el sector volvió a ser comprador neto de EUA en 2022 (22,0Tm) y en 2023 (24,8Tm). Desde 2021 hasta 2023, se ha aplicado un factor de reducción lineal del 2,2% a los derechos expedidos para la aviación, y este factor aumentará hasta el 4,3% para el período 2024-2027.

Como se muestra también en la Ilustración 4.1, se espera que las emisiones de CO₂ previstas en el marco del ETS para la aviación crezcan hasta 59,5 Tm en 2026. Con la eliminación gradual de los derechos de emisión gratuitos para el sector de la aviación, se prevé que la cantidad anual de EUA asignados gratuitamente para la aviación se reduzca de 16,1 Tm en 2024 a 10,7Tm en 2025, y pase a cero a partir de 2026. Se espera que la compra de EUA aumente de 27,1 Tm en 2024 a 28,7 Tm en 2026. Los beneficios en materia de emisiones derivados de la demanda de combustibles de aviación sostenibles (SAF) podrían crecer de 0,5 Tm en 2024 a 1,7 Tm en 2026, suponiendo unas cero emisiones gracias a los SAF según la Directiva EU ETS. Asimismo, se podría producir una reducción relativa de la demanda en el

sector de la aviación durante los años 2024-2026 de 9,8 Tm como resultado del precio del carbono debido al EU ETS³⁷.

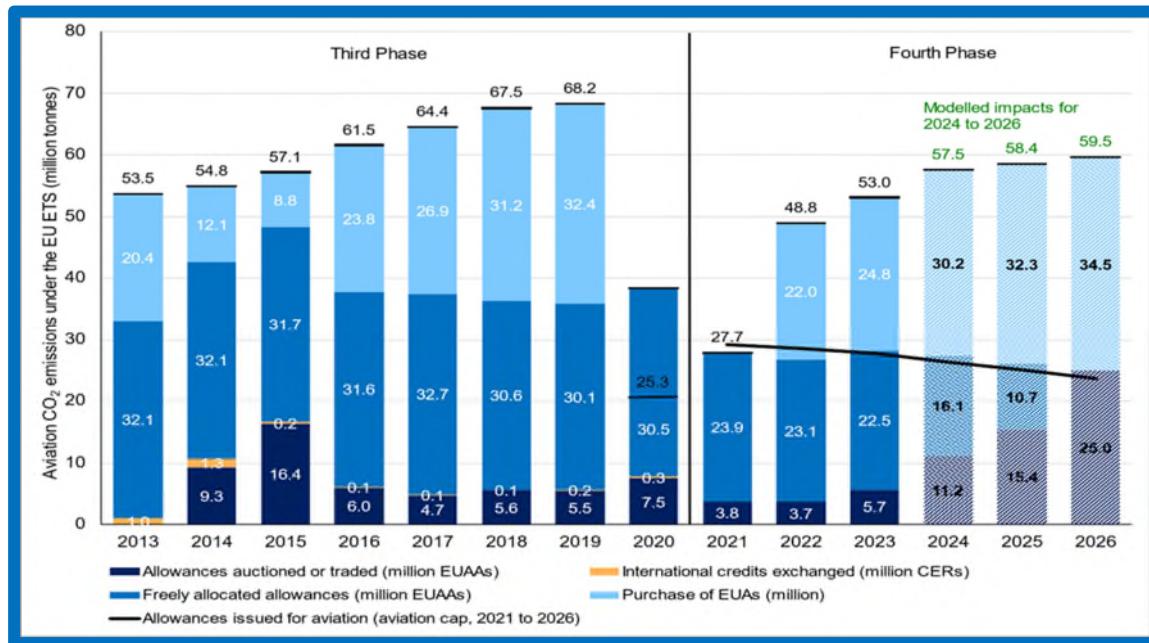


Ilustración 34. Emisiones de CO₂ de la aviación con arreglo al EU ETS en 2013-2023 e impacto modelizado de la Directiva ETS revisada para los años 2024-2026, donde 1 EUAA/EUA equivale a 1 tonelada de emisiones de CO₂

Fuente: European State Action Plans for CO₂ emissions reduction – 5th Edition of the ECAC/EU guidelines

Nota: Los datos de la Ilustración 41 reflejan los años en los que los EUAA se lanzaron al mercado. Esto se aplica especialmente a los derechos atribuibles a los años 2013, 2014 y 2015, que se subastaron todos en 2015. Las subastas de EUAA de 2014 se refieren a la subasta de EUAA debida al aplazamiento de las subastas de 2012. Modelo de datos elaborado para los años 2024-2026 a partir del modelo AERO-MS actualizado.

Como se muestra en la Ilustración 42, el precio medio anual del carbono del EU ETS varió entre 4 y 30 euros por tonelada de CO₂ durante el período 2013-2020. Por tanto, los costes totales de los operadores aéreos vinculados a la compra de derechos de emisión de la UE (EUA) han pasado de unos 84 millones de euros en 2013 a unos 955 millones de euros en 2019. Desde 2021, el precio de los EUA ha aumentado significativamente, alcanzando precios medios anuales de EUA superiores a 80 euros en 2022 y 2023, lo que se traduce en unos costes totales para los operadores de aeronaves de aproximadamente 1 800 millones de euros en 2022 y 2.100 millones de euros en 2023. A principios de 2022 y de nuevo en 2023 se observaron precios máximos de los EUA superiores a 90 euros por tonelada de CO₂. Para el período 2024-

³⁷ Estimación a partir del modelo AERO-MS de EASA. Véase el Apéndice C para más detalles.

2026, se calcula que el coste del ETS podría representar entre el 4% y el 6% de los costes operativos anuales totales de las aerolíneas³⁸.

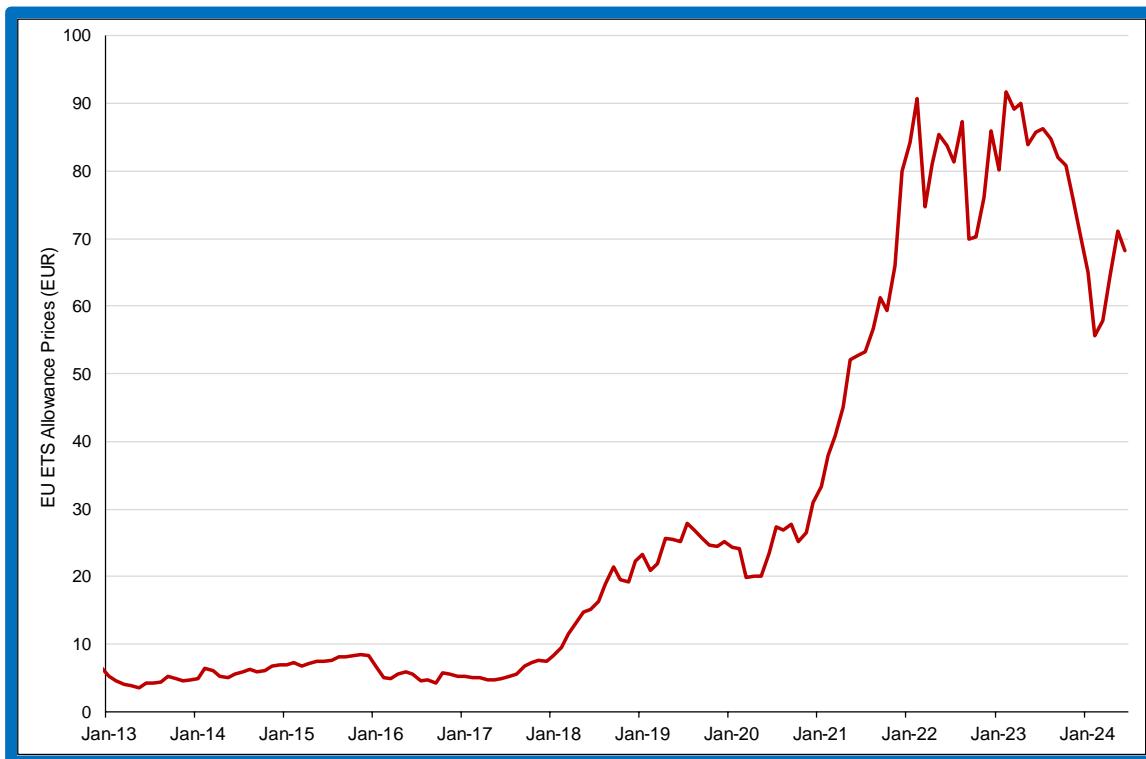


Ilustración 35. Precios de los derechos de emisión del EU ETS (2013-2024)

Fuente: European State Action Plans for CO₂ emissions reduction – 5th Edition of the ECAC/EU guidelines

De 2024 a 2030, las compañías aéreas podrán solicitar derechos de emisión adicionales para cubrir una parte o la totalidad del diferencial de precios entre el uso de queroseno fósil y SAF en sus vuelos cubiertos por el EU ETS. Se reservará una cantidad máxima de 20 millones de derechos de emisión para ese mecanismo de apoyo, y las compañías aéreas podrán solicitar su asignación anualmente. La Comisión calculará anualmente las diferencias de precios, teniendo en cuenta la información facilitada en el informe anual ReFuelEU Aviation de EASA.

Modelo europeo para evaluar el impacto de las medidas basadas en el mercado

El modelo AERO-MS de EASA se desarrolló para evaluar las repercusiones económicas y medioambientales de una amplia gama de opciones políticas para reducir las emisiones



³⁸ Estimación a partir del modelo AERO-MS de EASA.

de GHG de la aviación internacional y nacional. Estas políticas incluyen los impuestos (por ejemplo, sobre el combustible y los billetes), las medidas basadas en el mercado (p. ej., EU ETS, CORSIA) y la introducción de combustibles de aviación sostenibles y mejoras en la gestión del tráfico aéreo. El modelo puede proporcionar información sobre el efecto de las opciones políticas tanto en el ámbito de la oferta como en el de la demanda de viajes aéreos debido al aumento de los precios, y el impacto previsto en la reducción de emisiones.

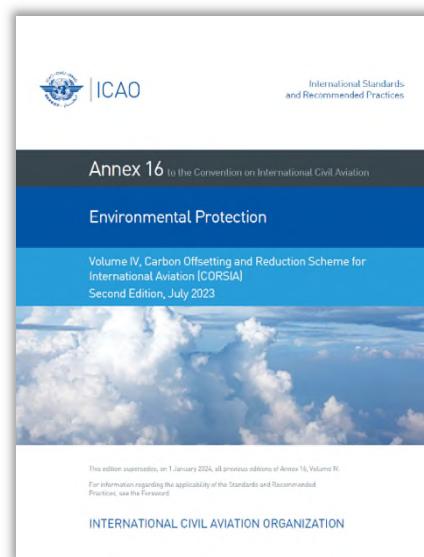
En los últimos 20 años, el AERO-MS ha sido una parte clave de más de 40 estudios internacionales en los que los resultados del modelo han informado los debates y decisiones políticas. Entre los beneficiarios del AERO-MS se cuentan un amplio abanico de organizaciones, como la Comisión Europea, los Estados miembros, EASA, IATA, la OACI, la industria de la aviación y las ONG. Como parte de un proyecto financiado por el programa de investigación Horizonte 2020 de la UE, en 2024 se completó una actualización de AERO-MS para mejorar sus capacidades de cara a futuros estudios. Esto incluyó 2019 como un nuevo año base de tráfico y emisiones, la información más reciente sobre elasticidades de precios, la adición de la modelización de emisiones de partículas y la inclusión de los impactos de SAF. Los resultados de los modelos AERO-MS se han utilizado como datos de varias imágenes incluidas en este capítulo.

2.4.2. PLAN DE COMPENSACIÓN Y REDUCCIÓN DE LAS EMISIONES DE CARBONO DE LA AVIACIÓN INTERNACIONAL (CORSIA)

Antecedentes

En 2016, la 39^a Asamblea General de la OACI reconfirmó el objetivo aspiracional de 2013 de estabilizar las emisiones de CO₂ de la aviación internacional en los niveles de 2020. En vista de ello, los Estados de la OACI adoptaron la Resolución A39-3, que introdujo una medida mundial basada en el mercado denominada “Plan de compensación y reducción de las emisiones de carbono para la aviación internacional” (CORSIA). Las Resoluciones de la Asamblea de la OACI se reevalúan cada tres años, y la actual Resolución A41-22 para la aplicación del CORSIA fue adoptada por la 41^a Asamblea de la OACI en 2022, tras el resultado de la primera revisión periódica del CORSIA por el Consejo de la OACI [3].

El CORSIA se aplica a través de las normas y prácticas recomendadas (SARP) de la OACI que figuran en el volumen IV del anexo 16 de la OACI, cuya primera edición entró en vigor el 1 de enero de 2019. En marzo de 2023, el Consejo aprobó la 2^a Edición del Volumen IV, que entró en vigor el 1 de enero de 2024. Hubo dos fuentes principales para las actualizaciones de la 2^a Edición: enmiendas técnicas derivadas de la 12^a reunión del Comité sobre la Protección del Medio Ambiente y la Aviación (CAEP) de la OACI, celebrada en febrero de 2022, y enmiendas consecuentes para reflejar el resultado de la 41^a Asamblea de la OACI, celebrada en octubre de 2022.



12^a reunión del CAEP de la OACI

- Aclaración de cuestiones técnicas relacionadas con las disposiciones sobre seguimiento, notificación y verificación.
- Definición de un umbral de compensación de 3.000 toneladas de requisitos de compensación por ciclo de cumplimiento de 3 años para operadores de aeronaves con bajos niveles de actividad de aviación internacional.
- Aclaración sobre el cálculo de los requisitos de compensación para los nuevos operadores de aeronaves que no cumplan los requisitos para ser considerados nuevos emisores.
- Alineación de los contenidos relacionados con la verificación con las últimas ediciones aplicables de los documentos de la Organización Internacional de Normalización (ISO) a los que se hace referencia en el Anexo 16, Volumen IV.

41^a Asamblea de la OACI

- Uso de las emisiones de 2019 como emisiones de referencia del CORSIA para los años de la fase piloto en 2021-2023; y el 85% de las emisiones de 2019 después de la fase piloto en 2024-2035.
- Decisión sobre la parte de los factores de crecimiento individuales/sectoriales: 100% de factor de crecimiento sectorial hasta 2032; 85% de factor de crecimiento sectorial/15% de factor de crecimiento individual en 2033-2035.
- Uso de las emisiones de 2019 para determinar el umbral de los nuevos operadores.

Los SARP se basan en material orientativo incluido en el Manual Técnico Medioambiental (Doc 9501), Volumen IV y los denominados "Elementos de aplicación", a los que se hace referencia directa en los SARP [4]. Los Estados miembros de la OACI deben modificar sus reglamentaciones nacionales en consonancia con los SARP modificados, si es necesario.

Participación europea en CORSIA

En consonancia con la “Declaración de Bratislava” firmada el 3 de septiembre de 2016, y tras la adopción del Consejo de la OACI de los SARP del CORSIA, los Estados miembros de la UE y los demás Estados miembros de la Conferencia Europea de Aviación Civil (CEAC) notificaron a la OACI su intención de participar voluntariamente en el régimen de compensación CORSIA desde el inicio de la fase piloto en 2021. Esta participación estaba sujeta al cumplimiento de determinadas condiciones, en particular, aquellas relacionadas con la integridad medioambiental del sistema y la participación mundial. Los Estados miembros de la UE han aplicado las disposiciones de MRV de CORSIA desde 2019 y, de conformidad con la Directiva revisada sobre el RCDE de la UE, están aplicando los requisitos de compensación CORSIA desde 2021 para las rutas entre el Espacio Económico Europeo (EEE) y los Estados que participan en la compensación de CORSIA, así como para los vuelos entre dos de esos Estados³⁹. La aplicación de las normas de seguimiento, notificación y verificación del CORSIA en la UE se ha llevado a cabo a través de los Reglamentos ETS pertinentes [5, 6, 7].

2.4.2.1. Ámbito de aplicación y calendario del CORSIA

El CORSIA funciona con un enfoque basado en las rutas y se aplica a los vuelos internacionales, es decir, los vuelos entre dos Estados de la OACI. Una ruta está cubierta por los requisitos de compensación CORSIA si tanto el Estado de salida como el de destino participan en el régimen y es aplicable a todos los operadores de aeronaves en la ruta (es decir, independientemente del Estado administrador).

Todos los operadores aéreos con vuelos internacionales que produzcan emisiones anuales de CO2 superiores a 10.000 toneladas procedentes de aviones con una masa máxima de despegue superior a 5.700 kg, están obligados a controlar, verificar y notificar anualmente sus emisiones de CO2 a partir de 2019. Las emisiones de CO2 notificadas para el año 2019 representan la base de referencia para un crecimiento neutro en carbono para la fase piloto de CORSIA (2021-2023), mientras que para las fases primera y segunda en 2024-2035, la base de referencia es el 85% de las emisiones de CO2 notificadas para el año 2019. El sector de la aviación está obligado a compensar cualquier emisión internacional de CO2 comprendida en los requisitos de compensación del CORSIA que supere estos niveles de referencia.

CORSIA incluye tres fases de aplicación. Durante la fase piloto y la primera, los requisitos de compensación solo serán aplicables a los vuelos entre Estados que se hayan ofrecido voluntariamente a participar en la compensación CORSIA. Se ha producido un aumento gradual del número de



- Participation of States in the pilot phase (2021 to 2023) and first phase (2024 to 2026) is voluntary.
- For the second phase from 2027, all States with an individual share of international aviation activity in year 2018 above 0.5% of total activity or whose cumulative share reaches 90% of total activity, are included. Least Developed Countries, Small Island Developing States and Landlocked Developing Countries are exempt unless they volunteer to participate.

³⁹ De conformidad con la Directiva ETS, el EU ETS se aplica a los vuelos dentro del Espacio Económico Europeo y entre países del mismo, así como a los vuelos de salida hacia Suiza y Reino Unido.

Estados que se han ofrecido voluntarios para participar en la compensación CORSIA, pasando de 88 Estados en 2021 a 129 en 2025 [8]. La segunda fase se aplica a todos los Estados miembros de la OACI, con algunas excepciones.

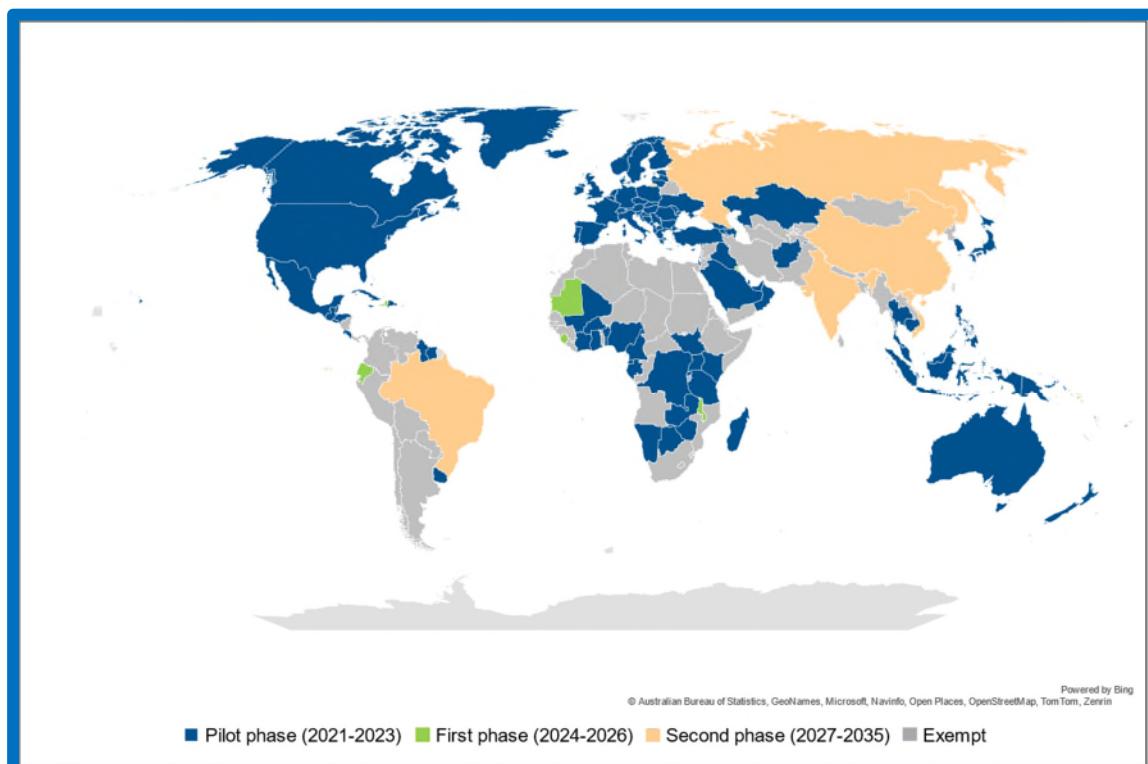


Ilustración 36. Participación de los Estados miembros de la OACI en la compensación CORSIA en varias fases

Fuente: *European State Action Plans for CO₂ emissions reduction – 5th Edition of the ECAC/EU guidelines*

Debido al cambio de la referencia CORSIA a las emisiones de 2019 para los años 2021-2023, y al hecho de que las emisiones de la aviación internacional cubiertas por rutas entre dos Estados que se han adherido voluntariamente a la compensación CORSIA no han alcanzado los niveles de 2019 en 2023, no ha habido ningún requisito de compensación a las aerolíneas por parte de CORSIA durante la fase piloto. La Ilustración 44 ilustra las emisiones de CO₂ notificadas de todos los vuelos internacionales (barras azules) y un subconjunto de estas emisiones (barras verdes) entre Estados que se han adherido voluntariamente a la compensación CORSIA en los años respectivos. Para los años 2021-2023, las emisiones de referencia de CORSIA son las emisiones totales de CO₂ cubiertas por la compensación de CORSIA en 2019. Estas emisiones de referencia se volverán a calcular para cada año en función de las rutas cubiertas por los requisitos de compensación de CORSIA en ese año.

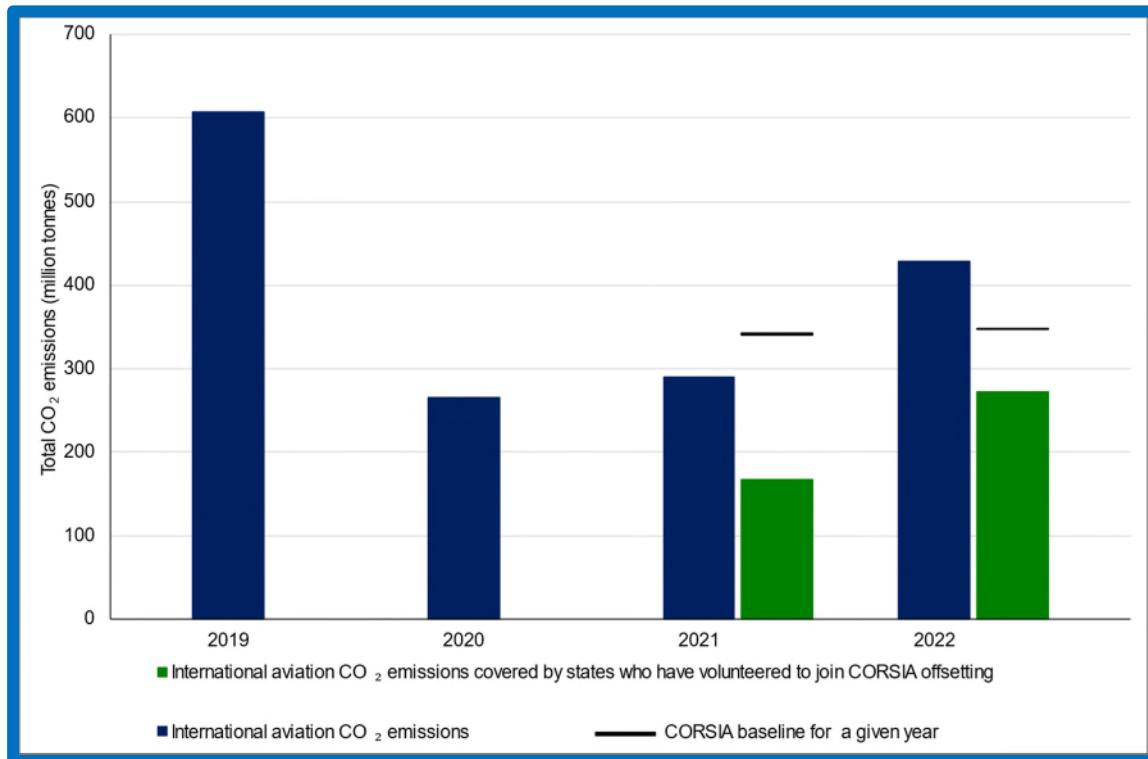


Ilustración 37. Emisiones de CO2 de la aviación internacional notificadas a través del Registro Central del CORSIA.

Fuente: *European State Action Plans for CO2 emissions reduction – 5th Edition of the ECAC/EU guidelines*

El EU ETS revisado se aplicará a los vuelos dentro de los países del Espacio Económico Europeo y entre ellos, así como a los vuelos de salida hacia Suiza y Reino Unido, al tiempo que se aplicará la compensación CORSIA a los vuelos hacia, desde y entre terceros países que participen en el régimen de compensación CORSIA. Se calcula que los requisitos de compensación para los vuelos con origen en Europa aumentarán de 5,2 toneladas en 2024 a 7,3 toneladas en 2026 (Ilustración 4.5)⁴⁰.

⁴⁰ Estimación realizada con el modelo AERO-MS de EASA.

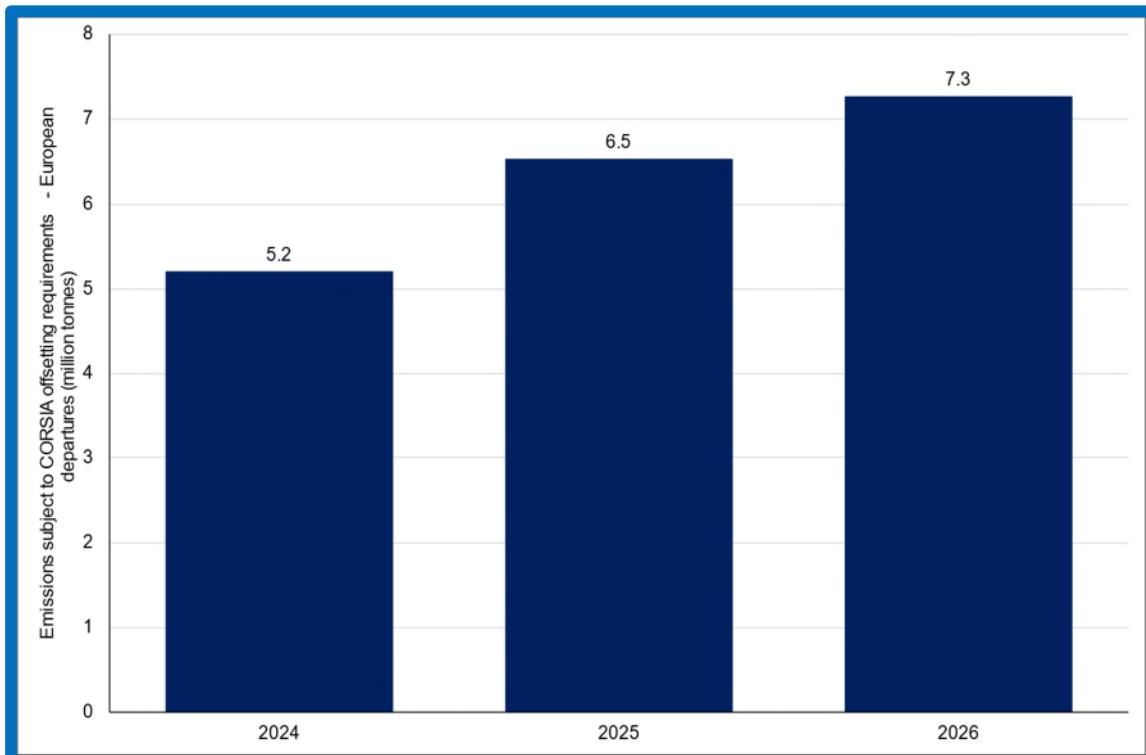


Ilustración 38. Emisiones de CO₂ de la aviación internacional notificadas a través del Registro Central del CORSIA.

Fuente: *European State Action Plans for CO₂ emissions reduction – 5th Edition of the ECAC/EU guidelines*

CORSIA en la práctica

Los vuelos internacionales incluidos en el ámbito de aplicación del CORSIA se atribuyen a un operador de aeronaves, y cada operador se atribuye a un Estado administrador al que debe presentar un Plan de Seguimiento de Emisiones. Desde el 1 de enero de 2019, un operador de aeronaves debe notificar sus emisiones anuales de CO₂ al Estado al que ha sido atribuido, independientemente de si tiene obligaciones de compensación. A partir del 1 de enero de 2021, el Estado calcula los requisitos anuales de compensación para cada operador multiplicando las emisiones de CO₂ del operador cubiertas por las obligaciones de compensación CORSIA por un Factor de Crecimiento. Para los años 2021-2032, el Factor de Crecimiento representa el porcentaje de crecimiento de las emisiones internacionales de CO₂ del sector de la aviación cubiertas por los requisitos de compensación del CORSIA en un año determinado en comparación con las emisiones de referencia del sector. Para el período 2033-2035, el Factor de Crecimiento se calcula utilizando el 85% del crecimiento del sector con respecto a la base de referencia y el 15% del crecimiento de cada operador de aeronaves con respecto a la base de referencia.

Al finalizar cada período de cumplimiento de 3 años (2021-2023, 2024-2026, etc.), un operador de aeronaves debe cumplir sus requisitos de compensación mediante la compra y cancelación de unidades de emisiones certificadas y conformes al CORSIA. Cada unidad de emisión representa una tonelada de CO₂ evitada o reducida. Para salvaguardar la integridad medioambiental de los créditos de compensación utilizados

en el marco del CORSIA, las unidades de emisión deben cumplir los Criterios para Unidades de Emisión aprobados por el Consejo de la OACI. El precio de una unidad de emisión elegible para el CORSIA ha variado mucho en función del tipo de proyecto (entre 0,50 y 45 \$/tCO₂e durante 2020-2021, con una media ponderada de 3,08 \$/tCO₂eq en 2021) [9]. Para el período 2024-2026, se calcula que el coste de la compra de créditos de compensación CORSIA se podría limitar al 0,07-0,15% de los costes operativos anuales totales de las aerolíneas. Los operadores aéreos también pueden reducir sus requisitos de compensación utilizando combustibles viables para CORSIA (CEF en inglés) que cumplan los criterios de sostenibilidad CORSIA, lo que implica al menos un 10% menos de emisiones de CO₂e en base al ciclo de vida en comparación con un valor de combustible fósil de referencia de 89,1g CO₂e/MJ.

La OACI ha creado un Órgano Técnico Asesor (TAB en inglés) para llevar a cabo la evaluación de los Programas de Unidades de Emisiones con respecto a los Criterios de Unidades de Emisiones aprobados, y para hacer recomendaciones anuales sobre su uso en el CORSIA. Hasta la fecha, basándose en las recomendaciones del TAB, el Consejo de la OACI ha aprobado 11 programas de unidades de emisiones para suministrar Unidades de Emisiones Elegibles CORSIA para la fase piloto de CORSIA en 2021-2023, y dos programas para suministrar Unidades para la primera fase en 2024-2026 [10].

Además de los proyectos de mitigación y reducción de emisiones, los proyectos diseñados para eliminar carbono de la atmósfera pueden incluir procesos de eliminación de carbono tanto naturales (por ejemplo, plantación de árboles) como tecnológicos (por ejemplo, captura directa de aire – DAC o captura y almacenamiento directo de carbono en aire – DACCS) y tienen el potencial de producir compensaciones de carbono de alta calidad en el futuro. Las tecnologías de captura y almacenamiento de carbono también podrían servir para la producción de combustibles de aviación sostenibles. La UE ha propuesto un marco de certificación de la eliminación de carbono [11], cuyo objetivo es aumentar las actividades de eliminación de carbono permitiendo a las empresas demostrar su actuación en este ámbito. Estas eliminaciones certificadas pueden ser potencialmente elegibles en sistemas como CORSIA o al compensar las emisiones internas de la aviación.

Con el fin de abordar las preocupaciones por un doble cómputo, en la reunión COP26 de la ONU de 2021 se adoptaron normas para los mercados internacionales de carbono en virtud del artículo 6 del Acuerdo de París. Estas normas exigen que un país anfitrión autorice créditos de carbono con "fines de mitigación internacional", como el CORSIA, y garantice que estas reducciones de emisiones no se utilicen para alcanzar su Contribución Determinada a Nivel Nacional (NDC en inglés) conforme a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC). Estas normas están diseñadas para garantizar que se realicen los ajustes correspondientes antes de que estas reducciones de emisiones se utilicen para demostrar el cumplimiento del régimen CORSIA. Los primeros anuncios de autorizaciones de créditos de carbono a efectos de cumplimiento del CORSIA se han observado a principios de 2024 [12].

Diferencias y similitudes entre el EU ETS y CORSIA

El EU ETS es un **sistema de comercio de derechos de emisión con fijación previa de límites máximos** que limita el número de derechos de emisión expedidos (*cap-and-trade*) y, por tanto, la cantidad total de emisiones de los sectores cubiertos por el sistema. En el RCCDE, estos sectores son los operadores de instalaciones fijas (calefacción, electricidad, industria, etc.), los operadores de transporte marítimo y los operadores de aeronaves. La suma total de derechos de emisión para la aviación en el EU ETS es el 95% de las emisiones medias entre 2004 y 2006, ajustadas al ámbito de aplicación y reducidas anualmente por el factor de reducción lineal. El número total de derechos de emisión es limitado y se reduce con el tiempo, lo que impulsa a los operadores que necesitan derechos adicionales a comprarlos en el mercado a otros sectores del sistema, por lo que se conoce como un sistema de fijación de límites y comercio. De este modo se garantiza el cumplimiento del **objetivo de disminución absoluta del nivel de emisiones de CO₂ a nivel del sistema**. Se espera que la Directiva EU ETS revisada conduzca a una reducción de las emisiones del 61% en 2030 en comparación con los niveles de 2005 para los sectores cubiertos por la Directiva. La oferta y la demanda de derechos de emisión establecen su precio en el marco del ETS y, cuanto más alto sea el precio, mayor será el incentivo para reducir las emisiones con el fin de evitar tener que comprar más derechos. Los operadores aéreos también pueden utilizar combustibles de aviación sostenibles para cumplir sus obligaciones de ETS.

El CORSIA de la OACI es un **sistema de compensación** con un objetivo de crecimiento neutro en carbono diseñado para garantizar que las emisiones de CO₂ de la aviación internacional no superen los niveles de 2019 en 2021-2023 y el 85% de los niveles de 2019 en 2024-2035. Para ello, los operadores aeronáuticos deberán comprar **créditos para compensar** las emisiones por encima de la línea de base CORSIA o utilizar combustibles viables según el CORSIA. La dispersión observada del coste de las unidades de emisión elegibles CORSIA ha sido elevada y dependiente de la categoría del proyecto.

Los derechos de emisión del EU ETS no se aceptan en el marco del CORSIA, y los créditos de compensación internacionales, incluidos los considerados admisibles en virtud del CORSIA, no se aceptan en el marco del EU ETS a partir del 1 de enero de 2021.

Tanto el EU ETS como el CORSIA incluyen sistemas similares de **Seguimiento, Notificación y Verificación** (MRV en inglés), cuyo objetivo es garantizar que la información sobre emisiones de CO₂ recogida a través de los sistemas sea sólida y fiable. El sistema MRV consta de tres componentes principales: en primer lugar, una compañía aérea debe elaborar un Plan de Seguimiento de Emisiones, que debe ser aprobado por una Autoridad Competente pertinente. Una vez aprobado el Plan, la compañía aérea **hará seguimiento** de sus emisiones de CO₂ mediante un método de seguimiento del consumo de combustible o una herramienta de estimación. La información necesaria sobre las emisiones de CO₂ se recopilará anualmente y las compañías aéreas la **notificarán** a sus Autoridades Competentes utilizando plantillas armonizadas. La **verificación** realizada por terceros de la información sobre emisiones de CO₂ garantiza que los datos notificados son correctos y no contienen errores. El verificador debe ser independiente de la compañía aérea, cumplir los

requisitos de las normas internacionales y estar acreditado para la tarea por un organismo nacional de acreditación.

2.4.3. INICIATIVAS DE FINANCIACIÓN SOSTENIBLE Y FISCALIDAD DE LA ENERGÍA

Además del EU ETS y el CORSIA, hay novedades normativas recientes en el ámbito de las finanzas sostenibles y la fiscalidad de la energía que son relevantes para el sector de la aviación, en particular la introducción de las actividades relacionadas con la aviación en el sistema de taxonomía de la UE, así como la propuesta de introducir tipos mínimos de imposición sobre el combustible para los vuelos intracomunitarios de pasajeros.

2.4.3.1. Taxonomía de la UE

Para orientar las inversiones hacia productos y actividades sostenibles, la UE ha introducido un sistema de clasificación o "Taxonomía de la UE". Se espera que esta Taxonomía de la UE desempeñe un papel crucial en el aumento de las inversiones sostenibles y la aplicación del Pacto Verde de la UE, proporcionando a las empresas, los inversores y los responsables políticos definiciones de las actividades económicas que pueden considerarse sostenibles desde el punto de vista medioambiental. En virtud del Reglamento sobre Taxonomía [13], se han desarrollado "Criterios Técnicos de Selección (TSC en inglés)" para actividades económicas en diversos sectores. Estos TSC determinan las condiciones en las que se puede considerar que una actividad económica ese ajusta a la Taxonomía y se deben revisar periódicamente, como mínimo cada 3 años.

El 9 de diciembre de 2021, se publicó en el Diario Oficial un primer acto delegado sobre actividades sostenibles para la mitigación del cambio climático y los objetivos de adaptación de la Taxonomía de la UE ("Acto delegado sobre el clima") [14]. Incluía la actividad sobre infraestructuras aeroportuarias con bajas emisiones de carbono, así como sobre la fabricación de hidrógeno y de combustibles sintéticos a base de hidrógeno.

El Acto Delegado sobre el Clima [15] se modificó en 2023 para incluir las siguientes actividades adicionales relacionadas con la aviación: fabricación de aeronaves, arrendamiento de aeronaves, transporte aéreo de pasajeros y mercancías y operaciones de asistencia en tierra del transporte aéreo.

Los nuevos TSC se centran en incentivar el desarrollo y la introducción en el mercado de aeronaves con cero emisiones directas (tubo de escape) de CO₂, y de las aeronaves mejores de su clase (véase la Ilustración 7.6, que presenta una parte de los Criterios Técnicos de Selección para las aeronaves que sean las "mejores de su clase"). Además, y como actividades transitorias, los TSC también incentivan la fabricación y adopción de aviones de última generación que sustituyan a los modelos más antiguos y menos eficientes en términos de consumo de combustible sin contribuir a la expansión de la flota. Los aviones de última generación se identifican

refiriéndose con cierto margen a la norma de CO₂ de la OACI para aviones de nuevo tipo, a varios otros requisitos y a criterios de “no causar perjuicio significativo al medio ambiente” (DNSH en inglés), incluidos los relativos a emisiones y ruido. Además, los TSC también hacen hincapié en la sustitución del combustible fósil para reactores por combustibles de aviación sostenibles (SAF) y en la preparación técnica de la flota de aeronaves para operar con un 100% de SAF.

2.4.3.2. Directiva de la UE sobre fiscalidad de la energía

El combustible de aviación, salvo el utilizado en vuelos privados de recreo, está actualmente exento de impuestos en virtud de la Directiva de la UE sobre imposición de los productos energéticos. Los Estados miembros de la UE podrían gravar el combustible utilizado en vuelos nacionales o en el transporte intracomunitario si así lo acordaran bilateralmente, aunque actualmente ninguno lo hace. Como parte del paquete legislativo “Fit for 55”, la Comisión Europea ha propuesto introducir unos tipos impositivos mínimos para los vuelos intracomunitarios de pasajeros que fomenten el cambio a combustibles sostenibles, así como a aviones más eficientes en el consumo de combustible [16]. Según la propuesta, el impuesto para el combustible de aviación se introduciría gradualmente a lo largo de un período de 10 años antes de alcanzar el tipo mínimo final de 10,75 euros/GJ (aproximadamente 0,38 euros por litro). En comparación, los combustibles de aviación sostenibles tendrían un tipo impositivo cero durante ese mismo período y después se beneficiarían de un tipo impositivo mínimo más bajo. Hasta la fecha no se ha llegado a un acuerdo sobre la Directiva final.

2.4.3.3. Compensación voluntaria

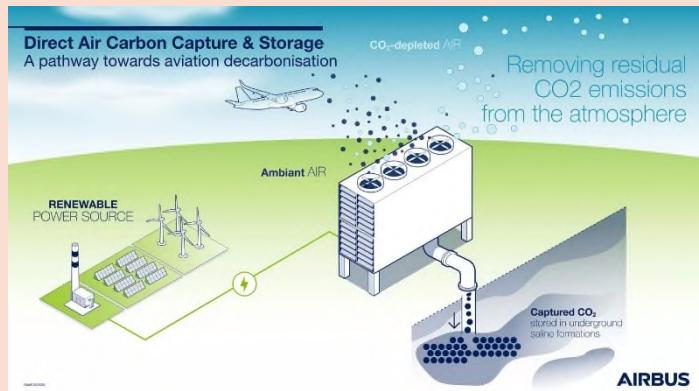
En los últimos años, algunas compañías aéreas han introducido iniciativas voluntarias de compensación destinadas a compensar, parcial o totalmente, las emisiones de CO₂ causadas por sus operaciones que no se mitigan con otras medidas. Estas iniciativas voluntarias tienen el potencial de contribuir a un sector de la aviación más sostenible, suponiendo que las inversiones se canalicen hacia créditos de compensación de alta calidad que cumplan determinados criterios de calidad, por ejemplo, que sean adicionales⁴¹. Sin embargo, se han recibido algunas críticas sobre la calidad de los créditos de compensación en este mercado voluntario no regulado, y también hay cierto escepticismo sobre que dicha actividad voluntaria mejore la sostenibilidad de la aviación [17, 18, 19].

⁴¹ “Adicionales” significa que los créditos de compensación de carbono representan reducciones de emisiones de gases de efecto invernadero o capturas o absorciones de carbono que superen cualquier reducción o absorción de gases de efecto invernadero exigida por ley, reglamento o mandato jurídicamente vinculante, y que superan cualquier reducción o absorción de gases de efecto invernadero que se produciría de otro modo en un escenario conservador y habitual, sin cambios. [20]

ACCIONES DE LAS PARTES INTERESADAS

Oferta de captura de carbono de Airbus (ACCO)

Airbus desarrolló ACCO con el objetivo de aportar a la industria de la aviación créditos de eliminación de dióxido de carbono de alta integridad medioambiental, escalables y asequibles. [21]. ACCO pretende apoyar la gestión de las emisiones de CO₂ restantes y residuales de los aviones con las últimas tecnologías de eliminación de carbono.



Como primer paso, Airbus se asoció con 1PointFive para explorar soluciones directas de captura y almacenamiento de carbono en el aire para la industria de la aviación. En concreto, 1PointFive está desarrollando una instalación a gran escala que se espera que capture 0,5 millones de toneladas de CO₂ al año a partir de 2025. Airbus se ha comprometido a adquirir 400.000 toneladas de captura de CO₂. El objetivo de esta iniciativa es apoyar los esfuerzos para descarbonizar y mitigar las emisiones de Alcance 3 de Airbus por el uso de sus productos vendidos, y también contribuye a los esfuerzos generales que ya están en marcha en toda la industria de la aviación.

List of resources

- [1] CE (2008), [Directiva 2008/101/EC](#) del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de noviembre de 2008, por la que se modifica la Directiva 2003/87/CE con el fin de incluir las actividades de aviación en el régimen comunitario de comercio de derechos de emisión de gases de efecto invernadero.
- [2] EU (2023), [Directiva \(UE\) 2023/958](#) del Parlamento Europeo y del Consejo de 10 de mayo de 2023 por la que se modifica la Directiva 2003/87/CE en lo que respecta a la contribución de la aviación al objetivo de la Unión de reducir las emisiones en el conjunto de la economía y a la adecuada aplicación de una medida de mercado mundial..
- [3] OACI (2022), [Resolución A41-22](#): Declaración consolidada de las políticas y prácticas continuas de la OACI relacionadas con la protección del medio ambiente — CORSIA.
- [4] OACI (2024), Elementos de aplicación de CORSIA de la OACI: [Elementos de aplicación de CORSIA \(icao.int\)](#)
- [5] EU (2024), [Reglamento de Ejecución \(UE\) 2018/2066](#) sobre el seguimiento y la notificación de las emisiones de gases de efecto invernadero en aplicación de la Directiva 2003/87/CE del Parlamento Europeo y del Consejo y por el que se modifica el Reglamento (UE) nº 601/2012 de la Comisión..
- [6] EU (2018), [Reglamento de Ejecución \(UE\) 2018/2067](#) relativo a la verificación de los datos y a la acreditación de los verificadores de conformidad con la Directiva 2003/87/CE del Parlamento Europeo y del Consejo.
- [7] UE (2019), [Reglamento Delegado \(UE\) 2019/1603](#) por el que se completa la Directiva 2003/87/CE del Parlamento Europeo y del Consejo en lo que respecta a las medidas adoptadas por la Organización de Aviación Civil Internacional para el seguimiento, la notificación y la verificación de las emisiones de la aviación a los efectos de la aplicación de una medida de mercado mundial..
- [8] OACI (2024), [Estados CORSIA para parejas de Estados del capítulo 3.](#)
- [9] [Ecosystem Marketplace \(2024\)](#), [Datos del mercado de carbono CORSIA.](#)
- [10] OACI (2024), [Unidades de emisión elegibles para el CORSIA.](#)
- [11] CE (2022), [Propuesta de REGLAMENTO DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO por el que se establece un marco de certificación de la Unión para la absorción de carbono.](#)
- [12] Gobierno de Guyana (2024), [Primeros créditos de carbono del mundo para su uso en el programa de cumplimiento de las aerolíneas de la ONU, CORSIA.](#)
- [13] UE (2020), [Reglamento \(UE\) 2020/852](#) del Parlamento Europeo y del Consejo de 18 de junio de 2020 relativo al establecimiento de un marco para facilitar

las inversiones sostenibles y por el que se modifica el Reglamento (UE) 2019/2088.

- [14] UE (2021), [Reglamento Delegado \(UE\) 2021/2139 de la Comisión](#) de 4 de junio de 2021, por el que se completa el Reglamento (UE) 2020/852 del Parlamento Europeo y del Consejo y por el que se establecen los criterios técnicos de selección para determinar las condiciones en las que se considera que una actividad económica contribuye de forma sustancial a la mitigación del cambio climático o a la adaptación al mismo, y para determinar si esa actividad económica no causa un perjuicio significativo a ninguno de los demás objetivos ambientales.
- [15] EU (2023), [Delegated Regulation \(EU\) 2023/2485](#) of 27 June 2023 amending Delegated Regulation (EU) 2021/2139 establishing additional technical screening criteria for determining the conditions under which certain economic activities qualify as contributing substantially to climate change mitigation or climate change adaptation and for determining whether those activities cause no significant harm to any of the other environmental objectives.
- [16] CE (2021), [Propuesta de DIRECTIVA DEL CONSEJO por la que se reestructura el régimen de la Unión de imposición de los productos energéticos y de la electricidad](#).
- [17] [Bloomberg \(2024\), La polémica que ha dividido el mercado de las compensaciones de carbono - BNN Bloomberg](#).
- [18] [Washington Post \(2023\), Las aerolíneas quieren que compres compensaciones de carbono. Los expertos opinan que son una "estafa" - The Washington Post](#).
- [19] De Mello, Fabiana Peixoto (2024), [Voluntary carbon offset programs in aviation: A systematic literature review, Transport Policy, Volume 147, Pages 158-168 \(Programas voluntarios de compensación de carbono en la aviación: una revisión sistemática de la literatura\)](#).
- [20] OACI (2019), [Criterios de elegibilidad de las unidades de emisión CORSIA](#).
- [21] Airbus (2024), [Oferta de captura de carbono de Airbus](#).

2.5. MEDIDAS ADICIONALES

Se están llevando a cabo importantes iniciativas aeroportuarias para invertir en la producción in situ de energía renovable para electrificar los equipos de apoyo en tierra, consiguiendo así mitigar el ruido y las emisiones.

La infraestructura aeroportuaria tendrá que adaptarse para acoger aeronaves con cargas de SAF y de emisiones cero (eléctricas, de hidrógeno) y cumplir los requisitos de la directiva ReFuelEU Aviation. Ya hay varios proyectos de investigación y mecanismos de financiación en vías de hacerlo.

Algunos aeropuertos están apoyando la adopción de los SAF mediante inversiones en producción, colaboración en la cadena de suministro, concienciación, incentivos financieros y compromiso político.

132 aeropuertos europeos han anunciado un objetivo de cero emisiones netas de CO2 para 2030 o antes, y 13 aeropuertos ya lo han alcanzado.

En 2023, se añadió un nuevo Nivel 5 al programa de Acreditación de Huella de Carbono en Aeropuertos que exige una reducción del 90% de las emisiones de CO2 de Alcance 1 y 2, una huella de carbono verificada y un Plan de Asociación con las Partes Interesadas que respalde el compromiso de cero emisiones netas de CO2 en el Alcance 3.

Para poder alcanzar los objetivos acordados para el futuro de cara a los retos medioambientales mundiales necesitamos cooperar a nivel global.

La cooperación internacional es un elemento clave para alcanzar el objetivo mundial de cero emisiones netas de CO2 para 2050, lo que incluye el objetivo de lograr una reducción del 5% de las emisiones de CO2 mediante el uso de combustibles de aviación sostenibles (SAF), combustibles de aviación bajos en carbono y otras energías de aviación más limpias para 2030.

Desde 2022, diversas entidades europeas (Estados, instituciones y otras partes interesadas) han destinado más de 20 millones de euros para apoyar iniciativas de protección del medio ambiente en aviación civil en África, Asia, América Latina y el Caribe.

La colaboración con los Estados socios ha contribuido a la correcta aplicación del plan de Seguimiento, Notificación y Verificación de CORSIA en más de 100 Estados y ha facilitado que nuevos Estados se unan a su piloto voluntario y a sus primeras fases.

El apoyo técnico contribuyó al desarrollo de un primer Plan de Acción Estatal o actualizado para la reducción de las emisiones de CO2 en 18 Estados, y a una mejor comprensión de los SAF y de las oportunidades que representan.

Se espera que los futuros esfuerzos con Estados socios en África, Asia, América Latina y en el Caribe se centren en la aplicación de la compensación mediante el CORSIA y en la creación de capacidad para aumentar la producción de SAF.

Los SAF, que tienen el mayor potencial para reducir significativamente la huella de carbono del transporte aéreo a corto y largo plazo, son también una oportunidad para que los Estados desarrollen una economía respetuosa con el medio ambiente e impulsen la creación de empleo. Por ello, iniciativas como el Global Gateway de la UE están proporcionando apoyo financiero (inicialmente en estudios de viabilidad) a proyectos viables de producción de SAF en Estados socios.

La concienciación, la coordinación y la colaboración en iniciativas de cooperación internacional entre los socios son factores esenciales para maximizar el valor de los recursos proporcionados a los Estados socios.

El Grupo de Coordinación de Proyectos Medioambientales de Aviación (AEPCG) proporciona un foro para facilitar esta coordinación de la acción europea con los Estados socios.

2.5.1. MEDIDAS AEROPORTUARIAS

2.5.1.1. Operaciones aéreas

Navegación basada en la performance (PBN)

La navegación basada en la performance (PBN en inglés) permite una trayectoria de vuelo óptima de las aeronaves para mitigar el impacto ambiental, especialmente en las proximidades de los aeropuertos, sin tener que sobrevolar las ayudas a la navegación en tierra. La aplicación del Reglamento PBN [15] ha mostrado una tendencia positiva desde el último informe. En julio de 2024, el 75% de las pistas instrumentales ya cumplen todos los requisitos, y ya ha comenzado la aplicación de la PBN en el 81% de las Salidas Normalizadas por Instrumentos (SID en inglés) y el 82% de las Llegadas Normalizadas por Instrumentos (STAR en inglés) en estas pistas. Su finalización está prevista para 2030.

Se espera que la aplicación del Reglamento PBN genere una serie de beneficios medioambientales, aunque no se exige ni su evaluación ni su cuantificación. Por ello, ha resultado difícil encontrar datos pertinentes para este informe. Se anima a las partes interesadas responsables de la implantación de las rutas y procedimientos PBN requeridos a optimizar el diseño del espacio aéreo y los posibles beneficios medioambientales, especialmente para la eficiencia de los vuelos y la flexibilidad en la ubicación de las rutas.

Procedimientos operativos ecológicos



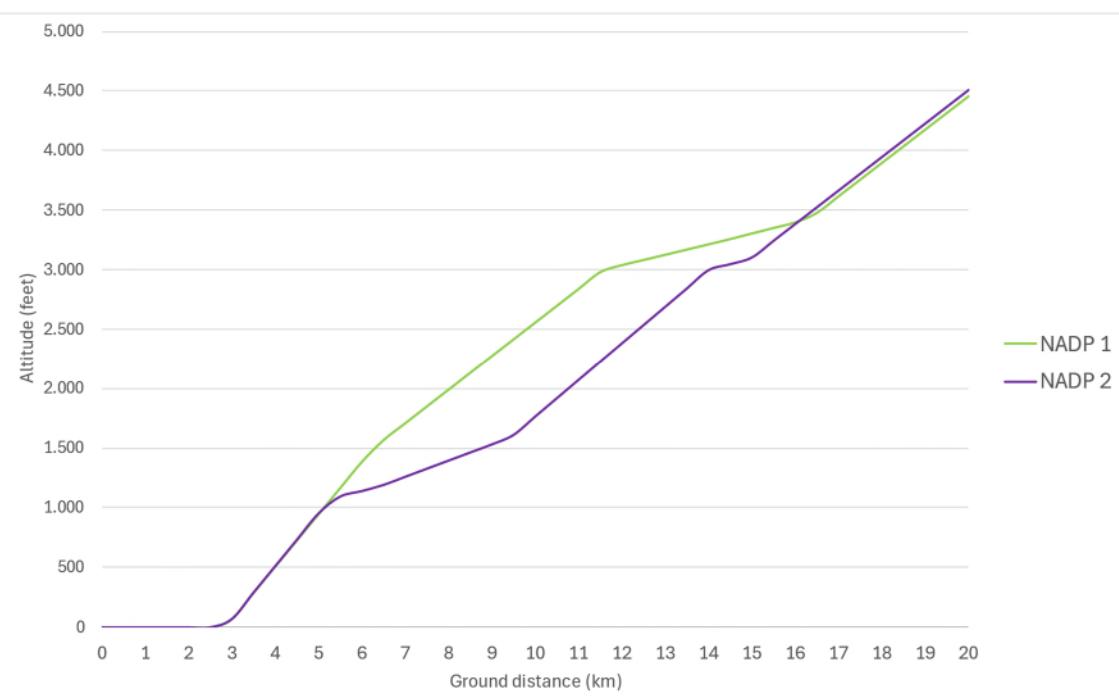
Basándose en el anterior proyecto de investigación ALBATROSS [16], el objetivo del proyecto HERON de SESAR, iniciado en 2023, es reducir el impacto ambiental de la aviación aplicando soluciones maduras que abarquen desde las operaciones aéreas más eficientes hasta una gestión optimizada del tráfico aéreo durante los vuelos [17]. Esto incluye la demostración *Green Apron Management*, que utiliza sensores e inteligencia artificial para un manejo más predecible y eficiente de los aviones durante las escalas en los aeropuertos.

Procedimientos de reducción de ruido en la salida (NADP)

El objetivo de los NADP es reducir el impacto acústico de las aeronaves en la salida seleccionando el momento adecuado para limpiar la aeronave (es decir, replegar los flaps), lo que repercute en el perfil vertical del vuelo. Los NADP1 permiten reducir el ruido cerca del aeropuerto, mientras que los NADP2 reducen el ruido más lejos y tienen un menor consumo de combustible (Ilustración 5.1). En función del contexto operativo (tipo de aeronave, peso al despegue, meteorología, etc.) y de la ubicación de las zonas sensibles al ruido, se debe encontrar el mejor equilibrio entre la reducción del ruido y de las emisiones.

Un estudio realizado por EUROCONTROL señaló que, en muchos casos, las autoridades aeroportuarias aconsejan u obligan a aplicar un procedimiento NADP fijo para todos los tipos de aeronaves y pistas, pero que no siempre es la mejor solución para equilibrar la reducción del ruido y de las emisiones. Las zonas sensibles al ruido varían en cada aeropuerto y pista de salida. Por tanto, los aeropuertos deben identificar las zonas clave sensibles al ruido en cada procedimiento de Salida Normalizada por Instrumentos. Si se tiene en cuenta el contexto operativo local y se permite a la tripulación de vuelo determinar el mejor NADP, se podrían lograr reducciones adicionales del ruido o de las emisiones.

El estudio concluyó que, en algunos casos en los que se aplican los procedimientos NADP1, la utilización de procedimientos NADP2 podría reducir entre 50 kg y 200 kg el consumo de combustible, mientras que sólo aumentaría el ruido en 1 dB cerca del aeropuerto.



Rodaje sostenible



En varios aeropuertos (como Ámsterdam Schiphol, Eindhoven, París Charles-de-Gaulle y Bruselas) se están llevando a cabo ensayos relacionados con el rodaje sostenible mediante diversos proyectos de investigación SESAR, además de con proyectos nacionales. Para incentivar la implementación y sincronizar los desarrollos, un grupo de trabajo de EUROCONTROL / ACI-EUROPE sobre rodaje sostenible desarrolló un Concepto de Operaciones en 2024 [18]. El

Concepto de Operaciones (CONOPS) aborda las posibles reducciones de consumo

de combustible que aportarían diversas soluciones de rodaje sostenible, que podrían ser de hasta 400 kg de CO₂ en la fase de rodaje de un avión de pasillo único. Además, también proporcionan beneficios en cuanto a ruido y calidad del aire, ya que los procedimientos de arranque y parada del motor del avión se producen lejos de la zona de la puerta de embarque.

Principalmente, estos beneficios son el resultado de mejoras operativas, como el rodaje con un solo motor, la combinación del arranque del motor durante el rodaje o la combinación de las autorizaciones por parte del control del tráfico aéreo de empuje y rodaje, lo que reduce los tiempos totales de rodaje y funcionamiento del motor, que siguen teniendo en cuenta la estabilización térmica del motor y cierta complejidad adicional en las operaciones en tierra. También se está investigando la posibilidad de limitar el uso de las unidades de potencia auxiliar (APU en inglés) a temperaturas exteriores que se sitúen por encima de un determinado umbral. Se espera que las pruebas en curso aclaren aún más cómo integrar las diferentes soluciones operativas de rodaje y cuantificar sus beneficios para finales de 2025.

2.5.1.2. Infraestructura aeroportuaria

Actualmente, varios proyectos de investigación de la UE, como TULIPS [19], OLGA [20] y STARGATE [21], están proporcionando soluciones ecológicas e innovadoras a los aeropuertos, que pueden reproducirse a escala europea.

Equipos de apoyo en tierra

Las operaciones sostenibles en tierra en los aeropuertos han recibido una atención creciente en los últimos años a la hora de abordar las preocupaciones relativas a la salud y las condiciones laborales del personal que trabaja en los aeropuertos, así como el impacto en las comunidades cercanas a los aeropuertos. Los Estados ya están en proceso de adoptar normativas más estrictas para abordar estas preocupaciones, lo que ha dado lugar a que los aeropuertos busquen conseguir una electrificación completa de sus operaciones en tierra [22].

Para avanzar en la neutralidad de carbono de las operaciones en tierra, Skytanking y el aeropuerto de Bruselas han estado desarrollando surtidores eléctricos de combustible, que suministran combustible de aviación desde el sistema subterráneo de los surtidores a las aeronaves. Tras el éxito del período de prueba en 2023, durante el cual se adaptaron dos surtidores de combustible diésel para que funcionaran con electricidad, Skytanking encargó dos surtidores de combustible totalmente eléctricos, que se entregaron en 2024.



y permitieron una reducción significativa del ruido y de los gases de escape, lo cual es importante tanto para el medio ambiente local como para el personal de asistencia en tierra. Como parte del mismo proyecto de investigación, DHL Express ha sustituido un tercio de su flota de asistencia en tierra (tractores, plataformas elevadoras de contenedores, cargadores de bodega y remolques de aviones) por otros equipos equivalentes totalmente eléctricos.



En 2024, el aeropuerto de Fráncfort encargó una ampliación de su sistema vertical de energía solar fotovoltaica junto a la pista 18 oeste con el fin de suministrar energía renovable para alimentar equipos eléctricos de apoyo en tierra [23]. Esta instalación ha dado resultados tan alentadores que se ha ido ampliando gradualmente de 8,4 kW a 17,4 MW, y ahora se considera la mayor instalación del mundo de este tipo en un aeropuerto. El aeropuerto también utiliza la infraestructura de carga bidireccionalmente, lo que significa que los vehículos eléctricos se pueden convertir en unidades móviles de almacenamiento de energía [24].

Aviones de emisiones cero

La Comisión Europea estableció la Alianza para una Aviación de Cero Emisiones (AZE) con el objetivo de preparar el ecosistema de la aviación para la entrada en servicio de aviones eléctricos y de hidrógeno (capítulo Tecnología-Diseño). Para ello, será necesario realizar importantes inversiones en infraestructuras energéticas a fin de preparar la introducción de aeronaves de emisiones cero con propulsión eléctrica y de hidrógeno. La introducción a gran escala de aviones de emisiones cero será un pilar crucial para alcanzar las emisiones netas de carbono cero en 2050.



que se fundó en 2024, apoyará la adopción por parte de la industria aeronáutica de soluciones de transporte y almacenamiento de energía de hidrógeno líquido (LH₂) mediante:

- El desarrollo y la demostración de tecnologías de repostaje de LH₂

GOLIAT es un proyecto de la UE que reúne a todas las partes interesadas del sector de la aviación para demostrar las operaciones en tierra de aviones de hidrógeno líquido a pequeña escala en tres aeropuertos europeos [25]. Este grupo,

- ampliadas para futuras aeronaves de gran tamaño;
- La demostración de operaciones en tierra de aeronaves con LH2 a pequeña escala en aeropuertos;
- El desarrollo de un marco de normalización y certificación para operaciones futuras con LH2.
- La evaluación del tamaño y de los aspectos económicos de las cadenas de valor del hidrógeno para los aeropuertos.

Nuevo cálculo de la resistencia portante de los pavimentos de los aeropuertos para optimizar los trabajos de mantenimiento

Con el fin de garantizar la seguridad de las operaciones aéreas, los aeropuertos necesitan supervisar continuamente la vida útil y el ciclo de vida de las infraestructuras críticas de pavimento (pistas, calles de rodaje y plataformas) en función del impacto causado por diferentes tipos de aeronaves con diferentes pesos, la geometría y la presión de los neumáticos. En 2024, EASA publicó unas directrices para los aeropuertos europeos y las autoridades competentes que modificaban la metodología de Clasificación de Aeronaves – Clasificación de Pavimentos (ACR-PCR) utilizada para calcular la resistencia portante de los pavimentos [26]. Se espera que estos cambios optimicen el uso del pavimento, reduzcan las necesidades y los costes de mantenimiento, y reduzcan asimismo las emisiones de gases de efecto invernadero mediante una mejor gestión del ciclo de vida del pavimento llevada a cabo por los aeropuertos.

Combustibles sostenibles de aviación

El marco político europeo para el despliegue de SAF es el Reglamento de aviación ReFuelEU, que establece un mandato de suministro para los proveedores de combustible de aviación y la obligación para los aeropuertos de la Unión de facilitar a los operadores de aeronaves un suministro de combustibles de aviación que contenga las cuotas mínimas de SAF. Los aeropuertos europeos también están adoptando medidas voluntarias para apoyar la adopción de SAF a través de diversos medios (Tabla 18). ACI EUROPE [27] ha elaborado un resumen detallado de este tipo de iniciativas de incentivación de los SAF por parte de los aeropuertos europeos.

Inversión en la cadena de suministro
<ul style="list-style-type: none"> Apoyar a las aerolíneas en cuestiones logísticas para facilitar la entrega de SAF. Participar en negociaciones conjuntas con proveedores de SAF, aerolíneas y otros aeropuertos para desarrollar proyectos de SAF. Invertir en instalaciones de producción de SAF.
Concienciación
<ul style="list-style-type: none"> Informar a los pasajeros y a las empresas sobre las oportunidades de compra de SAF para sus vuelos y/o de apoyo a los proyectos de SAF para compensar sus emisiones de CO₂.
Incentivos financieros
<ul style="list-style-type: none"> Ofrecer programas de incentivos de SAF a las aerolíneas (por ejemplo, repartir los costes del suplemento del precio de los SAF, diferentes tasas de aterrizaje y despegue en función del uso de SAF, almacenamiento gratuito de SAF).
Compromiso político
<ul style="list-style-type: none"> Compromiso con los gobiernos y las partes interesadas locales para apoyar el desarrollo de los SAF y los incentivos financieros para las compañías

aéreas, pero no mediante ninguna cuotas mínima de SAF distinta a las de ReFuelEU Aviation.

Tabla 18 Resumen de las iniciativas de los aeropuertos para apoyar la adopción de los SAF

Fuente: *European State Action Plans for CO₂ emissions reduction – 5th Edition of the ECAC/EU guidelines*

El proyecto de investigación ALIGHT de la UE, liderado por el aeropuerto de Copenhague, estudia cómo abordar los obstáculos al suministro y uso de SAF en los grandes aeropuertos mejorando la cadena logística de la manera más eficaz y rentable

Infraestructuras de aviación más ecológicas

A medida que el sector de la aviación evoluciona para hacer frente a los retos medioambientales, esta transición se ve respaldada por las medidas de los Estados miembros y el apoyo de la UE, en particular la Red Transeuropea de Transporte [29], el Reglamento sobre la Infraestructura para los Combustibles Alternativos [30] y su "soporte financiero" en forma del Mecanismo "Conectar Europa" [31].

Red transeuropea de transporte (TEN-T)

La revisión de las directrices de la TEN-T [32] introduce requisitos para los Estados miembros que incluyen la mejora de las conexiones de los aeropuertos con la red ferroviaria transeuropea, las infraestructuras de gestión del tráfico aéreo para mejorar el rendimiento y la sostenibilidad del Cielo Único Europeo, las infraestructuras de combustibles alternativos y el suministro de aire preacondicionado a aeronaves estacionarias.

Reglamento sobre la Infraestructura para los Combustibles Alternativos (AFIR)

El AFIR introduce objetivos obligatorios para los Estados miembros sobre el suministro de electricidad a aeronaves estacionarias en los aeropuertos de la red TEN-T, y exige a los Estados miembros que definan estrategias nacionales sobre el despliegue de infraestructuras en tierra para aeronaves eléctricas y de hidrógeno.

Mecanismo "Conectar Europa" (CEF)

En el marco del Mecanismo CEF de Infraestructura para los Combustibles Alternativos de Transporte, desde 2021, se han seleccionado 20 proyectos que representan a 63 aeropuertos de toda la UE, con una subvención total de la UE superior a 160 millones de euros [33, 34]. Estas ayudas se han destinado al suministro de electricidad y aire preacondicionado a aeronaves estacionarias, a la carga eléctrica de equipos de apoyo en tierra, a las conexiones a la red eléctrica y a la generación de electricidad ecológica.

2.5.2. CERO EMISIONES NETAS DE CO₂

La Estrategia de Sostenibilidad de ACI EUROPE se lanzó en 2019 [35] e incluía la Resolución Net Zero (cero neto), que se ha actualizado en 2024 [36]. Desde entonces, 303 aeropuertos europeos se han comprometido a alcanzar el objetivo de cero emisiones netas de carbono ⁴² en sus operaciones aeroportuarias para 2050 y han proporcionado una hoja de ruta que detalla cómo lo lograrán [37].



Este compromiso de cero emisiones netas abarca las emisiones directas de Alcance 1 de los aeropuertos y las emisiones indirectas de Alcance 2 (por ejemplo, el consumo de electricidad, calor o vapor adquiridos por una organización). 132 aeropuertos han anunciado un objetivo de cero emisiones netas para 2030 o antes, y 13 aeropuertos ya lo han conseguido. En 2022, se publicaron orientaciones sobre la reducción de las emisiones de Alcance 3 procedentes de otros agentes que operan en el aeropuerto, que constituyen la mayor parte de las emisiones (por ejemplo, aeronaves, dotaciones de acceso por tierra, viajes del personal) [38]. En 2023, les siguieron nuevas orientaciones sobre la elaboración de hojas de ruta de cero emisiones netas d

ACCIONES DE LAS PARTES INTERESADAS

Programa de Acreditación del Carbono en Aeropuertos

Airports Council International Europe lanzó en 2009 el programa Airport Carbon Accreditation (ACA; Acreditación de emisiones de Carbono en Aeropuertos) [40] en 2009 y, a partir de junio de 2024, incluirá 564 aeropuertos de todas partes del mundo. ACA es una iniciativa voluntaria liderada por la industria, supervisada por un administrador independiente y por un consejo asesor, que proporciona un marco común para la gestión del carbono con el objetivo principal de fomentar y facilitar la reducción de emisiones de CO₂ de los aeropuertos. Todos los datos presentados por los aeropuertos se verifican de forma externa e independiente. En el último período de notificación 2022-2023, **290 aeropuertos europeos** participaron en el programa, lo que corresponde al 77,8% del tráfico europeo de pasajeros (Ilustración 5.2).



Aeropuertos europeos que participan en el programa ACA

⁴² Las emisiones netas cero de dióxido de carbono (CO₂) se alcanzan cuando las emisiones de CO₂ procedentes de las actividades humanas se equilibran globalmente con las absorciones de CO₂ procedentes de las actividades humanas durante un período determinado. Las emisiones netas de CO₂ también se conocen como neutralidad del carbono.



El programa ACA se estructuró inicialmente en torno a cuatro niveles de certificación (Nivel 1: Mapeo, Nivel 2: Reducción, Nivel 3: Optimización; Nivel 3+: Neutralidad) con un alcance y unas obligaciones de gestión de las emisiones de carbono crecientes (Alcance 1: emisiones directas del aeropuerto, Alcance 2: emisiones indirectas bajo el control del aeropuerto y procedentes del consumo de electricidad, calor o vapor adquiridos; y Alcance 3: emisiones de otros agentes que operan en el aeropuerto, como aviones, dotaciones de acceso por tierra, viajes del personal).

En 2020, se han añadido los niveles 4 (Transformación⁴³) y 4+ (Transición⁴⁴) como pasos intermedios hacia el objetivo a largo plazo de alcanzar las cero emisiones netas de CO₂ y para ajustarlo a los objetivos del Acuerdo de París. También se publicaron directrices para informar a los aeropuertos sobre las opciones de compensación, los requisitos y las recomendaciones, así como orientaciones específicas sobre la adquisición de compensaciones.

En 2023, se añadió un nuevo Nivel 5 al programa ACA. Para solicitar el Nivel 5, los aeropuertos deben conseguir (y mantener) unas reducciones absolutas de emisiones de CO₂ superiores o iguales 90% en los Alcances 1 y 2, en consonancia con las Directrices ISO para el cero neto, así como comprometerse a alcanzar cero emisiones netas de CO₂ en el Alcance 3 antes de 2050. Todas las emisiones residuales deben eliminarse de la atmósfera mediante inversiones en proyectos de eliminación de carbono fiables. Para ayudar a los aeropuertos, se ha publicado una actualización del documento *Airport Carbon Accreditation Offset Guidance* (Orientaciones sobre la compensación de emisiones de carbono de los aeropuertos) [41] sobre las opciones de eliminación del carbono y las estrategias más eficaces de eliminación. Los aeropuertos con acreditación de nivel 5 deben establecer un plan detallado para alcanzar sus objetivos de reducción de emisiones como parte de su Plan de Gestión del Carbono.

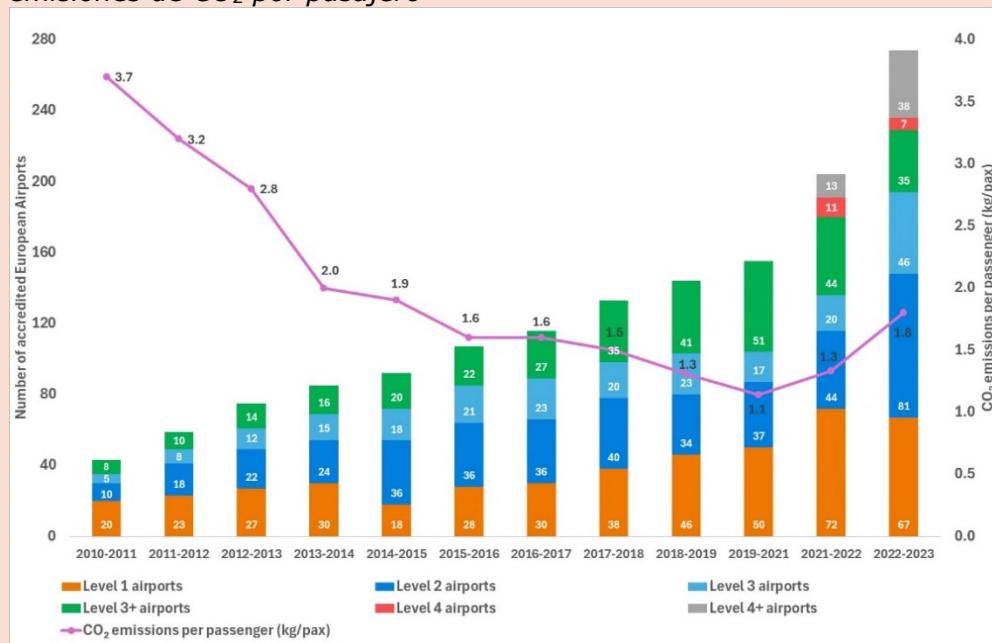
⁴³ Definición de una estrategia de gestión del carbono a largo plazo orientada a la reducción absoluta de emisiones y conforme a los objetivos del Acuerdo de París. Demostración del fomento activo de la reducción de emisiones de terceros.

⁴⁴ Todos los Niveles 1 a 4 junto con la compensación de las emisiones de carbono residuales sobre las que el aeropuerto tenga control.

El Nivel 5 también requiere que los aeropuertos presenten una huella de carbono verificada de los Alcances 1 y 2, y de todas las categorías relevantes del Alcance 3 según los requisitos del documento GHG Protocol Guidance (Orientaciones sobre el protocolo de gases de efecto invernadero) [42], cubriendo especialmente todas las actividades significativas anteriores y posteriores de terceros, incluidas las aerolíneas. Por último, los aeropuertos deben establecer un Plan de Colaboración con las Partes Interesadas que respalde su compromiso con las emisiones netas de CO₂ cero en el Alcance 3, mediante la participación de todo el ecosistema aeroportuario y acciones de fomento de reducción de emisiones dirigidas a terceros, con hitos periódicos para medir los progresos.

En el momento de su lanzamiento, diez aeropuertos obtuvieron la certificación de Nivel 5, incluidos 9 aeropuertos europeos (Ámsterdam Schiphol, Eindhoven, Rotterdam-La Haya, Beja, Madeira, Ponta Delgada, Göteborg Landvetter, Malmö y Toulon-Hyères). Asimismo, los aeropuertos de Ivalo, Kittilä, Kuusamo y Rovaniemi obtuvieron posteriormente la acreditación de Nivel 5 en 2024.

Aumento del número de aeropuertos europeos acreditados y disminución de las emisiones de CO₂ por pasajero

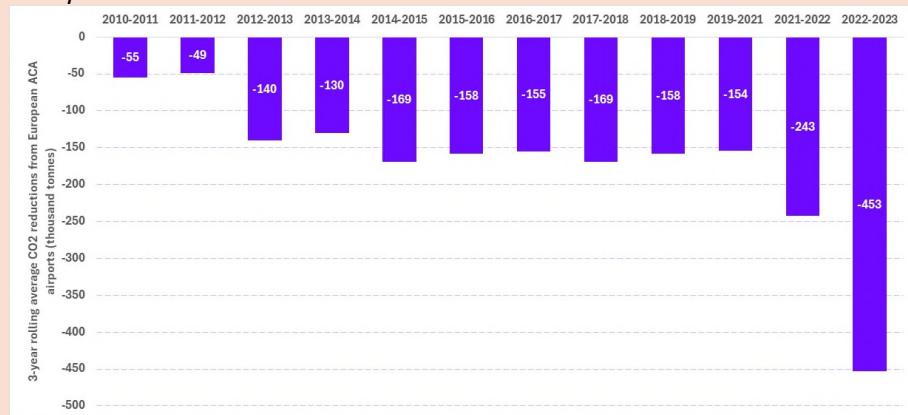


La emisión de carbono por pasajero que viaja por aeropuertos europeos en todos los niveles de la ACA ha aumentado a **1,8 kg CO₂/pasajero** (Ilustración 5.4). También se ha registrado una reducción total de las emisiones de Alcance 1 y 2 en comparación con la media acumulada⁴⁵ de tres años de **452.893 toneladas de**

⁴⁵ Las reducciones de emisiones se deben demostrar con respecto a la media de las emisiones históricas de los tres años anteriores al año 0. Como el año 0 cambia todos los años al renovar o actualizar un aeropuerto, los tres años seleccionados para el cálculo de

CO₂ para todos los aeropuertos acreditados de Europa (Ilustración 5.3). Esto representa una reducción de aproximadamente el 20% en comparación con la media acumulada de tres años.

Reducciones de emisiones de alcance 1 y 2 en las emisiones de CO₂ de los aeropuertos



Se prevén nuevos avances en el programa ACA en 2025 que se centrarán en los esfuerzos de las cadenas de suministro de los aeropuertos por reducir sus emisiones de CO₂.

ACCIONES DE LAS PARTES INTERESADAS

Airports Council International Europe (ACI EUROPE)

ACI EUROPE representa a más de 500 aeropuertos en 55 países, lo que supone más del 90% del tráfico aéreo comercial en Europa. Trabaja para promover la excelencia profesional y las buenas prácticas entre sus miembros, incluido el ámbito de la sostenibilidad medioambiental.



Digital Green Lane (vía verde digital)

Digital Green Lane [43] se creó en 2023 y es un sistema totalmente digital de entrega y recogida de mercancías entre transportistas y servicios de asistencia en tierra, facilitado mediante aplicaciones en la nube. Este proceso ofrece numerosas ventajas, como tiempos de espera más cortos para los camiones que entregan y recogen las mercancías, reducción de las emisiones de CO₂, mayor transparencia y menos uso de papel. La comunidad de carga aérea Air Cargo Belgium amplió las funcionalidades de Digital Green Lane y ahora cerca del 95% de toda la carga en la zona de carga del aeropuerto de Bruselas se



la media también cambian. Por tanto, los aeropuertos tienen que demostrar la reducción de emisiones con respecto a una media acumulada de tres años.

procesa a través de este sistema. En el aeropuerto de Atenas también se ha puesto en marcha un programa piloto que incorpora este mismo sistema.

Airport Regions Council (ARC)

Airport Regions Council (Consejo de Regiones Aeroportuarias) es una asociación de autoridades locales y regionales adyacentes o que albergan tanto a grandes aeropuertos europeos como a aeropuertos más pequeños. La organización se centra en la intersección entre las operaciones aeroportuarias y las políticas locales y regionales, y fomenta la maximización de los beneficios y la minimización del impacto medioambiental, esforzándose por mejorar el bienestar de los residentes en las regiones aeroportuarias.



AIRPORT REGIONS COUNCIL

Digital Twin (gemelo digital)

En el marco del proyecto de investigación "Stargate" [44] de Horizonte 2020 de la UE, IES y el aeropuerto de Bruselas han desarrollado Digital Twin, un gemelo digital de los 40 edificios con mayor consumo energético del aeropuerto antes de elaborar modelos de escenarios como la instalación de paneles solares, cargadores de vehículos eléctricos y la sustitución de las calderas de gas por bombas de calor para encontrar las rutas más eficaces hacia las emisiones netas de carbono cero para 2030. Esto supone un avance significativo respecto al uso actual de la tecnología de gemelos digitales, que se ha utilizado principalmente para optimizar las operaciones comerciales. Mediante rigurosas fases de modelización, se verificó que las medidas de ahorro energético tenían un potencial de hasta un 63% de ahorro de CO₂ con respecto al año de referencia 2019. Este enfoque también se reproducirá en los aeropuertos de Atenas, Budapest y Toulouse y se promoverá entre los miembros de ARC.



2022

Organizaciones no gubernamentales (ONG)

Las ONG medioambientales participan activamente en los debates políticos sobre el impacto medioambiental de la aviación. Se encargan de informar de las preocupaciones y posiciones de la sociedad civil en relación con el ruido, la contaminación atmosférica, el cambio climático y la justicia social. También contribuyen a aumentar la concienciación sobre el impacto medioambiental de la aviación a través de la transparencia de los datos.



Seguimiento de las reducciones de emisiones en los viajes de negocios



Travel Smart es una campaña mundial que tiene el objetivo de reducir para 2025 las emisiones de los viajes aéreos de las empresas como mínimo un 50% con respecto a los niveles de 2019, liderada por una coalición de ONG de Europa, Norteamérica y Asia. La campaña clasifica a más de 327 empresas en función de la sostenibilidad de sus prácticas de viajes de negocios y las hace responsables con un Rastreador de Emisiones [45]. Esta herramienta utiliza la base de datos de emisiones corporativas de la organización Carbon Disclosure Project (proyecto de divulgación de las emisiones de carbono) [46] y permite a los usuarios seguir el progreso del objetivo de reducción de emisiones de los viajes aéreos de negocios de una empresa.

El rastreador utiliza barras de colores para mostrar si las empresas han vuelto a niveles de emisiones por encima de sus objetivos o si han mantenido reducciones del 50% o más, destacando a los líderes e incentivando la competencia entre las empresas. A través de esta campaña de Travel Smart, diversas buenas prácticas empresariales han demostrado que la reducción de los vuelos es compatible con el desarrollo continuado de un negocio rentable [47].

2.5.3. ÁMBITOS DE COLABORACIÓN INTERNACIONAL

El sector de la aviación lleva años aprovechando la cooperación internacional a través de programas de cooperación técnica para aumentar las capacidades de los Estados en los ámbitos de la seguridad operacional, la seguridad de la aviación y la gestión del tráfico aéreo, y las entidades europeas son socios de confianza y con vasta experiencia en esas iniciativas.

En esta última década, el número de programas de cooperación técnica dedicados a la protección del medio ambiente ha crecido en consonancia con las crecientes ambiciones de los Estados de mitigar el impacto medioambiental de la aviación. Las entidades europeas han demostrado ser contribuyentes clave en este sentido, habiendo colaborado con 112 Estados socios y comprometido unos 20 millones de euros en proyectos de protección medioambiental de la aviación civil desde 2022. A escala mundial, la OACI ha desarrollado programas de desarrollo de capacidades técnicas, como ACT-CORSIA y ACT-SAF, que ofrecen un paraguas común a los esfuerzos de desarrollo de capacidades en materia de medio ambiente [48]. La contribución de la Comisión Europea a estos programas asciende a 56,5 millones de euros⁴⁶, incluidos 9,6 millones de euros en proyectos llevados a cabo de forma directa por la OACI. Los Estados europeos y la industria europea también contribuyen a dichos programas de la OACI.

Estos proyectos europeos, llevados a cabo por EASA, los Estados europeos, la industria europea o directamente la OACI con fondos europeos, han fomentado el desarrollo de capacidades en numerosas regiones abarcando diversos temas técnicos que se resumen en esta sección. Partiendo de esta base, el compromiso de seguir participando a través de iniciativas de cooperación internacional para lograr una aviación sostenible a escala mundial sigue en marcha.

2.5.3.1. Aplicación del CORSIA

Las iniciativas de las entidades europeas, ya sea a través del programa ACT-CORSIA de la OACI o a través de proyectos específicos de cooperación técnica, han contribuido a que cada vez más Estados se ofrezcan voluntarios para participar en la Fase Piloto (2021-2023) y la Primera Fase (2024-2026) de CORSIA, facilitando la aplicación del proceso de Seguimiento, Notificación y Verificación (MRV) y, en algunos casos, el desarrollo de su proceso de acreditación nacional.



Como se ha explicado detalladamente en el Capítulo 4 sobre Medidas basadas en el mercado, CORSIA ha entrado en la Primera Fase (2024-2026), en la que, tras la recuperación del tráfico aéreo después de la pandemia de COVID-19, se espera que el sistema dé lugar a obligaciones de compensación para los operadores de aeronaves que vuelen entre dos Estados voluntarios. CORSIA ofrece dos formas de realizar la compensación: bien mediante la compra y cancelación de Unidades de Emisiones CORSIA (CEU), bien mediante el uso de Combustibles elegibles CORSIA (CEF). En

⁴⁶ Algunos de los proyectos abarcaban el medio ambiente entre otras actividades, pero no estaban plenamente dedicados a cuestiones medioambientales.

ambos casos, se aplican criterios y normas específicos a la producción de CEU o CEF para considerar estas compensaciones como viables. Aunque las CEU y los CEF se pueden adquirir en todo el mundo, los Estados prefieren beneficiarse de las ventajas medioambientales y económicas del CORSIA proporcionando CEU y CEF a escala nacional.

En el marco del Acuerdo de París, el aumento de los compromisos de los Estados a través de sus Contribuciones Determinadas a nivel Nacional (NDC en inglés) puede dar lugar a una mayor competencia por el uso de CEU en los mercados internacionales. Por tanto, la cooperación técnica también está desempeñando un papel importante para facilitar la comprensión de las posibilidades de complementar el CORSIA con otros mercados de carbono, lo que permite sinergias positivas para maximizar los objetivos previstos y evitar la posible doble contabilización de emisiones y cancelaciones de emisiones. Se espera que la cooperación entre las entidades europeas y los Estados socios en el período 2025-2027 se centre en la correcta aplicación de los mecanismos de compensación en el marco de CORSIA y en facilitar un aumento de la disponibilidad de proyectos de carbono que proporcionen CEU.

Jame E. Empeno

Director de la Oficina de Acreditación de Filipinas

“La Oficina de Acreditación de Filipinas (PAB) ha trabajado estrechamente con EASA y con el Instituto de Normas Industriales de Tailandia (TISI) para desarrollar y aplicar el proceso de acreditación CORSIA. La combinación de conocimientos entre las tres partes, patrocinada por el Proyecto EU-SEA CCCA CORSIA, ha proporcionado las condiciones necesarias para que nos lanzásemos a este nuevo ámbito como organización y consiguiésemos la primera acreditación de un Organismo de Verificación en Filipinas. Esta colaboración entre la PAB, EASA y TISI es un excelente ejemplo de cómo compartir recursos y experiencia, permitiendo el crecimiento de las capacidades de acreditación y verificación en la ASEAN, que es un área clave para garantizar una firme aplicación económica del CORSIA dentro de nuestra región.”



2.5.3.2. Desarrollo de los SAF

El desarrollo de los combustibles de aviación sostenibles (SAF) es la medida más rentable y con mayor potencial para reducir significativamente la huella de carbono del transporte aéreo a corto y largo plazo. La reducción de carbono de los SAF se basa en el ciclo de vida.



La 3^a Conferencia de la OACI sobre Aviación y Combustibles Alternativos (CAAF 3) en 2023, convocada como parte de los esfuerzos por alcanzar el LTAG, dio lugar a que sus Estados Miembros adoptaran el "Marco global para combustibles de Aviación sostenibles (SAF), combustibles de aviación bajos en carbono (LCAF) y otras energías más limpias para la aviación" que incluye el objetivo de reducir las emisiones del transporte aéreo en un 5% para 2030 gracias a los SAF y a otras energías más limpias [49]. Como parte de este Marco, se reconoció que el apoyo a los Estados y a la industria para desarrollar y financiar iniciativas SAF es esencial para garantizar que "ningún país se quede atrás" en los esfuerzos de descarbonización. En la misma línea, el Programa ACT-SAF de la OACI se estableció posteriormente para apoyar a los Estados en el desarrollo de todo su potencial en SAF, a través de actividades específicas de formación, desarrollo de estudios de viabilidad, y otras iniciativas de apoyo a la aplicación.

Una ampliación rápida y geográficamente equilibrada de la producción de SAF requiere tanto inversiones significativas como la toma de decisiones informadas. En este sentido, las entidades europeas están promoviendo y apoyando el desarrollo de los SAF en 42 Estados socios de África, Asia y América Latina a través de diferentes iniciativas de cooperación internacional.

La primera etapa de este apoyo consiste en sensibilizar, intercambiar buenas prácticas y desarrollar capacidades técnicas en materia de SAF. La segunda fase consiste en apoyar el desarrollo de capacidades locales para permitir la producción local de SAF.

Como parte de la primera fase, los proyectos financiados por la UE han facilitado talleres y seminarios web sobre SAF en todo el mundo y también han financiado, a través de proyectos ejecutados por la OACI, 7 estudios de viabilidad de los SAF en Kenia, Trinidad y Tobago, República Dominicana, Burkina Faso, Zimbabue, Costa de Marfil y Ruanda [50, 51, 52, 53, 54, 55, 56]. Además de los estudios de viabilidad, las iniciativas de cooperación técnica de las entidades europeas han facilitado la reunión de todas las partes interesadas para desarrollar un entendimiento común de los SAF, de su potencial dentro de cada Estado y cuál podría ser su papel en el desarrollo de la producción local de SAF. Esto ha abarcado toda la cadena de valor de los SAF, incluidas las diferentes vías de producción, los análisis tecnoeconómicos, los estudios de preparación y los diálogos políticos. Dependiendo del perfil de cada Estado, el apoyo y la colaboración se han adaptado a su potencial específico para la producción de SAF (por ejemplo, analizando la activación de materias primas específicas, aprovechando las capacidades de refinado existentes, el uso potencial de electricidad procedente de fuentes renovables) y evaluando a alto nivel la viabilidad tecnoeconómica de las posibles vías de producción.

Al igual que con el apoyo prestado a los planes de acción estatales de emisiones de CO₂, la contribución más valiosa ha sido facilitar un entendimiento común sobre los SAF entre los posibles agentes en materia de SAF de cada Estado y, lo que es más importante, entre los distintos departamentos gubernamentales (por ejemplo, los

Ministerios de Energía, Transporte, Medio Ambiente, Hacienda, las Autoridades de Aviación Civil) y las partes interesadas ajenas a la aviación (por ejemplo, la industria del gas y el petróleo, los productores de materias primas).

En el marco de la estrategia Global Gateway de la UE, las entidades europeas han alcanzado ya el inicio de la segunda fase con la financiación por la Comisión Europea de proyectos SAF en 15 Estados socios: Camerún, Costa de Marfil, Egipto, Guinea Ecuatorial, Etiopía, Kenia, India, Madagascar, Mauritania, Marruecos, Mozambique, Nigeria, Ruanda, Senegal y Sudáfrica. OACI y EASA llevarán a cabo estos proyectos, que tienen por objeto apoyar a estos países en la puesta en marcha de proyectos locales de producción de SAF.

Continuando en el marco de la estrategia Global Gateway de la UE, se han destinado fondos para el programa ACT-SAF de la OACI y otros proyectos de cooperación técnica que siguen un planteamiento similar. Todas las iniciativas de apoyo se debaten y acuerdan con los Estados socios con el fin de trazar las principales áreas de posible colaboración:

- **Desarrollar y gestionar el programa de SAF a nivel estatal**, incluida la definición de la hoja de ruta de los SAF, la organización de la participación de las partes interesadas y el lanzamiento de campañas de comunicación para explicar la necesidad de fomentar los SAF para la descarbonización del transporte aéreo.
- **Diseñar y desplegar el marco de SAF más adecuado**, como un conjunto de iniciativas estatales que proporcionen condiciones favorables para que los proyectos de producción de SAF resulten viables (por ejemplo, políticas de SAF, iniciativas financieras, desarrollo de capacidades), empezando por comprender el potencial del Estado en forma de estudio de viabilidad.
- **Definir líneas de suministro directo viables (proyectos de producción y suministro de SAF)**, evaluando la viabilidad tecnoeconómica de diferentes escenarios, identificando los retos y definiendo acciones a nivel estatal (por ejemplo, políticas o normativas sobre SAF, planes de incentivación, investigación sobre la sostenibilidad de las materias primas) o a nivel de proyecto (por ejemplo, ajuste de tecnologías, establecimiento de asociaciones, obtención de materias primas) para que esos proyectos de producción sean viables.
- **Facilitar el acceso a la financiación**, facilitando la rentabilidad de proyectos de producción de SAF mediante la reducción del riesgo de la inversión y el acceso a fondos específicos (por ejemplo, bancos de desarrollo, el Portal Global Gateway de la UE).

Las iniciativas cumplen con el marco, las plantillas y las herramientas del programa ACT-SAF de la OACI y contribuyen a su desarrollo. Este trabajo de colaboración está generando un conjunto de herramientas comunes y armonizadas que ayuda tanto a los Estados socios como a las partes interesadas pertinentes a cotejar las necesidades y los recursos de apoyo de una manera más ágil, y permite una cooperación más eficiente, incluso contando con socios múltiples y concurrentes.

Esta coordinación se considera esencial para maximizar el rendimiento de los recursos dedicados al aumento de la producción de SAF por todo el mundo.

Emile Arao

Director General de KCAA, Kenia

“Los SAF serán un elemento clave para que el sector de la aviación aumente su sostenibilidad a medio y largo plazo. También representan una oportunidad para que los países desarrollen su economía ecológica y ganen mayor independencia en un área estratégica. Sin embargo, la complejidad del producto, las interdependencias con otros sectores económicos y las decisiones estratégicas que se requieren para empezar a producir SAF de forma local, exigen la coordinación de una amplia gama de conocimientos especializados para que un Gobierno pueda tomar las decisiones correctas. La colaboración con socios internacionales, como la Unión Europea, los Estados y las organizaciones europeas, es esencial para maximizar el uso de los recursos disponibles que ayuden a Kenia a alcanzar el objetivo de convertirse en uno de los primeros países de África en producir SAF a escala comercial. Junto con el Comité de Orientación en materia de SAF, Kenia garantiza una colaboración armonizada entre todos los socios, establece un liderazgo y unos hitos claros y permite la transparencia en la consecución de este ambicioso y apasionante empeño.”



2.5.4. SISTEMAS DE GESTIÓN DEL MEDIO AMBIENTE PARA AEROPUERTOS

Según la definición de la OACI, un Sistema de Gestión del Medio Ambiente (EMS en inglés) proporciona una metodología y un marco para identificar sistemáticamente y gestionar de forma rentable los aspectos medioambientales relevantes en el funcionamiento de las organizaciones de aviación. Se ha demostrado su eficacia en una amplia gama de organizaciones, como aeropuertos, compañías aéreas, fabricantes y organismos gubernamentales. Junto con los planes de sostenibilidad, las certificaciones y otros procesos, el EMS es una de las herramientas de las que disponemos para gestionar los asuntos medioambientales en un aeropuerto.

Con el apoyo de los proyectos financiados por la UE a los Estados miembros de la ASEAN, Tailandia, la República Democrática Popular Lao, Filipinas, Indonesia y Vietnam han desarrollado su capacidad técnica para implantar el EMS en determinados aeropuertos de su red. El apoyo prestado mediante una serie de sesiones de formación y el intercambio de experiencias entre los funcionarios de los aeropuertos ha facilitado la aplicación local del EMS y la transformación progresiva de las infraestructuras aeroportuarias para reducir su impacto ambiental.

Por ejemplo, el aeropuerto filipino de Iloilo recibió apoyo para desarrollar e implantar su EMS, incluidos los manuales, procesos y planes de acción asociados, lo que le permitió obtener la certificación ISO14001 en 2023 [57]. Esto demostró que el sistema estaba bien establecido y el compromiso de los altos cargos del aeropuerto para mitigar el impacto de la infraestructura y su funcionamiento en el medio ambiente y el entorno. El equipo medioambiental del aeropuerto de Iloilo, junto con la Autoridad de Aviación Civil de Filipinas (CAAP) y el apoyo de los proyectos de la UE, han desarrollado posteriormente un paquete de implantación del EMS para

apoyar a la CAAP en el despliegue progresivo del EMS en toda la red aeroportuaria a partir de 2024.

La implantación del EMS es específica de cada lugar y se enfrenta a diferentes escenarios y retos medioambientales en cada aeropuerto. Por ejemplo, el aeropuerto de Luang Prabang, en la República Democrática Popular de Laos, es un aeropuerto rodeado de lugares declarados patrimonio mundial de la UNESCO, donde que la necesidad de respetar el patrimonio cultural local fue esencial durante la implantación de su EMS.

Los Estados miembros de la ASEAN están compartiendo toda la experiencia acumulada en las diversas aplicaciones del EMS en talleres temáticos facilitados por proyectos financiados por la UE, y en una línea de trabajo específica a nivel de la ASEAN dirigida por el Grupo de Trabajo de Transporte Aéreo de la ASEAN (ATWG en inglés).

2.5.5. GLOBAL GATEWAY (PASARELA MUNDIAL)

La Comisión Europea está promoviendo la transición ecológica en el exterior, con el objetivo de combatir el cambio climático y minimizar las amenazas para el medio ambiente en consonancia con el Acuerdo de París, junto con los Estados socios. Esto incluye, en particular, la estrategia Global Gateway.



Global Gateway fomentará la convergencia de las normas técnicas, sociales, medioambientales y de competencia europeas o internacionales, la reciprocidad en el acceso al mercado y la igualdad de condiciones en el ámbito de la planificación y el desarrollo de infraestructuras de transporte. Servirá para mejorar la infraestructura de recarga y repostaje de los vehículos de emisiones cero y fomentar el suministro de combustibles renovables y bajos en carbono. Reforzará los vínculos aéreos y marítimos con socios clave y establecerá también nuevas normas para mejorar la sostenibilidad medioambiental y social, crear una competencia leal y reducir las emisiones en dichos sectores.

Se ha reconocido que el transporte aéreo es un sector difícil de descarbonizar, y se prevé que el tráfico aéreo mundial siga creciendo, lo que contribuye al crecimiento económico y social. Este aumento del tráfico aéreo incrementará las emisiones totales de la aviación si no se toman medidas. Por tanto, para hacer frente a este reto, y reconociendo que los SAF son una medida rentable con gran potencial para reducir significativamente la huella de carbono del transporte aéreo a corto y largo plazo, el aumento de la disponibilidad y el uso de SAF fuera de Europa se ha convertido en un objetivo estratégico para la UE. Los SAF también tienen un gran potencial para contribuir al desarrollo económico de los Estados, especialmente en África, y reducir su dependencia de las fuentes de energía importadas.

En diciembre de 2023, el Consejo Europeo aprobó la lista de iniciativas emblemáticas del Global Gateway para 2024, incluido el desarrollo y uso mundial de SAF [58], de acuerdo con el compromiso de la estrategia de mejorar las conexiones de transporte sostenibles. Esto contribuirá a alcanzar los objetivos tanto del objetivo aspiracional

a largo plazo de cero emisiones netas de CO₂ de la aviación internacional para 2050 como del mandato del Reglamento de Aviación ReFuelEU según el cual el 70% del combustible suministrado para 2050 deberá ser SAF.

El reconocimiento de los SAF como prioridad estratégica ofrece la oportunidad de acceder a fondos específicos que pueden ayudar a reducir el déficit de inversión en proyectos sólidos de producción de SAF de los Estados socios.

2.5.6. GRUPO DE COORDINACIÓN DE PROYECTOS MEDIOAMBIENTALES DE AVIACIÓN (AEPCG)

Dada la necesidad de maximizar el impacto de los recursos técnicos y financieros puestos a disposición de los Estados socios, la Comisión Europea y la Agencia de la Unión Europea para la Seguridad Aérea (EASA) establecieron en 2020 el Grupo de Coordinación de Proyectos Medioambientales de Aviación (AEPCG) como foro para concienciar y facilitar la coordinación del apoyo a la cooperación internacional que prestan las entidades europeas.

El AEPCG se reúne dos veces al año con un número creciente de participantes⁴⁷ para debatir iniciativas. Aunque la intención inicial del grupo era aumentar la concienciación y facilitar la coordinación, los debates entre el grupo identificaron sinergias en la aplicación de CORSIA y el desarrollo de los SAF. Por ejemplo, tras la prestación de apoyo técnico a Camboya coordinado entre la DGAC de Francia y un proyecto financiado por la UE (Proyecto EU-SEA CCCA CORSIA), el Estado socio decidió adherirse al CORSIA durante su fase voluntaria. De cara al futuro, se están desarrollando sinergias similares en el apoyo simultáneo de la UE y el Gobierno de los Países Bajos al desarrollo de SAF en Kenia a través del Programa ACT-SAF.

Esta estrecha coordinación y espíritu de colaboración entre los socios de apoyo será un factor clave para conseguir alcanzar los objetivos medioambientales del futuro.

⁴⁷ Entre los participantes en el AEPCG figuran actualmente: DG MOVE, DG CLIMA, EEAS-FPI, EASA, A4E, ACI-Europe, AEF, Airbus, DGAC-France, CEAC, ENAC, GIZ, Leonardo, Neste, RSB, AESA/SENASA, SkyNRG y UBA.

Lista de fuentes

- [15] EU (2018), [Reglamento 2018/1048](#) por el que se establecen los requisitos de utilización del espacio aéreo y los procedimientos operativos en relación con la navegación basada en la performance.
- [16] SESAR (2021), Proyecto de investigación [ALBATROSS](#).
- [17] SESAR (2023), Proyecto de investigación [HERON](#).
- [18] EUROCONTROL (2024), [Operaciones sostenibles de rodaje](#): Concepto de las operaciones y orientaciones del sector.
- [19] UE (2025), Proyecto de investigación [TULIPS](#) Horizonte 2020.
- [20] UE (2025), Proyecto de investigación [OLGA](#) Horizonte 2020.
- [21] UE (2025), Proyecto de investigación [STARGATE](#) Horizonte 2020.
- [22] Schiphol (2024), [Sin emisiones para 2030](#).
- [23] Fraport (2024), [Sistema fotovoltaico vertical del aeropuerto de Fráncfort](#).
- [24] Fraport (2024), [El aeropuerto de Fráncfort utiliza la infraestructura de recarga bidireccionalmente](#).
- [25] UE (2024), Proyecto de investigación [GOLIAT](#) (Operaciones en tierra de aeronaves de hidrógeno líquido).
- [26] EASA (2024), [Orientaciones para la aplicación del nuevo método de clasificación de aeronaves \(ACR\) - clasificación de pavimentos \(PCR\) para los Estados miembros de EASA](#).
- [27] ACI-E (2024), [Iniciativas de los aeropuertos europeos para incentivar el uso de SAF](#).
- [28] UE (2025), Proyecto de investigación [ALIGHT](#) Horizonte 2020.
- [29] UE (2025), [Red Transeuropea de Transporte \(TEN-T\)](#).
- [30] UE (2023), [Reglamento de la infraestructura de los combustibles alternativos](#).
- [31] UE (2025), [Mecanismo "Conectar Europa"](#).
- [32] UE (2024), [Reglamento \(UE\) 2024/1679](#) de 13 de junio de 2024, relativo a las orientaciones de la Unión para el desarrollo de la red transeuropea de transporte, y por el que se modifican el Reglamento (UE) 2021/1153 y el Reglamento (UE) nº 913/2010 y se deroga el Reglamento (UE) nº 1315/2013.
- [33] CE (2023), [Infraestructuras de transporte: más de 352 millones de euros de financiación de la UE para impulsar una movilidad más ecológica](#).
- [34] UE (2024), [Convocatoria de propuestas del Mecanismo de Infraestructura para los Combustibles Alternativos en el Transporte \(AFIF\) de programa CEF](#).

- [35] ACI-E (2020), [Estrategia de sostenibilidad para los aeropuertos](#).
- [36] ACI-E (2024), [¿Qué significa “cero emisiones netas”?](#) – Resolución de cero emisiones netas de ACI-E para 2024.
- [37] ACI-E (2022), [Repositorio de hojas de ruta de los aeropuertos con cero emisiones netas de CO₂](#).
- [38] ACI-E (2022), [Orientaciones sobre la contribución de los aeropuertos a una aviación neta de cero emisiones](#).
- [39] ACI-E (2023), [Elaboración de una hoja de ruta para un aeropuerto con cero emisiones netas de carbono](#).
- [40] ACI-E (2022), [Programa de acreditación del carbono en aeropuertos](#).
- [41] ACA (2023), [Documento orientativo sobre la compensación](#).
- [42] GHG Protocol (2025), [Guía para el cálculo de los Alcances 2 y 3](#).
- [43] Air Cargo Belgium (2024), [Vía verde digital](#).
- [44] STARGATE (2025), Proyecto [Digital Twin](#).
- [45] Travel Smart (2025), [Rastreador de emisiones](#).
- [46] CDP (2025), Proyecto [Carbon Disclosure](#).
- [47] Travel Smart (2025), [Casos de estudio](#) de buenas prácticas empresariales.
- [48] OACI (2024), [ACT-CORSIA y ACT-SAF](#).
- [49] OACI (2023), [Marco Global de la OACI para SAF, Combustibles de Aviación de Bajas Emisiones de Carbono \(LCAF\) y otras Energías Más Limpias para la Aviación](#).
- [50] OACI (2018), [Kenia](#) – Estudio de viabilidad del uso de SAF
- [51] OACI (2018), [Trinidad y Tobago](#) – Estudio de viabilidad del uso de SAF
- [52] OACI (2018), [República Dominicana](#) – Estudio de viabilidad del uso de SAF.
- [53] OACI (2018), [Burkina Faso](#) – Estudio de viabilidad del uso de SAF.
- [54] OACI (2023), [Zimbabue](#) – Estudio de viabilidad del uso de SAF.
- [55] OACI (2023), [Costa de Marfil](#) – Estudio de viabilidad del uso de SAF.
- [56] OACI (2023), [Ruanda](#) – Estudio de viabilidad del uso de SAF.
- [57] CAAP (2023), [Concesión del certificado ISO14001 al Aeropuerto Internacional de Iloilo](#)
- [58] UE (2022), [Proyectos emblemáticos de Global Gateway](#).

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

SECCIÓN 2 MEDIDAS DE MITIGACIÓN DE ÁMBITO NACIONAL

En España se están realizando grandes esfuerzos para reducir las emisiones del sector aéreo.

Esta sección incluye medidas impulsadas a nivel nacional o que aportan a las medidas impulsadas a nivel europeo. Se incluye una actualización de las medidas que se incluyeron en el Plan de Acción Estatal presentado en 2021, así como nuevas medidas promovidas desde entonces.

Con objeto de evitar el doble cómputo de los beneficios asociados para aquellas medidas de ámbito europeo, debe tenerse en cuenta que los ahorros derivados de las mismas se hallan ya incluidos en el apartado 1.3. de la Sección 2. Además, se presenta en esta sección una estimación de los beneficios asociados en términos de disminución de emisiones de CO₂ equivalentes para aquellas medidas para las que sea posible realizar esa cuantificación.

Esta sección se ha desarrollado tras un proceso de consulta liderado por la DGAC con los principales actores del sector de la aviación en España, incluyendo operadores aéreos españoles, gestores de navegación aérea, empresas energéticas, asociaciones y alianzas, entre otros.

Las medidas se agrupan de acuerdo con la categorización propuesta por OACI, recogida en la última versión del Doc. 9988 y en línea con los bloques incluidos en la sección común europea:

1. Desarrollo de tecnologías y diseños relacionadas con las aeronaves.
2. Combustibles Sostenibles de Aviación (SAF).
3. Mejoras en la gestión del tránsito aéreo y Operaciones más eficientes.
4. Medidas económicas o de mercado.
5. Mejoras adicionales

1. DESARROLLO DE TECNOLOGÍAS RELACIONADAS CON LAS AERONAVES

Este capítulo presenta una descripción de los avances en I+D y el desarrollo tecnológico de las aeronaves de última generación y hacia el avión del futuro. También incluye la actualización de las medidas incluidas en el Plan de Acción anterior, relacionadas con: 1/ Renovación de flotas por los operadores españoles con vuelos internacionales; 2/ Innovaciones tecnológicas disruptivas para las aeronaves incluyendo el uso de hidrógeno verde para la propulsión de aeronaves, las aeronaves regionales eléctricas y las aeronaves no tripuladas.

España está desarrollando un tejido industrial importante para dar respuesta a las nuevas necesidades tecnológicas de la industria aeronáutica. La innovación en la aviación avanza a gran velocidad desde el sector privado, público y a través de alianzas público-privadas.

Madrid es sede del **campus industrial Futura de Airbus**, establecido en Getafe, y que ha desempeñado un papel destacado en la investigación y desarrollo de tecnologías avanzadas para la aviación, especialmente en las áreas de sostenibilidad y mejoras tecnológicas de las aeronaves. Se cuenta en su centro de Getafe con **Airbus UpNext** y el **Zero Emission Development Centre** (ZEDC) con foco en las tecnologías de hidrógeno⁴⁸. Airbus UpNext⁴⁹ es una subsidiaria de la empresa con bases en Francia y Alemania y en España desde 2022. El ZEDC también opera en Madrid desde 2022. Airbus colabora también en los programas del PERTE Aeroespacial y con la Universidad Politécnica de Madrid avanzando I+D en aviación sostenible a través de la Cátedra Airbus de Estudios Aeroespaciales en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Aeronáutica y del Espacio. Madrid aloja también una de las sedes europeas del **Boeing Research & Technology Europe (BRTE Europe)**⁵⁰, siendo una de las principales bases de investigación e innovación de Boeing fuera de los Estados Unidos. En materia de sostenibilidad, desde la sede en Madrid se han avanzado diversas iniciativas relacionadas con la sostenibilidad de la aviación, incluyendo proyectos de investigación en mejoras de la gestión del tráfico aéreo, SAFs y mejoras tecnológicas, contribuyendo al diseño de aviones más eficientes y sostenibles.

Aunque los avances en I+D tienen un marco global, estos dos centros han permitido que se desarrolle un tejido de I+D en Madrid alrededor de las mejoras tecnológicas de las aeronaves en colaboración con la academia, centros de investigación y el sector privado.

⁴⁸ [Airbus in Spain | Europe | Our Worldwide Presence | Airbus](#)

⁴⁹ [Airbus UpNext | Airbus](#)

⁵⁰ [Boeing Research & Technology-Europe](#)

BRTE Europe ha avanzado desde sus oficinas en Madrid el desarrollo de **materiales compuestos avanzados y tecnologías de fabricación** que reducen el peso de las aeronaves, colaborando con universidades, centros de investigación y socios industriales europeos, y aprovechando el ecosistema de innovación de la región. Además, desde Madrid, se ha trabajado en estudios de **aerodinámica** que buscan reducir la resistencia al avance de las aeronaves. Esto incluye la colaboración en el diseño de elementos como **winglets avanzados**, que ya se han implementado en varios modelos de Boeing para mejorar su eficiencia.

En el Campus Futura en las instalaciones de Airbus en Madrid, se ha avanzado en la investigación en **materiales avanzados y estructuras ligeras**. Getafe ha sido un hub clave para la investigación en fibras de carbono y nuevos polímeros que permiten crear estructuras más resistentes y ligeras. Por ejemplo, el diseño del fuselaje y otras piezas clave de aeronaves como el Airbus A350 y los modelos de la familia A320neo se ha beneficiado de estos avances. El centro ha implementado técnicas como la **automatización de procesos de montaje y fabricación aditiva (impresión 3D)**, que no solo reducen el peso de los componentes, sino también el consumo de energía y los residuos en el proceso de producción. El centro ha estado profundamente involucrado en investigaciones relacionadas con tecnologías de propulsión alternativa como el hidrógeno y la propulsión híbrida, a través de UpNext y del ZEDC.

Desde el sector público, la administración española cuenta con fondos del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR) europeos. En concreto, existe un **Proyecto Estratégico para la Recuperación y la Transformación Económica (PERTE)** dirigido a la industria aeroespacial española⁵¹, liderado desde el Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades y desde el Ministerio de Transporte y Movilidad Sostenible. En el pilar en el ámbito aeronáutico, el PERTE cuenta con una línea dirigida al avión cero emisiones, UAV y sistemas aeronáuticos⁵². Esta línea (ACT01) tiene el objetivo general de apoyar proyectos de I+D empresarial en tecnologías aeronáuticas, que contribuyan a alcanzar algunos de los retos identificados en relación con: i) Tecnologías enfocadas a la reducción de emisiones: avión cero emisiones; ii) UAS; iii) Sistemas; y iv) Digitalización. El apoyo a estos proyectos es en forma de subvención y se ha gestionado por el Centro de Desarrollo Tecnológico e Industrial (CDTI), habiéndose lanzado tres convocatorias en los años 2021, 2022 y 2023, con un presupuesto asignado de 40, 80 y 41.7 millones de euros respectivamente. Se han financiado 31 proyectos en las tres convocatorias, beneficiando a 143 empresas y 149 universidades, centros de investigación o centros tecnológicos. Entre los proyectos dirigidos a I+D hacia una aviación de emisiones cero en 2023, se encuentran la investigación en movilidad aérea avanzada centrada en vehículos aéreos eléctrico de despegue vertical propulsados por hidrógeno; el desarrollo de sistemas de hidrógeno embarcados para aeronave solar no tripulada;

⁵¹ PERTE Aeroespacial

⁵² ACT01

tecnologías de almacenamiento de hidrógeno, y; la utilización de hidrógeno en la base líquida de las APUs. Además, a través del PERTE se han liderado espacios de diálogo y jornadas con la industria para promover la descarbonización de la industria aeronáutica⁵³, como la realizada en enero de 2024 que puso en conjunto a empresas del sector, la academia e innovadores.



Ilustración 39. PERTE Aeroespacial

En el marco del programa **Horizon Europe**, España está desarrollando proyectos clave orientados a una aviación más sostenible, entre ellos la iniciativa Clean Aviation Partnership donde una empresa española, ITP Aero, es miembro fundador⁵⁴.

ITP Aero, empresa española líder en el sector de la aviación, es miembro fundador del programa de la Unión Europea «European Partnership for Clean Aviation», también conocido como **Clean Aviation**, para la descarbonización del sector aeronáutico. El programa, basado en una alianza público-privada, pretende impulsar la investigación y los avances tecnológicos hacia una demostración de alto impacto, con el apoyo de una financiación pública de 1.700 millones de euros. Los socios privados del programa contribuirán adicionalmente a la iniciativa con al menos 2.400 millones de euros mediante la realización de programas de trabajo adicionales y la cofinanciación de actividades de Clean Aviation. El objetivo final es conseguir que la aviación europea produzca cero emisiones netas de gases de efecto invernadero en 2050.

Como miembro fundador, ITP Aero participa como empresa independiente en la orientación estratégica y la ejecución de las operaciones y actividades, así como en los órganos de decisión de Clean Aviation.

Con objeto de identificar y coordinar las iniciativas público-privadas desarrolladas en España en el ámbito de la I+D+i del sector de la aviación, en el año 2019 la Agencia

⁵³ [Jornada de descarbonización en la industria aeronáutica – PAE – Plataforma Tecnológica Aeroespacial Española](#)

⁵⁴ [ITP Aero “Miembro Fundador” del programa Clean Aviation de la UE - TEDAE](#)

Estatal de Seguridad Aérea creó los denominados **Centros de Excelencia**, cuyo objetivo es identificar las prioridades en Investigación, Desarrollo e Innovación en distintos ámbitos del sector aéreo.

También se ha avanzado en alianzas público privadas entre la academia y la empresa para avanzar aspectos de I+D+i en el sector de la aviación. Un ejemplo es la **Cátedra Iberia**⁵⁵ en la Universidad Politécnica de Madrid y en alianza con el Centro de Innovación en Tecnología para el Desarrollo Humano itd UPM, que apoya proyectos de I+D en la universidad centrados en la sostenibilidad de la aviación principalmente.

En 2023, el **grupo Iberia** también se ha aliado con **Repsol, Holcim y ArcelorMittal**, empresas líderes en diferentes sectores estratégicos, que se han unido para formar un hub de innovación tecnológica con orientación industrial, único en España, centrado en el desarrollo de tecnologías para la descarbonización y la economía circular, el **All4Zero**⁵⁶. Este centro tienen líneas de innovación e I+D+i para avanzar en hidrógeno de aviación y combustibles sostenibles.



Imagen 40 Diálogos sobre SAF en la Cátedra Iberia de la Universidad Politécnica de Madrid

En esta misma línea, en 2024 se ha lanzado el **Hub Aeronáutico Net Zero en Jerez**⁵⁷, Andalucía, cuyo objetivo es disponer de un espacio productivo (98 Has) de suelo urbanizado alrededor del aeropuerto disponible para: i. Desarrollo de nuevos combustibles o energía para la aviación: SAF, H2 ii. Economía circular aplicada a la aviación. iii. Operaciones de MRO basadas en procesos digitales y sostenibles. Iv. Proyectos de generación y uso de hidrógeno renovable. Hub aeronáutico, otras actividades logísticas de movilidad o industrial. v. Proyectos de red de polos especializados en operación de MRO, junto con Sevilla y Córdoba. Vi. Proyectos en

⁵⁵ Cátedra Iberia-UPM

⁵⁶ All4Zero - Powering change through collaboration

⁵⁷ ¿Qué es el Hub Aeronáutico Net Zero Jerez?

red con parques energéticos sostenibles como complemento al Campo de Gibraltar y Huelva. Vii. Proyecto de aceleración de startups y emprendedores. Viii. Proyectos de formación profesional.

Iberia forma parte del programa IAGOS (In-service Aircraft for a Global Observing System), en la que participan investigadores, universidades y servicios meteorológicos de Alemania, Francia y Reino Unido. En vuelos de aeronaves tipo Airbus A330-200 que opera rutas con Latinoamérica, han instalado un equipo de medición de manera indefinida, que permitirá analizar la composición química (H2O, O3, CO, CO2) y partículas del aire (aerosoles y nubes), y evaluar la calidad y composición de la atmósfera a grandes altitudes y en pleno océano Atlántico. Además, han instalado un paquete adicional que incluye la medición de óxido de nitrógeno (NOx), uno de los gases de efecto invernadero con mayor impacto. El sistema es capaz de realizar mediciones desde el propio despegue y durante la fase de crucero y aterrizaje. No necesita ningún tipo de acción por parte de la tripulación a bordo ya que, una vez en tierra, los datos obtenidos se envían de manera automática. Iberia también está pilotando mediciones de emisiones no CO2.

1.1. AVIONES DE ULTIMA GENERACION. RENOVACIÓN DE FLOTAS

Esta es una de las áreas a través de las que los operadores aéreos están consiguiendo grandes reducciones de emisiones debido al aumento de la eficiencia de los sistemas de propulsión y la disminución del consumo de combustible. Operadores españoles tales como Iberia, Wamos, Gestair y Plus Ultra, cuentan con planes de renovación de flota y con metas específicas en este aspecto incluyendo metas de disminución de emisiones. En la mayoría de los casos, estas renovaciones se están dando con aeronaves de nueva generación como los nuevos A350-900, A320, A321neo que reducen el consumo de combustible y emisiones de CO2 en un 35 y 15 %.

El operador **Wamos Air** ha realizado un plan de transición de flota B747 a A330 en el año 2021, produciendo una reducción cuantificada en un 30% de reducción en emisiones de CO2 por TKT que resulta en un ahorro de aproximadamente 20.000 Ton CO2 en el año 2021.

Plus Ultra reporta que durante el año 2023 se ha confirmado uno de los objetivos que se perseguían con la modernización de la flota: la reducción de las emisiones de carbón en un 13% por cada vuelo. Aunque se hayan aumentado el número de vuelos en las rutas regulares, la media de emisiones de carbono emitidas (tn) por ruta

En línea con el compromiso de alcanzar las cero emisiones netas para 2050, **Iberia Express** ha seguido avanzando en 2023 en la renovación de su flota y ha completado la incorporación de los 12 aviones A321neo en sustitución de modelos anteriores. Esto supone para Iberia Express contar con una flota integrada casi en un 50 % por aviones de nueva generación, siendo un 17 por ciento más eficiente que en 2019, antes de la incorporación del primer A321neo. Además, en los últimos cuatro años, Iberia Express ha reducido en un 13 por ciento las emisiones de CO2 por pasajero y kilómetro, gracias principalmente a la renovación de sus aeronaves, a medidas operacionales y un mayor factor de ocupación de sus vuelos. Estas y otras medidas han permitido a la aerolínea conseguir en 2023 la certificación medioambiental IEnvA de IATA.

1.2. EL AVIÓN DEL FUTURO – INNOVACIÓN DISRUPTIVA EN LAS AERONAVES

Existen muchos desarrollos hacia un nuevo avión, el avión del futuro, que nos permita volar sin dañar el medioambiente. Se presentan en esta sección desarrollos impulsados o liderados en España para la propulsión de hidrógeno, eléctrica y también para el uso de Unmanned Aircrafts (UAs) como modelo de transporte sostenible.

2.5.7. HIDRÓGENO VERDE PARA LA PROPULSIÓN DE AERONAVES

España avanza para ser un productor clave de hidrógeno verde en Europa, como parte de la estrategia de transición energética europea. El hidrógeno verde está emergiendo como una solución clave en España para avanzar hacia la descarbonización, especialmente en sectores de difícil electrificación como la aviación. Gracias a su capacidad de producir hidrógeno mediante electrolizadores alimentados con fuentes renovables, España aprovecha su abundante recurso solar y eólico. En el ámbito aeronáutico, el hidrógeno verde tiene el potencial de convertirse en combustible limpio para aviones, reduciendo drásticamente las emisiones de CO2. Además, el hidrógeno verde puede ser usado en la producción de combustibles fósiles y sostenibles, reduciendo las emisiones de estos en los procesos de producción y por tanto su ciclo de vida, dando lugar a los llamados Low Carbon Aviation Fuels (LCAF).

Es en este contexto y con este potencial en mente, que en 2023 nace la **Alianza para el Uso del Hidrógeno Verde en la Aviación (AH2A)**. La AH2A se constituyó formalmente el 25 de enero de 2023, formando su Consejo Rector el Ministerio de Transportes y Agenda Urbana (MITMA), la Agencia Estatal de Seguridad Aérea (AES), AENA, la Asociación Española de Operadores de Productos Petrolíferos (AOP), la Asociación de Líneas Aéreas (ALA), el Centro Nacional del Hidrógeno (CNH2), GASNAM, el Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA) y la Plataforma Tecnológica Aeroespacial Española (PAE). La Alianza tiene como principal objeto articular mecanismos de cooperación y coordinación entre todos los integrantes de la cadena de valor de la integración del hidrógeno en el sector de la aviación, de

modo que se apoye su transición energética hacia aeronaves y aeropuertos de cero emisiones. Entre los ámbitos de trabajo de la alianza se encuentran la determinación de necesidades de desarrollo, producción, almacenaje y distribución de hidrógeno verde para la aviación en España, así como la investigación y desarrollo de soluciones y el intercambio de información entre los diferentes agentes.

El primer hub aeroportuario de hidrógeno de España está a punto de despegar en 2024.

Seis compañías españolas se han unido en un acuerdo de colaboración para estudiar la creación de este primer intercambiador aeroportuario: **Airbus, Aena, Air Nostrum, Iberia, Exolum y Repsol.**

Lo singular de esta iniciativa es que es la primera vez que una colaboración reúne a toda la cadena de valor, desde la producción de energía primaria hasta las operaciones en tierra con hidrógeno, contando con dos compañías aéreas y una red completa de aeropuertos al mismo tiempo. La alianza, que proporcionará una visión holística del avión impulsado por hidrógeno y de cómo puede integrarse en el ecosistema aeroportuario, no solo se centrará en el suministro y la infraestructura de este vector energético, sino también en los requisitos de las operaciones en tierra en los aeropuertos.

La Universidad Politécnica de Madrid aloja en su Escuela Técnica Superior de Ingeniería Aeronáutica y del Espacio al Grupo de Investigación PicoHima⁵⁸. Este grupo centra su trabajo en la **investigación y ensayo de componentes** para su uso en pilas de combustible de membrana polimérica, **diseño y desarrollo de stacks**, tanto de pila de combustible polimérica como de electrólisis alcalina para producción de hidrógeno; y la elaboración de **estudios de viabilidad** para la integración de sistemas de pila de combustible tanto en vehículos aéreos como marinos. El grupo ha realizado avances en pilas de combustible (hidrógeno, metanol directo), y en motores de combustión interna de hidrógeno y usando combustibles sostenibles. Colaboran con un amplio grupo de organizaciones, y lideran el Master en Hidrógeno y Pilas de Combustible de esta misma escuela.

1.2.1. AERONAVES DE PROPULSIÓN ELÉCTRICA

La hibridación de la propulsión basada en la combinación de combustibles fósiles con propulsión eléctrica es un paso intermedio evidente entre las aeronaves tradicionales y la electrificación total⁵⁹. Actualmente existen algunos desarrollos que se encuentran en vuelos de prueba a nivel global.

Existen a nivel global avances en la aviación eléctrica, sobre todo con desarrollos de despegue vertical eVTOL. España ha apoyado desarrollos de aviones regionales y de aviación general puramente eléctricos. Un ejemplo es la compañía Dovetail⁶⁰, una start up australiana con filial en Jerez, Andalucía. La empresa Dovetail Aviation está desarrollando tecnologías innovadoras de propulsión eléctrica e híbrida para aviones,

⁵⁸ [PICOHIMA | Grupo de Investigación de la UPM](#)

⁵⁹ [Informe-Aeronautica-Sostenible_2023_Adenda.pdf](#)

⁶⁰ [Dovetail – Dovetail Electric Aviation](#)

incluyendo la implementación de sistemas de propulsión alimentados por hidrógeno. Estas soluciones están diseñadas para modernizar aeronaves existentes como las Cessna Caravan y King Air, convirtiéndolas en modelos más sostenibles mediante la reducción significativa de emisiones. En España, Dovetail ha realizado pruebas en tierra de un prototipo de tren motriz de hidrógeno-eléctrico, un paso importante hacia la validación de su tecnología en escenarios reales⁶¹. Dovetail ha colaborado con Air Nostrum. Dovetail ha recibido apoyo del programa Innova del ICEX con fondos del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia de la Unión Europea, así como de la Junta de Andalucía.



Ilustración 41 Dovetail Electric Aviation

1.2.2. UAVS

Existe mucha evolución en el área de los vehículos aéreos no tripulados (UAVs por sus siglas en inglés), un área en continuo desarrollo. La sostenibilidad de los drones y la movilidad aérea, incluidos UAM, AAM e IAS, depende de factores como la fuente de energía, las emisiones, la contaminación acústica, la infraestructura, la seguridad, la eficiencia, la aceptación pública, los avances tecnológicos y la evaluación de impacto ambiental. La implementación sostenible, con un enfoque en la energía limpia, la reducción de emisiones y la infraestructura eficiente, puede hacer que estas tecnologías sean más respetuosas con el medio ambiente, pero la planificación cuidadosa y la evaluación continua son esenciales para garantizar que se alineen con los objetivos de sostenibilidad y no dañen el medio ambiente o las comunidades⁶².

En España, los drones y aeronaves no tripuladas están transformando el transporte hacia modelos más sostenibles, gracias a innovaciones tecnológicas y aplicaciones en diversos sectores. Dos ejemplos destacados son:

1. **Inspección y mantenimiento en energías renovables:** Empresas como ACCIONA⁶³ emplean drones en plantas solares y parques eólicos para detectar fallos técnicos, pérdidas de material o problemas en los aerogeneradores. Esto evita desplazamientos innecesarios de personal, ahorrando combustible y tiempo, y contribuye a reducir emisiones de CO₂. Además, estos drones

⁶¹ [Dovetail Testing Prototype Hydrogen-Electric Powertrain | Aviation Week Network](#)

⁶² [Introduction to Environmental Footprint Aviation Study for Drones & eVTOLs | EASA](#)

⁶³ [Los drones, el gran aliado de la sostenibilidad](#)

realizan levantamientos topográficos y análisis con cámaras termográficas para mejorar la eficiencia energética de las instalaciones.

2. **Proyecto TRACE en Andalucía:** Este proyecto, desarrollado con el apoyo de la Agencia Espacial Europea, integra balizas inteligentes en drones para optimizar su posicionamiento mediante el sistema EGNOS. Los ensayos realizados en Linares (Jaén) y el Centro Experimental ATLAS mejoraron la identificación remota de drones, facilitando su uso en áreas urbanas y rurales. Estas innovaciones tienen aplicaciones futuras en transporte de mercancías y logística sostenible⁶⁴.

Existen diversos desarrollos en esta área. **Skydweller aero146**, empresa ubicada en España que desarrolla un vehículo aéreo no tripulado emplea un nuevo sistema de control FBW o fly-by wire impulsado por energía solar para los sectores comercial y defensa, ha anunciado que en febrero había finalizado con éxito las primeras pruebas de vuelo autónomo de su aeronave empleando su nuevo sistema de control fly-by-wire, diseñada para volar de forma autónoma durante tiempo indefinido. Con esto se concluye la validación inicial de conversión de una aeronave de vehículo pilotado a distancia a un sistema FWB redundante sin intervención del piloto, desde el despegue al aterrizaje de manera autónoma. Esta prueba demuestra la solidez de estos sistemas para reducir el riesgo en aire y permitirá la aceleración de la comercialización de Skydweller.⁶⁵



Ilustración 42 UAV Sky Dweller

⁶⁴ Los drones levantan el vuelo en Andalucía | Transformación Digital | Tecnología | EL PAÍS

⁶⁵ Informe-Aeronautica-Sostenible_2023_Adenda.pdf

Open Via Air ha sido galardonado en 2024 por el Ayuntamiento de Madrid con el premio 'A la aplicación de la tecnología e innovación para el fomento de la movilidad sostenible', reconocido con 15.000 euros, por su proyecto de logística aérea sanitaria. El proyecto Ale Hop, presentado por el consorcio formado por Citet, Bluenest, CEL, Cloud District y NTT Data, se trata de un proyecto de logística aérea sanitaria. El objetivo principal de su iniciativa es el transporte aéreo con drones en entornos urbanos, especialmente para el transporte de materiales sanitarios y de emergencia. Este enfoque no solo busca aliviar la congestión del tráfico por carretera, sino también abordar problemas críticos, como la entrega oportuna de suministros médicos a los hospitales.

2. COMBUSTIBLES SOSTENIBLES DE AVIACIÓN

Existe un gran consenso en que los combustibles sostenibles de aviación (SAF, por sus siglas en inglés) son la herramienta a corto y medio plazo para descarbonizar la aviación y alcanzar las metas acordadas globalmente en relación con las emisiones del sector.

España, como parte de los estados miembros de la OACI, ha respaldado los acuerdos alcanzados en la **Tercera Conferencia sobre Aviación y Combustibles Alternativos (CAAF/3)**, celebrada en Dubái en noviembre de 2023. En este evento, se adoptó un marco global para acelerar el uso de combustibles de aviación sostenibles (SAF) y otros combustibles limpios, con un objetivo colectivo de reducir la intensidad de carbono de la aviación internacional en un **5% para 2030**. El marco adoptado busca facilitar la inversión y desarrollo de tecnologías limpias en la aviación y asegurar que todos los países tengan las capacidades necesarias para contribuir a este objetivo común, bajo el principio de que ningún país quede atrás⁶⁶.

En el marco normativo, Europa a través del programa **ReFuel**⁶⁷ está impulsando su uso en la aviación comercial. España participa de manera activa a través de la DGAC y AESA en los grupos de trabajo creados para la implantación de este programa con éxito y los beneficios asociados y esperados se encuentran en la sección común europea de este plan.

Además, España cuenta con el **Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC)**⁶⁸ 2021-2030, que contempla entre sus medidas el desarrollo de SAF del sector aéreo mediante el "establecimiento de objetivos específicos de consumo de biocarburantes en aviación". El PNIEC incluye como prioridad el despliegue de biocarburantes en el transporte. La actualización del PNIEC para 2023-2030, reconoce que los SAF tienen el mayor potencial para ofrecer reducciones de GEI a corto plazo y que "la introducción gradual de SAF en el transporte aéreo representará un coste adicional para las aerolíneas y en último término para los viajeros, debido a que su producción tiene costes superiores a los de los combustibles de origen fósil".

⁶⁶ [ICAO Conference delivers strong global framework to implement a clean energy transition for international aviation](#)

⁶⁷ [ReFuelEU Aviation - European Commission](#)

⁶⁸ https://www.miteco.gob.es/images/es/pnieccompleto_tcm30-508410.pdf

En este sentido, incluye una serie de mecanismos de actuación para la implantación del programa ReFuel, el establecimiento de objetivos específicos de consumo de SAF, las obligaciones de suministro, la promoción del consumo o el apoyo para el despliegue de la distribución de SAF en los aeropuertos.

España cuenta igualmente con la **Ley 1/2005**, que tiene por objeto la regulación del régimen de comercio de derechos de emisión de gases de efecto invernadero e introduce las siguientes disposiciones. Esta ley incorpora aspectos relevantes para los SAFs como son el destino de los ingresos generados por la subasta de los derechos de emisión de gases de efecto invernadero y el factor de emisión cero para la biomasa.

Esta normativa se complementa con la **Ley 7/2021, de 20 de mayo, de cambio climático y transición energética**, donde en su artículo 13⁶⁹, se recoge la obligación de establecer objetivos anuales de integración de energías renovables y de suministro de combustibles alternativos en el transporte con especial énfasis los biocarburantes avanzados y otros combustibles renovables de origen no biológico, incluyendo de forma expresa el caso del transporte aéreo.

Además, la **ley 7/2022** establece el régimen jurídico para la gestión de residuos que pueden ser empleados para la producción de SAF y que prioriza el reciclaje para los residuos urbanos. Esta normativa se complementa con el **Real Decreto RD376/2022** que transpone parcialmente aspectos de la normativa europea RED y que define las materias primas.

Existe por tanto una combinación de normativa europea y nacional que apuestan por el SAF como herramienta de descarbonización para la aviación. El reto es ahora la implementación para alcanzar estos objetivos y poner en marcha esta normativa asegurando la competitividad del sector de la aviación.

Esta sección presenta medidas en los ámbitos de alianzas y cooperación técnica, I+D y avances en capacidad productiva y de distribución en España. También incluye algunos de los compromisos y alianzas realizadas por los operadores aéreos españoles para el uso del SAF en sus operaciones.

⁶⁹ Artículo 13. *Objetivos de energías renovables y combustibles alternativos sostenibles en el transporte.*
1. *El Gobierno establecerá objetivos anuales de integración de energías renovables y de suministro de combustibles alternativos en el transporte con especial énfasis en los biocarburantes avanzados y otros combustibles renovables de origen no biológico. En el caso del transporte aéreo, los objetivos se establecerán a propuesta conjunta de los Ministerios de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana y para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, debiendo tener en cuenta la lejanía y realidad de los territorios insulares.*

2. Reglamentariamente el Gobierno adoptará las medidas necesarias para lograr el cumplimiento de los objetivos de integración de energías renovables y suministro de combustibles alternativos en el transporte, con especial énfasis en los biocarburantes avanzados y otros combustibles renovables de origen no biológico en el transporte aéreo, incluidos los combustibles sintéticos en cuya fabricación se hayan usado exclusivamente materias primas y energía de origen renovable.

2.1. ALIANZAS Y COOPERACIÓN TÉCNICA.

En 2023 nace la **Alianza para la Sostenibilidad del Transporte Aéreo en España (AST)**⁷⁰. Los principales agentes del sector empresarial, académico y ONGs acuerdan unirse para crear esta alianza para dar respuesta al mayor reto presente y futuro de la aviación, la sostenibilidad. Esta unión nace con el objetivo de promover el desarrollo de una aviación sostenible tanto desde la perspectiva medioambiental, como económica y social. La Alianza arrancó en 2023 por el Consejo Rector, formado por ALA, Airbus, Aena, AESA, Air Europa, Air Nostrum, AOP, Binter, Boeing, CEOE, ECODES Ecología y Desarrollo, ENAIRE, Exolum, IATA, Iberia, SENASA, TEDAE, Transport & Environment, la Universidad Politécnica de Madrid (UPM) y Vueling⁷¹. El MTMS se ha unido en 2024. Entre los objetivos de la AST figuran liderar la descarbonización del sector, abarcando todas las soluciones y tecnologías posibles para conseguirlo y potenciando la capacidad industrial de España para ofrecer tecnologías disruptivas, así como otras alternativas bajas en carbono y proyectos de economía circular. También fomentar la colaboración público-privada para favorecer la I+D+i y acelerar el desarrollo de aeronaves bajas en carbono. Favorecer la producción a gran escala de combustibles sostenibles de aviación (SAF) en España es otro de sus objetivos; además de promover el desarrollo de iniciativas que garanticen la circularidad de los residuos generados por el sector.

Como una de sus primeras actividades, la AST ha liderado la elaboración de un **White Paper en SAF** con el objetivo de reflejar la situación actual en España de los SAF y contribuir a su difusión. Este White paper se publicará en 2025 y profundiza en la cadena de suministro de los SAFs, sus implicaciones e impactos, y los mecanismos de ayuda e incentivos para fomentar su producción y uso. También dedica un capítulo a la certificación de sostenibilidad y la trazabilidad.

En paralelo, se han ido desarrollando diferentes publicaciones para avanzar la difusión de los SAF en España. Entre ellas cabe destacar la publicación del **Colegio Oficial de Ingenieros Aeronáuticos de España (COIAE)** que analiza los SAFs⁷², entre otros aspectos relacionados con la sostenibilidad de la aviación. El COIAE también ha publicado recientemente un informe sobre SAF comisionado por la **Embajada de UK** y en el marco de un Memorandum of Understanding entre España y Gran Bretaña, enfocado en los SAFs, y que describe las diferentes políticas y entornos que estos dos países están avanzando para promover la producción y uso de SAFs⁷³.

El informe “**¿Cómo hacer de España el líder europeo de SAF? Hoja de ruta para la descarbonización del transporte aéreo**”, impulsado por Moeve (antigua Cepsa), Iberia, Iberia Express, Vueling y Biocirc (Asociación Española de

⁷⁰ [AESA se suma a la Alianza para la Sostenibilidad del Transporte Aéreo | AESA-Agencia Estatal de Seguridad Aérea - Ministerio de Fomento](#)

⁷¹ La creación de la AST viene conformada por estas organizaciones en 2023, pero actualmente se ha modificado la composición de la alianza y se está en proceso de consolidación de este proceso de modificaciones a los socios de la AST

⁷² [La aviación y su camino hacia la sostenibilidad en 2023 - Noticias Airline92 Sostenibilidad](#)

⁷³ [Informe: La colaboración entre Reino Unido y España en materia de producción y regulación de SAF - Colegio Oficial de Ingenieros Aeronáuticos de España](#)

Biocircularidad) en 2024, recoge 16 medidas económicas, regulatorias y de colaboración público-privada, con las que se considera que la producción y consumo de los SAFs posicionaría a España a la cabeza de esta nueva tecnología⁷⁴. En él, se identifica la inversión necesaria de 22.000 millones de euros para la construcción de instalaciones y la generación de 270.000 puestos de trabajo directos, indirectos e inducidos hasta 2050. Además, el desarrollo de esta industria podría tener un impacto de 13.000 millones de euros en el PIB español únicamente por la construcción de las plantas, a lo que se sumarían 42.851 millones de euros por la operación de estas hasta 2050.



Ilustración 43 Propuesta de medidas para la hoja de ruta en el informe de Moeve (antigua Cepsa), Iberia, Iberia Express, Vueling y Biocirc, 2024

Asimismo, se han realizado diversos eventos y talleres de diálogo de política pública, para hacer difusión a los SAFs y el reglamento ReFuel.



Ilustración 44 Jornadas promovidas por el MTMS y Airbus para dialogar sobre SAF

⁷⁴ La producción de SAF, la gran oportunidad de España para liderar el transporte aéreo sostenible.

España es miembro del programa ACT-SAF de OACI como país donante. En coordinación con la Unión Europea y EASA, España ha participado en intercambios de diversa índole, principalmente con la región de América Latina.

En este sentido, en el marco del proyecto de cooperación internacional EU LAC APP II⁷⁵, financiado por la Unión Europea y coordinado por EASA, en agosto de 2024 se celebró en la ciudad de Asunción, Paraguay, un evento vinculado al estado del arte y futuros pasos en el ámbito de los combustibles sostenibles de aviación en la región⁷⁶.

2.2. PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO SOBRE SAF LIDERADOS O CON PARTICIPACIÓN ESPAÑOLA.

En España, varias universidades están activamente involucradas en proyectos de I+D relacionados con los combustibles sostenibles de aviación (SAF). Existe una alta participación de la academia española en proyectos de I+D españoles y europeos.

La **Universidad Politécnica de Madrid (UPM)** coordina el proyecto europeo **ALTERNATE**, que busca ampliar el conocimiento sobre los SAF mediante campañas de ensayos y evaluaciones costo-beneficio de nuevos tipos de estos combustibles. Este proyecto involucra a múltiples entidades para optimizar la planificación de vuelos y promover el uso de SAF en el transporte aéreo y se financia en el marco del programa Horizon de Europa⁷⁷.

La **Universidad Rey Juan Carlos (URJC)** está desarrollando investigaciones sobre combustibles sostenibles para descarbonizar el transporte aéreo. Sus proyectos buscan soluciones innovadoras para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en este sector. Un ejemplo, es la participación de la universidad en el proyecto BIOCTANE⁷⁸. El proyecto **BIOCTANE** tiene como objetivo desarrollar y optimizar un proceso innovador para la fabricación de biocombustibles para la aviación. El reto consiste en convertir residuos orgánicos con un alto contenido de agua, como residuos alimentarios o material orgánico procedente de la industria alimentaria, en combustibles para aviación listos para su comercialización y con una huella de carbono reducida. La Universidad Rey Juan Carlos (URJC) es una de las seis instituciones de investigación asociadas para desarrollar esta nueva forma de producir combustibles sostenibles para la aviación (SAF, por sus siglas en inglés). El consorcio BIOCTANE está coordinado por la Fundación IMDEA Energía y en el proyecto también participan el Instituto Nacional de Investigación para la Agricultura, la Alimentación y el Medio Ambiente (INRAE) de Francia, el Instituto Paul Scherrer (PSI) de Suiza, los Institutos de Microbiología Tecnológica y de Tecnología Ambiental y Economía de la Energía de la Universidad Técnica de Hamburgo, y la Iniciativa de Aviación para Energías Renovables de Alemania. En concreto, el grupo de Ingeniería Química y Ambiental de la URJC, en colaboración con investigadores de la Fundación IMDEA Energía, será el encargado de desarrollar catalizadores multifuncionales para

⁷⁵ <https://www.eu-lac-app.eu/>

⁷⁶ <https://eu-lac-app.eu/project-activities/workshop-on-sustainable-aviation-fuels>

⁷⁷ ASSESSMENT ON ALTERNATIVE AVIATION FUELS DEVELOPMENT | ALTERNATE | Project | Fact sheet | H2020 | CORDIS | European Commission

⁷⁸ Sustainable fuels to decarbonize aviation - Rey Juan Carlos University

la transformación de compuestos químicos obtenidos en procesos biotecnológicos previos en una mezcla de hidrocarburos para ser empleados en aviación.

El **Instituto de Investigación en Energía de Cataluña (IREC)**, vinculado a la Universidad de Barcelona, investiga la producción de SAF a partir de fuentes como aceites vegetales, biomasa y residuos, promoviendo avances en biocombustibles y combustibles sintéticos. El IREC realiza investigaciones significativas en el ámbito de los combustibles sostenibles para la aviación (SAF). Entre sus proyectos destaca el desarrollo de biocombustibles y combustibles sintéticos a partir de fuentes como aceites vegetales, biomasa y residuos. Una de sus innovaciones más notables es la tecnología de metanación catalítica, que combina biogás con hidrógeno verde para producir metano renovable. Este proyecto, desarrollado en colaboración con Naturgy, busca validar tecnologías de bajo costo y alta eficiencia para entornos rurales, utilizando reactores que aprovechan el calor generado en el proceso, mejorando así la sostenibilidad del modelo⁷⁹. Además, el IREC participa en iniciativas más amplias como la transformación de residuos forestales y municipales en SAF, apoyándose en tecnologías catalíticas avanzadas que eliminan el oxígeno de las moléculas de biomasa para convertirlas en hidrocarburos utilizables. Estos esfuerzos están alineados con los objetivos globales de descarbonización del sector aeronáutico.

España además cuenta con centros de investigación de biomasa tales como el Centro Nacional de Energías Renovables CENER que están desarrollando rutas tecnológicas para la producción de SAF⁸⁰.

España tuvo un papel destacado en el proyecto ITAKA (Initiative Towards sustAinable Kerosene for Aviation), una iniciativa financiada por la Unión Europea dentro del Séptimo Programa Marco (FP7). Este proyecto buscó demostrar la viabilidad de la cadena de valor completa para la producción y el uso de combustibles sostenibles de aviación (SAF) en Europa, centrándose especialmente en la camelina como materia prima. España tuvo una participación activa en:

- Producción de camelina: La "Camelina Company España" fue clave en el cultivo de camelina, una planta oleaginosa que se utilizó como materia prima para los biocombustibles en el proyecto. Se centró en desarrollar métodos agrícolas adaptados al clima europeo y en maximizar los rendimientos de aceite, a pesar de que los resultados iniciales estuvieron por debajo de lo esperado.
- Procesamiento y suministro: El aceite extraído de la camelina fue procesado en la refinería de Neste en Porvoo, Finlandia, utilizando tecnología HEFA (Hydroprocessed Esters and Fatty Acids). Este biocombustible se utilizó posteriormente en vuelos comerciales dentro de Europa, como la serie de vuelos operados por KLM.
- Coordinación y evaluación: Entidades como SENASA, con sede en España, estuvieron involucradas en la gestión del proyecto y en la evaluación de sostenibilidad, incluyendo aspectos sociales, económicos y ambientales. El biocombustible producido cumplió con estándares de sostenibilidad estrictos,

⁷⁹ [Quienes somos - IREC](#)

⁸⁰ [Biomasa - CENER - Centro Nacional de Energías Renovables](#)

alcanzando al menos un 60% de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero en comparación con los combustibles fósiles convencionales

Estas iniciativas, un ejemplo entre otras muchas, reflejan el compromiso de España con la sostenibilidad en la aviación, apoyadas por políticas europeas como el plan Fit for 55, que fomenta el uso de SAF para cumplir objetivos de descarbonización.

2.3. AVANCES EN LA CAPACIDAD PRODUCTIVA.

España está dando pasos importantes en la ampliación de la capacidad de producción de SAF a nivel nacional. El impulso está impulsado principalmente por grandes compañías de petróleo y gas como Repsol, Cepsa y BP. Estas han comenzado a producir SAF en el país mediante coprocesamiento, pero también apuntan a la construcción de unidades dedicadas a HEFA, que ampliarían aún más la capacidad de producción⁸¹.



Ilustración 45 Capacidad actual de SAF en España (Fuente: Informe PWC "Como hacer de España el líder productivo de SAF, 2024")

⁸¹ State of the EU SAF market in 2023 - Fuel reference prices, SAF capacity assessments | EASA



Ilustración 46 Capacidad planificada de SAF en España (Fuente: Informe PWC "Como hacer de España el líder productivo de SAF, 2024"

España tiene la oportunidad de ser líder en la producción de SAF. Por parte de Moeve (antigua **Cepsa**) ha comenzado, en febrero de 2024, la construcción de una planta de biocombustibles de segunda generación, con una inversión de unos 1.000 millones de euros. Esta instalación, que se ubicará en Palos de la Frontera (Huelva), tendrá en 2026 una capacidad de producción flexible de 500.000 toneladas de SAF y diésel renovable. **BP** cuenta con una refinería de Castellón que comenzó a coprocesar SAF en 2023, y los lotes iniciales se entregaron al aeropuerto de Zaragoza; actualmente está ampliando sus operaciones estableciendo una planta HEFA dedicada en la refinería de Castellón. **Repsol** tiene desarrollos de HEFA en su planta en Cartagena⁸².

Además, existen desarrollos de tecnologías PtL y biocombustibles avanzados. Entre ellos se encuentra el proyecto de **Solarig**, que planea abrir una planta de de SAF que combine las tecnologías Gas-to-liquid y Power to liquid. Empleará **recursos agroganaderos de proximidad** como materia prima. Repsol y Synhelion también tienen en desarrollo plantas de Power to Liquid planificadas.

El Fondo de Innovación europeo está apoyando proyectos de desarrollo en España de componentes tales como el e-metanol (en colaboración con Iberdrola en su proyecto **Green Meiga**⁸³ o la planta **Triskelion**⁸⁴ de metanol verde, así como desarrollos innovadores en residuo a metanol en la **ECOPLANTA** y de biometano en el proyecto **W4W**.

Es en esta área donde las principales compañías expresan una necesidad mayor de apoyo tanto técnico como financiero, para asegurar que se dispone de la capacidad productiva necesaria en España para cumplir la normativa asociada a través del programa europeo ReFuel.

⁸² [State of the EU SAF market in 2023 - Fuel reference prices, SAF capacity assessments | EASA](#)

⁸³ [E-Methanol GREEN MEIGA Project - Iberdrola](#)

⁸⁴ [triskelion green methanol plant](#)

La Asociación Española de Operadores de Productos Petrolíferos, AOP, ha identificado una serie de medidas de apoyo para poder alcanzar el desarrollo de los SAFs, que incluyen, entre otras: 1/ La implementación del PNIEC actualizado 2023-2030; 2/ La necesidad de claridad sobre las interacciones entre el Reglamento RefuelEU Aviation, la Directiva de Energías Renovables (RED) y la Directiva de comercio de emisiones (ETS1-aviación); 3/ La creación de un fondo nacional para la financiación y apoyo de proyectos SAF; 4/ La creación de un programa de ayudas para el desarrollo de cadenas de valor de aprovechamiento de residuos para la producción de SAF; 5/ Incentivos fiscales, y; 6/ Créditos fiscales.

La red logística para distribución de combustibles a aeropuertos en España está liderada por el sistema logístico de Exolum, que cubre la gran mayoría de la Península Ibérica e Islas Baleares. La 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. Exolum opera en 35 de los principales aeropuertos de España, y también presta servicio en las instalaciones de Airbus en Sevilla y Getafe. Además, gestiona las seis redes de hidrantes de los principales aeropuertos del país Adolfo Suárez Madrid-Barajas, Barcelona-El Prat, Málaga, Palma de Mallorca, Alicante y Tenerife Sur, y dispone de una extensa flota de unidades repostadoras y vehículos dispensadores.

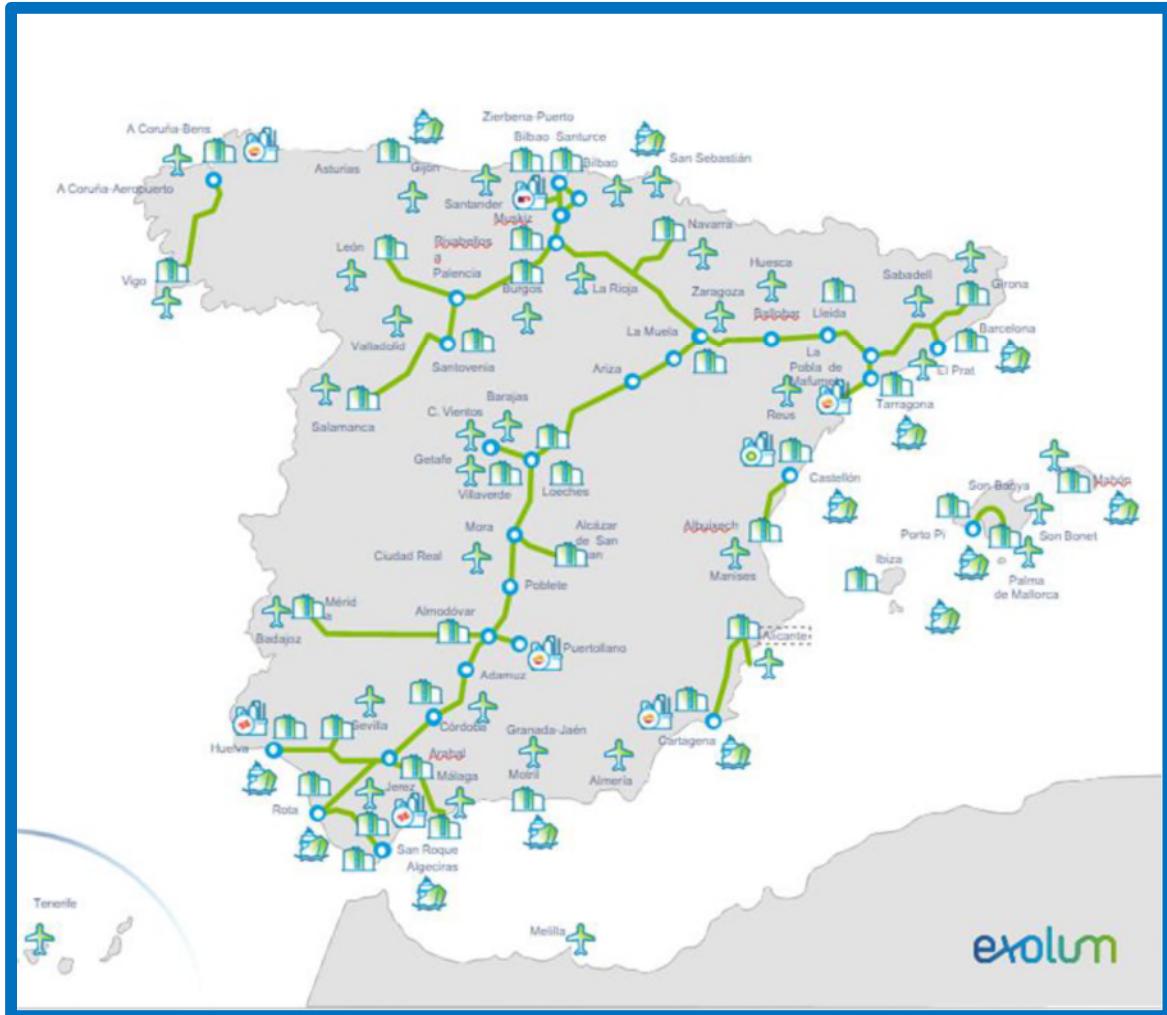


Ilustración 47 Red de refinerías, oleoductos y instalaciones aeroportuarias en España (Exolum)

El modelo de funcionamiento en España integra las actividades de almacenamiento y transporte, lo que 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.

El transporte de combustibles mediante la red de oleoductos es el medio más respetuoso con el medioambiente. La utilización de los oleoductos para transportar combustibles evita la emisión a la atmósfera de una importante cantidad de CO2 que se generaría si el transporte se hiciera por otros medios. En los aeropuertos grandes, la mayor reducción del consumo se da por el uso del hidrante.

Con la puesta en marcha del **hidrante de Alicante** se realizó análisis del consumo de gasóleo y la relación con **uso del hidrante**, siendo la **reducción del consumo de gasoil de un 45%**. En los aeropuertos mayores, con distancias más largas para cargar y generalmente mayor volúmenes por operación que los volúmenes transportados son mayores, el consumo de gasóleo se reduce significativamente.

Exolum ha implantado el servicio de abastecimiento de SAF en las instalaciones de San Fernando de Henares – Torrejón de Ardoz, Barcelona y en los aeropuertos de Madrid y Barcelona y también se han realizado suministros de SAF en Zaragoza, Sevilla, Málaga y Palma. Además, Exolum cuenta con las diferentes certificaciones ISCC, promoviendo que, a través de un mercado libre, cualquier operador pueda suministrar SAF desde nuestras instalaciones aeroportuarias. Bajo estos esquemas de certificación de la sostenibilidad de ISCC, se ha consignado también producto sostenible en Ibiza y en los aeropuertos de Bilbao, Mahón, San Sebastián y Getafe.

2.4. EL COMPROMISO DE LOS OPERADORES AEREOS ESPAÑOLES

Los operadores españoles han mostrado un gran compromiso con el uso de los SAFs, a través de acuerdos con productoras que en muchos casos exceden los mínimos que impone la normativa. Se incluyen en esta sección algunos de los acuerdos más relevantes en este sentido, pero son muchos los compromisos adquiridos por los operadores tanto para cumplir el mandato de ReFuel como para ir más allá utilizando mayores volúmenes.

El operador EVELOP, en línea con su compromiso con la descarbonización del mismo para conseguir las emisiones netas en 2050, ha comenzado con la adquisición de combustible de aviación sostenible en 2024. En 2024 se ha realizado un pedido al suministrador REPSOL de combustible SAF de 158 TM de los cuales ya se han suministrado 54 M3 a fecha de este documento. Adicionalmente en 2024 EVELOP ha firmado un MOU con REPSOL para asegurar el suministro de SAF durante los siguientes años en las siguientes cantidades:

2025	2026	2027
1.196,67	1.220,60	1.245,01

Ilustración 48 Compromiso de compra de SAF en m3 por Evelop

Dichas cantidades están por encima del 2% de SAF que se suministrará en 2025 por la entrada en vigor de la normativa ReFuel Aviation que exige a dichos suministradores la inclusión de este SAF en los aeropuertos de la unión europea.

El operador **Iberia en el marco del grupo AIG** tiene metas y acuerdos ambiciosos para promover el uso de SAFs en sus operaciones, con el compromiso de utilizar SAF

en el 10 % de sus vuelos en el año 2030. La estrategia ambiental de IAG contempla el fomento del uso de estos combustibles dentro del Grupo, con el mismo compromiso de uso de SAF y de invertir alrededor de 865 M\$ en SAF en los próximos 20 años (cifra que sigue aumentando). El acuerdo estratégico que de Iberia con Repsol contempla para los próximos años una hoja de ruta para la promoción de los combustibles sostenibles de aviación (SAF). Este producto se elaborará en la primera planta de biocombustibles avanzados de España, en Cartagena (Región de Murcia). Para 2025, Iberia tiene previsto operar con SAF sintético (e-fuel) producido en la planta de Petronor (Bilbao)⁸⁵.

En 2021, **IAG** firmó un acuerdo con la empresa Velocys para adquirir 220.000 toneladas de SAF durante diez años, cuando comience a distribuirlo en 2026, con el objetivo de que pueda ser utilizado por Iberia, British Airways y Aer Lingus. La tecnología empleada en este proyecto capturará el CO2 del proceso de fabricación, eliminándolo así permanentemente de la atmósfera. Igualmente, Iberia ha firmado un acuerdo de suministro de SAF con Gevo para que los vuelos de Iberia con origen en sus destinos del Estado de California (Estados Unidos) operen con un 45 % de SAF a partir de 2028. Actualmente Iberia tiene un convenio de colaboración con las principales productoras españolas, Repsol y Moeve (antigua Cepsa), para avanzar hacia una movilidad más sostenible. Como fruto de estas colaboraciones, en los últimos años se han operado varios vuelos demostrativos con SAF producido en España, tanto de corto como de largo radio.

El **operador Vueling** ha adquirido 9.000 toneladas de combustible sostenible para la aviación (SAF) que se suministrarán a los aeropuertos españoles en 2024. Este suministro forma parte del acuerdo que IAG ha firmado con la compañía energética Repsol para proporcionar más de 28.000 toneladas de SAF a las aerolíneas del grupo que operan desde aeropuertos en España. Este acuerdo representa la mayor compra voluntaria de SAF realizada en España hasta la fecha. Con este movimiento, Vueling refuerza su compromiso con la descarbonización y, en 2024, proveerá alrededor de 10.000 toneladas de SAF a los aeropuertos españoles, lo que supone multiplicar por ocho su suministro anual en comparación con 2023, cuando ya había cuadruplicado su uso respecto al año anterior.

3. MEJORAS DE LA GESTIÓN DEL TRÁNSITO AÉREO Y DE LAS OPERACIONES

Las medidas centradas en las mejoras de la gestión del tránsito aéreo se enmarcan a nivel europeo dentro del programa SESAR (*Single European Sky ATM Research*), descrito en la sección relativa a medidas de mitigación de carácter supranacional del presente Plan, que conllevan una potencial reducción de las emisiones de CO₂ del sector aéreo en España.

Se incluyen en esta sección los desarrollos relacionados con la actualización de los avances del plan Green Sky de Enaire – el principal proveedor de servicios de navegación aérea en España – incluyendo la implementación de la navegación PBN, la actualización de la implementación del plan de sostenibilidad de Aena en relación a las operaciones en aeropuerto, y acciones lideradas por los operadores aéreos, el

⁸⁵ 475_109_1726661907.pdf

gestor aeroportuario y la academia para mejorar sus operaciones reduciendo su huella de carbono.

3.1. PLAN GREEN SKY DE ENAIRE⁸⁶⁸⁷

El Consejo de Administración de ENAIRE, gestor nacional de navegación aérea, ha aprobado su Estrategia de Sostenibilidad Ambiental en el marco de su Plan Estratégico, Plan de Vuelo 2025. Con esta nueva estrategia, que recibe el nombre de "Green Sky", ENAIRE quiere contribuir a una aviación y a un transporte aéreo más sostenibles mediante todo tipo de acciones y mejoras en la gestión del tránsito aéreo. Uno de los objetivos del Plan de Vuelo 2025 es la Sostenibilidad: "Contribuir a la movilidad sostenible en el sector del transporte aéreo, minimizando el impacto de la actividad de ENAIRE en el medioambiente y apostando por su descarbonización". Dicho objetivo se traduce en el Plan de Sostenibilidad Ambiental, "**Green Sky**", que contiene a su vez cinco iniciativas: Fly Clean, Fly Quiet y Eco-ENaire, Compromiso Verde y Responsabilidad Ambiental.

Fly Clean es la iniciativa para reducir las emisiones de las aeronaves mediante la mejora de la eficiencia de los vuelos que operan en el espacio aéreo español. La eficiencia horizontal de los vuelos conseguirá reducir las distancias y los tiempos de las rutas aéreas y del rodaje de las aeronaves en los aeropuertos. Para ello se optimizará la red de rutas mediante la coordinación civil-militar, que hará posible un uso más flexible del espacio aéreo reservado a las necesidades de la Defensa, así como la implantación del "free route" que permitirá el vuelo directo punto a punto dentro de nuestro espacio aéreo. En eficiencia vertical se propone la mejora de despegues y aterrizajes con ascensos y descensos continuos, así como el uso de niveles de vuelo óptimos. Las rutas más directas ahorrarán 9,8 millones de kilómetros de 2021 a 2025, lo que supone 246 vueltas a la Tierra. Asimismo, ello estima un ahorro de 58.500 toneladas de combustible, que suponen 18,7 millones de euros ahorrados para las compañías aéreas. En dicho periodo, las rutas más directas evitarán la emisión de 185.000 toneladas de CO₂, equivalente al CO₂ que absorberían 9,2 millones de árboles.

Fly Quiet es la iniciativa de ENAIRE para reducir la afección acústica sobre poblaciones y sobre la biodiversidad. En este sentido, ENAIRE trabaja en el diseño de rutas más eficientes basadas en tecnología satelital (PBN) que permiten evitar el sobrevuelo de poblaciones, así como en un análisis sistemático de la posible afección acústica de cada proyecto de maniobras aéreas. En relación con biodiversidad, ENAIRE realiza análisis de posible afección, especialmente sobre la avifauna en espacios naturales protegidos. El resultado será la reducción de la afección acústica derivada del tráfico aéreo y un menor impacto sobre la biodiversidad mediante el análisis pormenorizado del 100% de los proyectos de ENAIRE.

Eco-ENaire es la iniciativa para reducir las emisiones de las propias instalaciones de ENAIRE mediante el recurso a energías renovables, la sustitución de vehículos

⁸⁶ ENAIRE lanza Green Sky, su nueva Estrategia Ambiental para una aviación sostenible

⁸⁷ Nuestro compromiso

más eficientes y otras actuaciones de eficiencia energética y economía circular. Desde 2015, el 100% de la energía que utiliza ENAIRE procede de fuentes con garantía de origen renovable. ENAIRE fomentará las energías renovables y el autoconsumo. Desde 2015 (exceptuando el periodo correspondiente a la crisis energética derivada de la guerra de Ucrania), el 100% de la energía procede de origen renovable, lo que ha permitido ahorrar más de 100.000 T de CO₂. Asimismo, se propone reducir el 10% el consumo de energía total de ENAIRE con respecto a 2011. Se reduce el consumo en iluminación mediante la implantación de tecnología alternativa más eficiente, el fomento de la economía circular mediante la inclusión de criterios de sostenibilidad en los procedimientos de compra y reciclaje y reducción de residuos, así como la inclusión de criterios de sostenibilidad de nuestros edificios y la descarbonización paulatina de la flota de vehículos.

Compromiso Verde, buscando la excelencia y diseñando procedimientos para: - La optimización de los procesos y del reporting, cumplimiento normativo y control de procesos, buscando con ello la mejora de la gestión ambiental; - Auditorías de eficiencia energética; - Reporte CSRD (Directiva de informes de sostenibilidad corporativa), GRI (Iniciativa de Reporte Global); - Certificación Huella de Carbono; - Certificación Green ATM (Programa de acreditación ambiental de CANSO); - Contratación Sostenible; - Certificación ISO 50.001 Sistemas de Gestión Energética.

Responsabilidad Ambiental: En su compromiso con la Responsabilidad Ambiental, ENAIRE trabaja en la reducción y seguimiento de la afección ambiental de sus proyectos, mediante la mejora de la gestión ambiental de los proyectos de infraestructuras con el análisis DNSH (principio "Do No Significant Harm") y el seguimiento de los proyectos PRTR (Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia), así como en la realización de estudios de biodiversidad y el seguimiento del impacto de los proyectos operativos (Plan PBN).

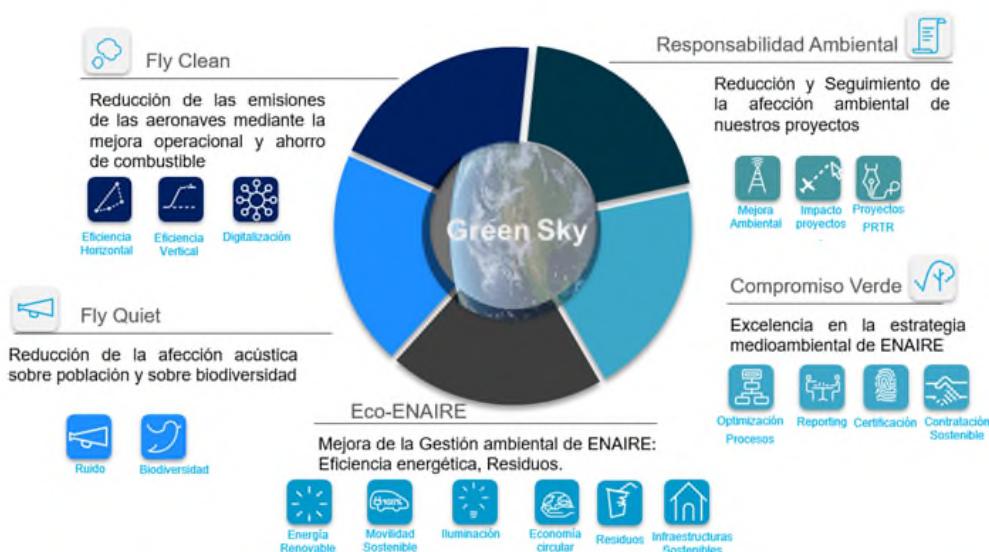
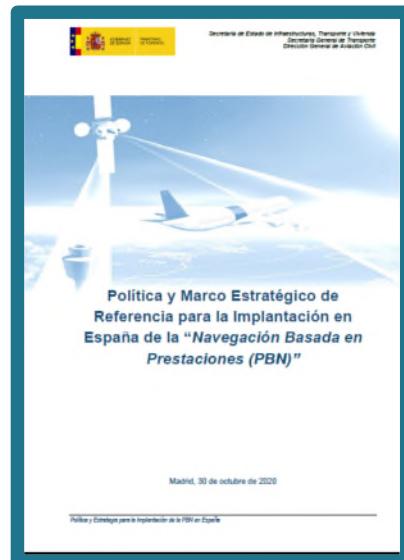


Ilustración 49 Estrategia Green Sky de Enaire

Además, en octubre de 2020 el Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana publicó la **“Política y Estrategia para la Implantación de la PBN en España”**⁸⁸, por la que se establecen los criterios y directrices para la implantación en España de la Navegación Basada en Prestaciones exclusivamente para el ámbito de la aviación civil. Adicionalmente, define la política y establece el marco de referencia para su implantación, de acuerdo con las estrategias internacionales.

El **“Plan de Transición PBN”**⁸⁹ español sienta las bases para los otros dos vectores de cambio derivados de la implantación del concepto PBN: la racionalización de radioayudas a la navegación y el cumplimiento de los objetivos medioambientales.

Este plan, elaborado por ENAIRE y revisado por la Autoridad Competente de España (CIDETMA), es aplicable tanto a ENAIRE como a los demás proveedores de servicios ATM/ANS civiles certificados en España. Actualmente con diversas revisiones, y está en período de implementación.



3.2. PLAN DE ACCIÓN CLIMÁTICA 2021-2030 DE AENA. RUMBO CERO EMISIONES

El plan estratégico Plan de Acción Climática 2021-2030, publicado en marzo de 2021 y actualizado en 2023, establece las actuaciones a implantar en los próximos años por parte de AENA S.M.E. S.A. en materia de descarbonización y los futuros objetivos asociados a este respecto. Este plan incluye también los requerimientos de la normativa AFIR⁹⁰ europea, por la que se establecen medidas para ampliar el despliegue de estaciones de recarga o de repostaje alternativas para automóviles, camiones o aviones.

El Plan de Acción Climática permitirá en 2026 alcanzar la neutralidad de carbono y la consecución del Net Zero en 2030⁹¹ de las emisiones asociadas a las operaciones propias de Aena. El desarrollo de este plan supone unas inversiones cercanas a 550M € (periodo 2021-2030).

El PAC se estructura en tres programas estratégicos, diseñados a partir de los riesgos físicos y de transición identificados, que a su vez se desarrollan en las correspondientes líneas de acción. Para la consecución de los objetivos estratégicos establecidos, Aena incluye la puesta en marcha de un conjunto de actuaciones y medidas efectivas, centradas en la eficiencia energética, el uso de energías

⁸⁸ [INFORME SOBRE LA MODIFICACIÓN PUNTUAL DEL PLAN GENERAL](#)

⁸⁹ [Implantación PBN en España | Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible](#)

⁹⁰ [Nuevo Reglamento europeo para aumentar las estaciones de recarga y repostaje - AFIR | Estrategia de Movilidad Segura, Sostenible y Conectada 2030](#)

⁹¹ En 2024, el Plan de Acción Climática de Aena actualizó su objetivo Net Zero adelantando su consecución a 2030.

renovables, la movilidad sostenible, la reducción de emisiones de terceros y la descarbonización de procesos y actividades.



Ilustración 50. Alcance del Plan de Acción Climática 2021-2030 de AENA.

Fuente: Informe Actualizado del PAC 2023

En este sentido, y en relación a las medidas de mitigación contempladas en este apartado, entre las líneas de acción impulsadas desde el gestor aeroportuario AENA, que facilitarán y promoverán la descarbonización del sector aéreo español, se destacan las contempladas en el programa estratégico de Aviación sostenible, entre las que se incluyen:

- Colaboración estrecha con ENAIRE y aerolíneas y ground handling para reducir las emisiones generadas en las operaciones aeroportuarias.
- Electrificación de la flota de ground handling y consumo de combustibles sostenibles.

Entre los objetivos estratégicos de este programa se incluyen la reducción de emisiones de agentes handling, porcentaje de flota eléctrica y consumo de combustible sostenible en equipos y vehículos handling, el número de puntos de recarga en lado tierra y aire o el aumento del número de aeropuertos con A-CDM y servicios de Torres Avanzadas.

Adicionalmente, el PAC contempla como objetivos que en el periodo 2021-2025 el tiempo adicional de Taxi-out medio, así como el tiempo adicional en ASMA de los

cinco grandes aeropuertos españoles (Madrid, Barcelona, Palma, Málaga y Gran Canaria) será inferior al de los cinco grandes aeropuertos europeos (Londres-Heathrow, Amsterdam-Schiphol, Frankfurt-Main, Paris-Charles de Gaulle y Roma-Fiumicino).

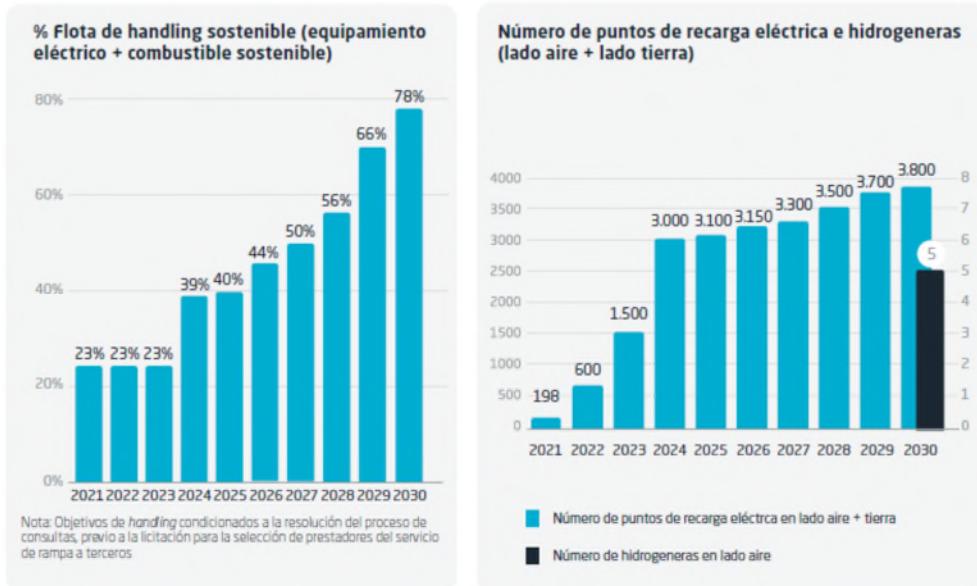
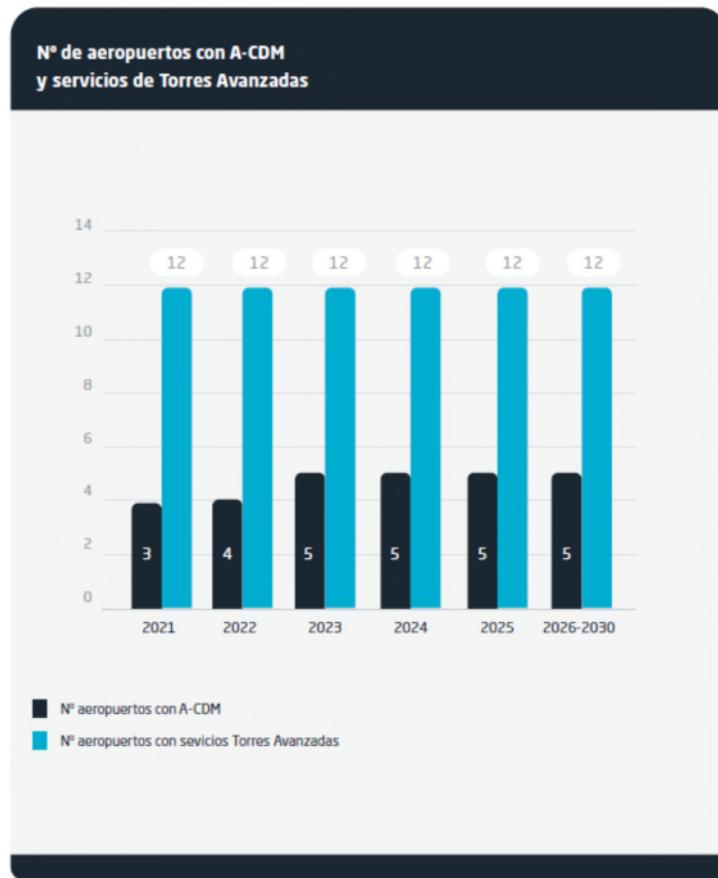


Ilustración 51.. Objetivos estratégicos del Programa nº 2 Aviación Sostenible del Plan de Acción Climática 2021-2030 de AENA

La consecución de estos objetivos de ámbito estratégico es contemplada a partir de la ejecución de las medidas reflejadas en la figura 35:

Programa: Aviación sostenible				
Línea de acción	Ámbito	Actuaciones	Objetivo específico	Indicador
Propulsión limpia para aviones. Participar proactivamente en el desarrollo de nuevos combustibles sostenibles y su integración en el sector de la aviación	Fomento del uso de SAF	Participación en proyectos de producción de SAF para fomentar su uso por parte de las aerolíneas. Facilitación de la distribución de SAF en la red de aeropuertos. Creación de un sistema incentivos para aerolíneas que impulse el consumo de combustibles sostenibles	Previsión de consumo de SAF en la red de Aena de acuerdo con la entrada en vigor de bonificación SAF (aprox. 0,3 % sobre niveles regulados)	% de SAF consumido en la red de aeropuertos
	Hidrógeno	Posición de Aena en relación con el hidrógeno a futuro	Definición de la estrategia de hidrógeno antes de 2026	N/A
	Aeronaves sostenibles	Definición de programa de ranking de campañas ligado al uso de flota sostenible en aviación en 2024	Definición de programa en coordinación con campañas aéreas en 2024	N/A
Eficiencia en operaciones aeronáuticas. Colaborar estrechamente con ENAIRE, aerolíneas y ground handlers para reducir las emisiones generadas en las operaciones aeroportuarias	Eficiencia de operaciones Ground Handling	Proyecto piloto pooling aeropuerto de la red Implementación de telemetría para mejorar la eficiencia en consumos	Implementación proyecto piloto en 2022 Implementación telemetría en 7 aeropuertos de la red en 2026	N/A Nº de aeropuertos con sistema de telemetría en vehículos Ground Handling
	Eficiencia del ciclo LTO	Implementación de A-CDM y torres avanzadas para mejorar la eficiencia en rodaje	5 grandes aeropuertos con A-CDM en 2026 10 aeropuertos con torres avanzadas en periodo 2021-2026	Nº de pasajeros con A-CDM Nº de pasajeros con torres avanzadas
	Eficiencia en vuelo	Colaboración con ENAIRE para optimizar las operaciones automáticas (por ej. ruta, aproximación) y definición de objetivos conjuntos	En 5 principales aeropuertos de Aena: Tiempo adicional medio Taxi-out y Tiempo adicional medio ASMA inferior al de los 5 grandes aeropuertos europeos en periodo 2021-2025	TAXI-DUT (Tiempo adicional de rodadura en salidas: min/salida) y ASMA (Tiempo adicional en aprobación: min/legada) en 5 principales aeropuertos de Aena
		Creación grupos de trabajo para el desarrollo de iniciativas y objetivos conjuntos con ENAIRE	Realización de reuniones cuatrimestrales	N/A
Fleita ground handling sostenible. Alcanzar un 78% de vehículos de ground handling sostenibles en 2030	Electrificación vehículos	Requisitos de electrificación de vehículos de Ground Handling Implementación de puntos de recarga eléctricos para abastecer los nuevos vehículos eléctricos	Instalación de 250 puntos de recarga en lado aire en año 2026 y 900 puntos en 2030	% de vehículos de ground handling sostenibles Nº de puntos de recarga eléctricos en lado aire
	Uso de combustibles alternativos	Requisitos de uso de combustibles sostenibles en vehículos de Ground Handling Implementación de los vehículos propulsados por hidrógeno en 2030 Implementación de hidrogeneras para abastecer los nuevos vehículos (eléctricos y de combustibles alternativos)	Instalación de hidrogeneras en los cinco aeropuertos principales en 2030	Nº de hidrogeneras

Ilustración 52. Acciones y Objetivos estratégicos del Programa nº 2 Aviación Sostenible del Plan de Acción Climática 2021-2030 de AENA

3.3. OPERACIONES MÁS EFICIENTES

3.3.1. INVESTIGACION SESAR PARA MEJORAR LAS OPERACIONES

Existen diversas líneas de investigación para mejorar las operaciones.

El proyecto **AVIATOR**⁹² (Assessing aViation emission Impact on local Air quality at airports: TOwards Regulation) es una iniciativa financiada por el programa Horizon 2020 de la Unión Europea, cuyo objetivo principal es estudiar el impacto de las emisiones de la aviación en la calidad del aire local, especialmente en los aeropuertos. Este proyecto sigue activo y ha logrado resultados clave en sostenibilidad: 1/ Medición y monitoreo: Se han instalado redes de sensores de bajo costo para monitorear partículas ultrafinas (UFP), material particulado total (PM) y gases como NOx y SOx en aeropuertos y áreas cercanas. Esto permite evaluar la dispersión de contaminantes y su impacto en la calidad del aire local; 2/ Modelado y regulación: AVIATOR desarrolla modelos avanzados para comprender las dinámicas de los gases de escape de los aviones y el comportamiento de los contaminantes. Esta información es esencial para mejorar las regulaciones ambientales relacionadas con la aviación, enfocándose particularmente en el impacto sanitario de las partículas ultrafinas.

⁹² AVIATOR Project: Assessing aViation emission Impact on local Air quality at airports: TOwards Regulation – Grant Agreement No. 814801

Durante dos campañas de medición extensivas, se observaron variaciones significativas en las emisiones dependiendo del tipo de motor y las condiciones operativas. Estos resultados se han documentado públicamente, contribuyendo al desarrollo de herramientas para mitigar el impacto ambiental de la aviación. España, a través de instituciones como el INTA (Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial), Iberia y Aena, tiene un rol destacado en este proyecto, que busca proporcionar datos e instrumentos útiles a los aeropuertos y responsables políticos para reducir la huella ambiental del transporte aéreo.



Ilustración 53 Consorcio Aviator

En España además se lideran algunos proyectos de investigación para mejorar las operaciones con el objetivo de disminuir los impactos de las emisiones no CO₂, en el marco del programa SESAR⁹³⁹⁴.

El Aircraft Operations Lab de la Universidad Carlos III de Madrid es un grupo de investigación que realizar investigación innovadora hacia una aviación más sostenible. En concreto son el coordinador del proyecto E-Contrail, que tiene por entre sus objetivos estudiar los impactos no CO₂ de la aviación. En particular, contribuye al desarrollo de algoritmos de teledetección para identificar estelas de condensación y nubes asociadas a vuelos específicos. Este trabajo es crucial para estudiar los efectos de la aviación sobre la formación de nubes y su impacto climático.

La Universidad Politécnica de Madrid también participa en múltiples actividades de I+D en mejoras de ATM y navegación aérea que impactan las emisiones de la aviación, a través del

⁹³ Sustainable Aviation Technologies – Aircraft Operations Lab UC3M

⁹⁴ UC3M | E-CONTRAIL

grupo GINA, Grupo de Investigación de Navegación Aérea. Cabe destacar estudios como “How Much Can Carbon Taxes Contribute to Aviation Decarbonization by 2050”⁹⁵ o “The role of Climate Change Levy schemes in aviation decarbonization by 2050”⁹⁶

3.3.2. MEJORES OPERACIONES EN LOS AEROPUERTOS

Existen muchos avances en el entorno aeroportuario y hacia su descarbonización, a través de mejores operaciones en tierra y de mejoras en la gestión de los agentes handling y el propio gestor aeroportuario.

Con la implantación de **A-CDM o CDM** (Airport Collaborative Decision Making o Collaborative Decision Making) en los aeropuertos de Adolfo Suárez Madrid-Barajas, Barcelona-Josep Tarradellas El Prat y Palma de Mallorca, Málaga-Costa del Sol y Alicante-Elche, se pretende mejorar la eficiencia general de las operaciones aeroportuarias. Para ello, esta iniciativa facilita el uso compartido de información actualizada de carácter operativo, lo que redundó en una optimización de los tiempos de rodaje y, por tanto, en un menor consumo de combustible y la disminución de las emisiones generadas.

Durante el 29 Congreso Anual y la Asamblea General de ACI Europe, celebrado en 2019, los principales operadores aeroportuarios europeos se comprometieron formalmente a lograr el objetivo de cero emisiones de carbono en 2050 y trabajar juntos para acelerar la descarbonización del sector aéreo. Con este compromiso, los aeropuertos de Europa, entre los que se encontraba Aena, el principal gestor aeroportuario en España, respondían a la emergencia climática como respuesta a la llamada de que todo el sector de la aviación desarrolle una ambición conjunta y una hoja de ruta inicial hacia un sistema de transporte aéreo con cero emisiones netas de carbono.

Net Zero 2040

Este compromiso adquirido por Aena en 2019 ha sido revisado en el marco del Plan de Acción Climático siendo adelantado su consecución al año 2030 lo que implicará alcanzar 0 emisiones netas de CO₂ en la red de aeropuertos. Este hito se conseguirá reduciendo al máximo sus emisiones de CO₂ equilibrando la parte restante con la aplicación de técnicas de absorción, captura y almacenamiento de carbono consistentes en la aplicación de un conjunto de técnicas y tecnologías para retirar CO₂ de la atmósfera o evitar que llegue a ella.

⁹⁵ [How Much Can Carbon Taxes Contribute to Aviation Decarbonization by 2050](#)

⁹⁶ The role of Climate Change Levy schemes in aviation decarbonization by 2050. Rosa M Arnaldo Valdés, V Fernando Gómez Comendador. EASN 2020. 10th EASN International Conference on “Innovation in Aviation & Space to the Satisfaction of the European Citizens” 2 -4 September 2020.

Aena cuenta actualmente con nueve aeropuertos acreditados en el programa **Airport Carbon Accreditation de ACI EUROPE**, su objetivo es acreditar a través del programa, 19 aeropuertos en el nivel 4+ (Transition) en 2026 y 19 aeropuertos en el nivel 5 (Net Zero) en 2030, lo que supondrá el un 94,5% del tráfico de pasajeros y un 94,2% de las emisiones totales de la red de aeropuertos españoles.

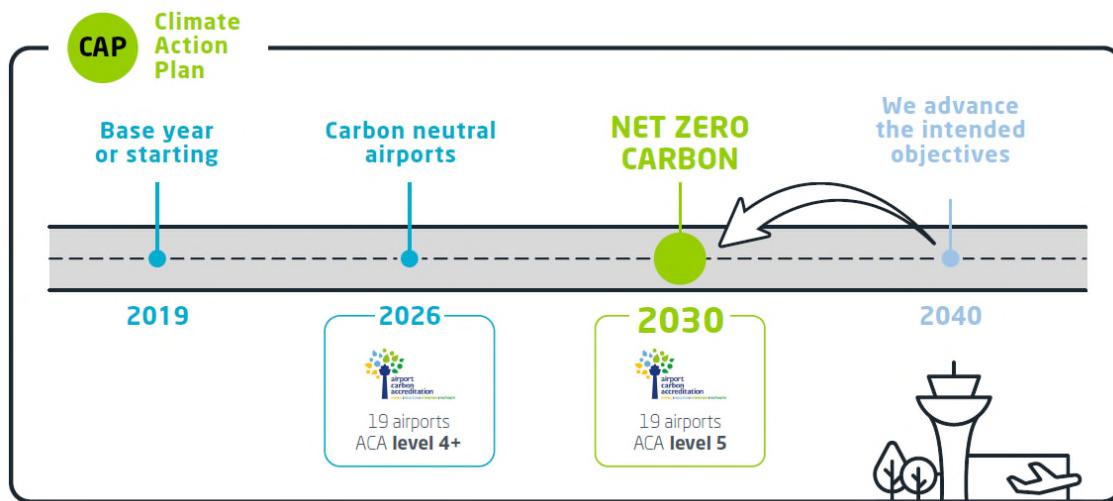


Ilustración 54. Certificaciones Airport Carbon Accreditation en aeropuertos españoles.

Fuente: Informe Actualizado del PAC 2023

De forma adicional, y al objeto de continuar fomentando el consumo eléctrico proveniente de fuentes de energía más limpias en los aeropuertos españoles, el gestor aeroportuario ha desarrollado la **estrategia de energía eléctrica** basada en cuatro pilares: el plan fotovoltaico y otras instalaciones renovables, PPA (Power Purchase Agreement) financiero de energía renovable para diez años, compra del 100% de energía renovable con garantía de origen y otras soluciones futuras de independencia de red (viabilidad de almacenamiento en Baterías de Litio y de hidrógeno verde).

En relación al despliegue del **Plan Fotovoltaico de Aena**, se estima que en 2029 podría alcanzar un porcentaje de producción de electricidad del 51% con respecto al consumo de 2019. Entre los proyectos más ambiciosos de este Plan, en 2022, Aena adjudicó la construcción y puesta en marcha de una planta solar fotovoltaica en el Aeropuerto Adolfo Suárez Madrid-Barajas que tendrá una potencia de 120 MW nominales, para proporcionar energía limpia al aeropuerto madrileño. La planta generará 212 GWh anuales, el equivalente al consumo de más de 65.000 viviendas al año.

De acuerdo a los últimos datos proporcionados por el gestor aeroportuario en su Estado de Información no Financiera de 2023, el impulso e implantación de energías renovables han evitado la emisión de 98.591 toneladas equivalentes de CO₂, gracias a que se han generado 28.247 GJ de energía de origen renovable en nuestros aeropuertos. El 75,6% de esta energía ha sido generada a partir de plantas fotovoltaicas, a las que se han sumado la energía eólica y, en menor proporción, geotérmica.

Actualmente, las principales instalaciones de energía renovables en los aeropuertos de Aena son:

- Plantas fotovoltaicas, situadas en los aeropuertos de Menorca, Ibiza, Alicante-Elche, Adolfo Suárez Madrid-Barajas, Madrid-Cuatro Vientos, La Palma, Valencia, Vigo, Tenerife Sur, Lanzarote, Fuerteventura y Gran Canaria.
- Aerogeneradores del aeropuerto de La Palma.
- Planta de energía geotérmica situada en el aeropuerto de Reus.

Un tercer conjunto de medidas en el ámbito de las infraestructuras es las destinadas a la reducción de las emisiones procedentes de los **equipos de apoyo en tierra (GSE)**. Con este objetivo, Aena inició en 2023 la licitación para la renovación de 41 licencias de handling en la que incorporó requisitos ambientales en los pliegos de contratación. Las nuevas licencias suponen importantes mejoras en la sostenibilidad medioambiental de los equipos de handling: el 80% de la flota de los operadores de rampa a terceros será eléctrica en 2024 y el 88% en 2030. Además, en 2024 la flota sostenible alcanzará el 99,23% y en 2030 llegará al 100%.

En el ámbito aeroportuario, también caben destacar las medidas promovidas para el impulso de la **movilidad eléctrica en las instalaciones aeroportuarias**, habiéndose establecido objetivo a 2025 disponer un 100% de eco vehículos en la flota de AENA. De forma complementaria, desde AENA se impulsa igualmente el acceso a los aeropuertos de la forma más sostenible posible, para lo que se ha establecido el objetivo de instalar más de 3.000 puntos de recarga en el año 2025 así como el desarrollo de Estudios y Planes de Movilidad específicos para los diferentes aeropuertos, que, integran las infraestructuras de acceso y transporte de las ciudades y las del propio aeropuerto, facilitando las mejores combinaciones para acceder a los aeropuertos.

3.3.3. LOS ESFUERZOS DE LOS OPERADORES

Son varias las iniciativas puestas en marcha por los diferentes operadores de aeronaves con respecto a la mejora operacional, encaminadas a la reducción del uso de combustible, la reducción de las emisiones en las operaciones vuelo y en tierra, y a la mejora de la eficiencia de estos operadores.

El operador **Plus Ultra** reporta con el programa SkyBreathe se ha desarrollado el proyecto Green Operator Procedures, que **monitoriza el consumo de combustible** de las aeronaves y estudia las mejores prácticas para obtener una mejor eficiencia y rendimiento de cara a su implementación. En 2023 se han aplicado mejores prácticas que han llegado a reducir hasta casi un 2% el Block Fuel y, en consecuencia, han disminuido el consumo de combustible. La política de conservación de combustible de Plus Ultra es no transportar combustible por encima de la cantidad necesaria para completar el vuelo con seguridad y eficiencia, cumpliendo siempre con los requerimientos normativos. Dicho de otro modo, "Transportar combustible, consume combustible". El operador, a través de diversas medidas, reporta disminuciones de emisiones en sus operaciones mostradas en las tablas y graficas siguientes. Aunque Plus Ultra Líneas Aéreas haya hecho más vuelos en 2023 que en 2022, ha conseguido reducir un **13%** las emisiones de carbono por vuelo gracias a la modernización de su flota. En lo referente al consumo de combustible, el objetivo ha sido implantar medidas de reducción de consumo y monitorizar y promover prácticas de vuelo más eficientes. De estas las que más impacto han tenido que en 2023 son:

- Reducción de la cantidad de agua potable a bordo.
- Monitorización del Performance Factor.
- Reducción de Discretionary Fuel.
- Reducción del error de ZFWE en planificación.
- Implementación de técnicas de pilotaje como Reduce Acceleration Altitude, Continuous Descend Approach, Reduced Flaps at Landings, Idel Reverses at Landing, Engine Off Taxi In

Con estas medidas se ha conseguido una reducción de combustible por vuelo que suponen el 1.62% respecto al block fuel de noviembre del 2022. Los objetivos de le programa de eficiencia de combustible es continuar promoviendo estas Best Practices, monitorizando su aplicación mediante SkyBreathe y estudiar posibles mejoras continuas con lo que se consiga mantener los ahorros conseguidos y buscar mejorar el uso del combustible para ser más eficientes.

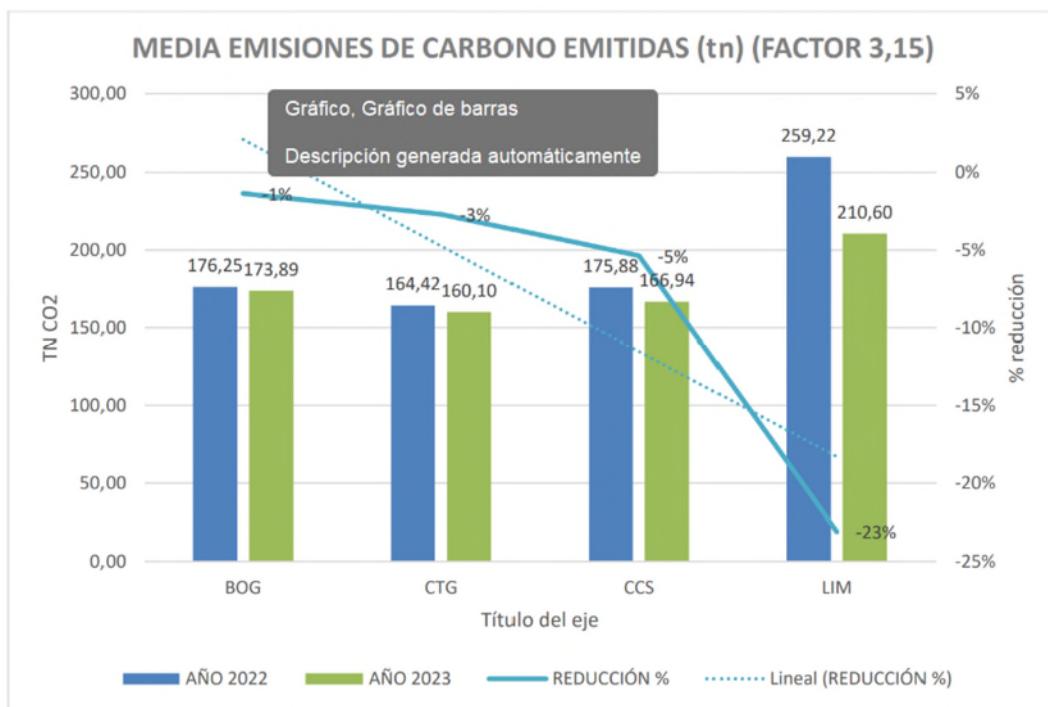


Ilustración 55 Disminución de emisiones del operador Plus Ultra

Skybreathe está siendo usado también por otros operadores españoles tales como Evelop y World2Fly.

El operador **Iberia** ha avanzado una serie de medidas que han supuesto solo en 2023, evitar la emisión de más de 25.000 toneladas de CO2 a la atmósfera, a través de la instalación de butacas de menor peso, la carga de carros (trolleys) más ligeros, el ajuste de carga de agua potable en los vuelos, la eliminación de la prensa a bordo o la sustitución de los planes de vuelo por Electronic Flight Bag. Además, el mantenimiento de los aviones y motores sirve para garantizar unos mayores estándares de seguridad y eficiencia. En los últimos años Iberia ha actualizado los planes de mantenimiento y limpieza de motores con última tecnología que mejora su rendimiento, reduciendo los niveles de partículas contaminantes y manteniéndolo siempre en las condiciones óptimas

El **Grupo Iberia** cuenta con un plan de sostenibilidad que incluye acciones tales como el **Zero Cabin Waste** de recogida selectiva de residuos. A través de este proceso de recogida selectiva, en 2023 Iberia generó 3.310 toneladas de residuos de cabina, de los cuales el 47 % fueron reciclados posteriormente. Debido a las restricciones normativas que presentan los residuos internacionales, actualmente no es posible reciclar los residuos de esta tipología. En 2022 se incluyó la recogida selectiva del vidrio generado a bordo como fracción de manera independiente, garantizando así su posterior reciclaje, con un resultado de 93 toneladas de vidrio gestionadas y recicladas en las instalaciones de nuestro proveedor de catering en Madrid en 2023.

El operador **Vueling** cuenta con un Programa de Eficiencia de Combustible de Vueling. Este programa, que ahorra anualmente más de 50.000 tn de CO2 vs 2019, tiene por objetivo optimizar nuestras operaciones en el marco de 4 grandes pilares: 1/ Optimización de rutas; 2/ Reducción de peso del avión y mejora del performance de las aeronaves: trabajando activamente en la reducción de peso operativo del avión (sustitución de los manueles de papel por el Electronic Flight bag (EFB), modificación de los asientos de toda la flota por unos más ligeros, cambio de los trolleys por unos de menos peso, remoción de la revista a bordo...). Adicionalmente, desde 2022, hay un programa activo de lavado de motores para reducir la suciedad de los mismos, mejorando así la eficiencia y vida útil de los mismos. También hemos trabajado en la modificación de APUs, para que consuman menos combustible. 3/ Optimización del combustible, y 4/ Optimización de las operaciones en vuelo, a través de diferentes canales y métodos (App para pilotos, instrucción, boletines, entre otros), para promover que los pilotos utilicen las mejores prácticas de eficiencia de combustible en vuelo para así reducir nuestra huella ambiental.

Una estrategia simple es la de **reducir el peso trasportado a bordo**, entre los que se encuentra la eliminación de dispositivos prescindibles, la instalación de asientos, *trolleys* o la sustitución de viejos bastidores de cocina por otros más ligeros, la aplicación de nuevos sistemas de pintura, el ajuste de la cantidad de agua potable a bordo, la introducción del género de los pasajeros en las reservas de los vuelos, el centrado del avión, etc. Todos los operadores tienen acciones en este sentido con gran éxito. **Wamos Air** estima que en la operación de Wamos Air, una reducción de 1000kg tiene una reducción en el consumo de combustible de 25 kg/FH. Se han ejecutado reducciones de peso en dos líneas i. Transformación operación sin papeles, estimando una reducción final de 100kg por aeronave, estando en este momento a un 90% de finalización de la ejecución. ii. Modificaciones de cabina con reducción de peso de las aeronaves. **Evelop** incorpora dispositivos electrónicos como el kiosco digital PressReader y la digitalización de la revista de venta abordo que contribuyen a la reducción del peso de carga en el avión y su consecuente reducción del consumo de combustible.

4. MEDIDAS ECONÓMICAS O DE MERCADO

4.1. APLICACIÓN EN ESPAÑA DEL PLAN DE COMPENSACIÓN Y REDUCCIÓN DE EMISIONES DE CARBONO PARA LA AVIACIÓN INTERNACIONAL (CORSIA)

4.1.1. DESARROLLO Y ACTUALIZACIÓN DE LAS NORMAS CORSIA DE LA OACI

Los Estados miembros europeos, y entre ellos España, han apoyado plenamente el trabajo de la OACI sobre el desarrollo del Anexo 16, Volumen IV del Convenio sobre Aviación Civil Internacional que contiene las Normas y Métodos Recomendados (SARPS) para la implementación del CORSIA, que fue adoptado por el Consejo de la OACI en junio de 2018.

En relación con la participación española en el seno del Grupo de Trabajo 4 (WG4) del CAEP, cuya tarea genérica es mantener el Anexo 16, Volumen IV y material de

orientación relacionado, y proponer mejoras cuando sea necesario, destacar la participación de dos técnicos por parte España, y el liderazgo asumido en uno de los subgrupos de trabajo, relativo al seguimiento, reporte y verificación de emisiones (MRV).

4.1.2. IMPLANTACIÓN DE CORSIA EN ESPAÑA

En virtud de la “Declaración de Bratislava” de 2016, así como la Decisión (UE) 2020/954 adoptada por el Consejo Europeo, durante el mes de junio de 2020 el estado español notificó a la OACI su decisión de participar voluntariamente en CORSIA desde el inicio de la fase piloto en 2021 y su compromiso para la implementación efectiva del esquema en España.

La integración de CORSIA en la normativa del RCDE UE para los años 2021 a 2023 se ha hecho efectiva con la aprobación del Reglamento Delegado (UE) 2019/1603 de la Comisión de 18 de julio de 2019 por el que se completa la Directiva 2003/87/CE del Parlamento Europeo y del Consejo en lo que respecta a las medidas adoptadas por la Organización de Aviación Civil Internacional para el seguimiento, la notificación y la verificación de las emisiones de la aviación a los efectos de la aplicación de una medida de mercado mundial.

Este Reglamento regula **las obligaciones de notificación** que deben llevar a cabo los operadores de aeronaves que cumplan determinadas condiciones. Con carácter general, estos operadores han de ser titulares de un certificado de operador aéreo expedido por un Estado miembro o estar registrados en un Estado miembro, incluidas las regiones ultraperiféricas, las dependencias y los territorios de dicho Estado miembro.

En cumplimiento del citado Reglamento, desde el inicio de la aplicación del esquema, en 2019, el 100% de los operadores aéreos sujetos a las obligaciones del esquema y administrados por la autoridad competente española han cumplido con sus requisitos de seguimiento, reporte y verificación de las emisiones de CO₂ de ámbito internacional, en virtud del Anexo 16 Vol. IV de la OACI.

En el gráfico inferior se incluye un resumen del número de operadores aéreos administrados por el Reino de España desde la implantación del esquema en 2019, así como el dato agregado de emisiones de CO₂ verificadas y comunicadas. De forma adicional se señalan las emisiones de CO₂ contabilizables a efectos de la determinación de las obligaciones de compensación bajo CORSIA.

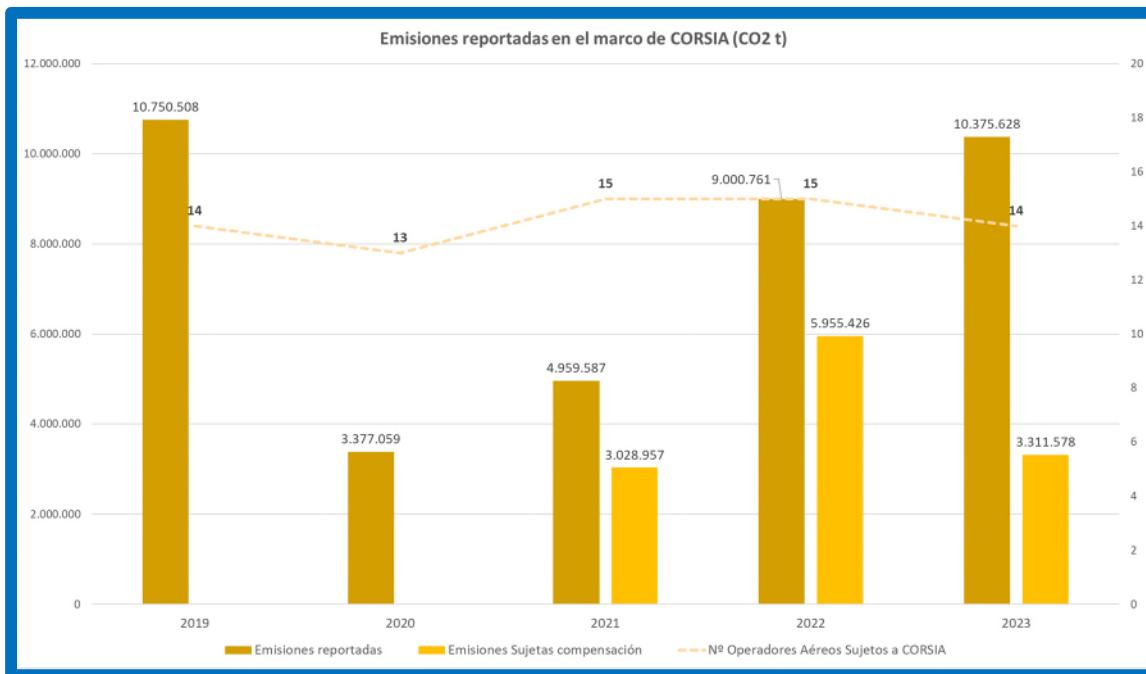


Ilustración 56. Datos generales de la implantación de CORSIA en España.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos ofrecidos por OECC en los Informes de seguimiento sobre aplicación en España del régimen de comercio de derechos de emisión de la Unió

Respecto a la gráfica anterior, resulta necesario poner de manifiesto que como consecuencia de las modificaciones introducidas por la Directiva 958/2023, a partir del 1 de enero de 2023 solo se consideran sujetas a obligaciones de compensación aquellas rutas hacia, desde o entre un estado incluido en el listado publicado por la Comisión Europea⁹⁷, y un estado miembro de la UE, Reino Unido y Suiza. Consecuencia de ello se evidencia una reducción significativa en la cantidad de emisiones que generan obligaciones de compensación respecto a años precedentes.

⁹⁷ [REGLAMENTO DE EJECUCIÓN \(UE\) 2024/622 DE LA COMISIÓN de 22 de febrero de 2024 relativo a la lista de Estados que se considera que están aplicando el CORSIA a efectos de la Directiva 2003/87/CE del Parlamento Europeo y del Consejo respecto a las emisiones de 2023](#)

4.1.3. ACTIVIDADES DE CAPACITACIÓN EN EL ÁMBITO CORSIA: PROGRAMA ACT CORSIA

En virtud del objetivo general de la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI), *No Country Left Behind*, las actividades de asistencia, denominadas Capacity Building, son consideradas esenciales para la puesta en funcionamiento del esquema global de compensación CORSIA. Encuadrada dentro de esta estrategia global de capacitación, en julio de 2018, OACI lanzó el programa de capacitación específico sobre CORSIA ACT-CORSIA⁹⁸ (*Assistance, Capacity Building and Training*), cuyo objetivo es brindar el apoyo necesario a aquellos estados que lo demanden para una eficaz implantación del nuevo



En forma coordinada con la Dirección General de Aviación Civil, la FAO ha activa desde la primera de las fases de aplicación de la estrategia CORSLA, prestando asistencia desde entonces a 14 estados.



Ilustración 57. Partenariados establecidos por España en el ámbito del programa de capacitación de OACI, ACT CORSIA.

Fuente: *OACI ACT CORSIA*. <https://www.icao.int/environmental-protection/CORSIA/Pages/CORSIA-Buddy-Partnerships.aspx>

⁹⁸ <https://www.icao.int/environmental-protection/CORSIA/Pages/default.aspx>

4.1.4. ACTIVIDADES DE CAPACITACIÓN EN EL ÁMBITO CORSIA EN EL MARCO DE LA AGENCIA EUROPEA DE SEGURIDAD AÉREA

Desde enero del año 2021 la Agencia Estatal de Seguridad Aérea de España, participa en el marco del proyecto financiado por la UE y coordinado por la Agencia Europea de Seguridad Aérea de Cooperación entre La Unión Europea y América Latina en Materia de Aviación Civil, EU LAC APP II.⁹⁹



En el ámbito de este proyecto de cooperación se presta asistencia a distintos estados y Organizaciones Regionales de Vigilancia de la Seguridad (RSOOs por sus siglas en inglés) de la región en diversos ámbitos, entre los que se incluyen acciones para el fomento de la sostenibilidad del sector aéreo en la región.



Ilustración 58 Estados y RSOOs incluidas en el seno del programa EU LAC APPII,

⁹⁹ <https://eu-lac-app.eu/>

Entre las actividades desarrolladas por España bajo dicho programa se destaca la organización de diversos seminarios y actividades formativas en el ámbito de CORSIA, así como la coordinación de diversos eventos en la región, como el recientemente desarrollado en agosto de 2024 en la ciudad de Asunción, Paraguay, relativo al desarrollo de combustibles sostenibles de aviación en la región¹⁰⁰.



4.2. APLICACIÓN EN ESPAÑA DEL SISTEMA DE COMERCIO DE DERECHOS DE EMISIÓN DE LA UE Y SU VINCULACIÓN CON OTROS ESQUEMAS DE COMERCIO (RCDE SUIZO Y RCDE DEL REINO UNIDO)

Las emisiones del sector de la aviación han sido incluidas en el RCDE UE a partir del 1 de enero de 2012 mediante la Directiva 2008/101/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de noviembre de 2008, que ha modificado la Directiva 2003/87/CE con el fin de incluir las actividades de aviación en el régimen comunitario de comercio de derechos de emisión de gases de efecto invernadero.

Dicha norma ha sido transpuesta al ordenamiento jurídico español mediante la disposición adicional segunda de la Ley 5/2009, de 29 de junio, y mediante la Ley 13/2010, de 5 de julio que ha modificado la Ley 1/2005, de 9 de marzo, reguladora del régimen del comercio de derechos de emisión de gases de efecto invernadero en España¹⁰¹. De forma anual los operadores aéreos incluidos en el RCDE UE (por no hallarse afectados por alguna de las exenciones previstas en la normativa) y con actividad en dicho alcance, esto es, con emisiones correspondientes a vuelos con origen y destino en aeródromos situados en el Espacio Económico, deben reportar de forma anterior al 28 de febrero de cada año las emisiones del año precedente mediante la presentación de un informe verificado de emisiones. Asimismo, con carácter anual, y antes del 30 de septiembre de cada año dichos operadores deben entregar desde su cuenta de haberes de operador aérea abierta en el área española del Registro de la Unión una cantidad de derechos de emisión equivalente a sus emisiones intracomunitarias.

En la figura ofrecida a continuación, se puede observar la evolución del régimen del RCDE UE en su aplicación al sector de la aviación en España, incorporando como indicador el volumen global de derechos que los operadores aéreos han tenido que adquirir en el mercado de derechos de emisión, una vez agotados los recibidos mediante asignación gratuita e intercambio de CERs/ERUs. Este indicador arroja una

¹⁰⁰ <https://eu-lac-app.eu/project-activities/workshop-on-sustainable-aviation-fuels>

¹⁰¹ <https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/comercio-de-derechos-de-emision/el-comercio-de-derechos-de-emision-en-espana/>

cifra media anual de aproximadamente 1,9 millones de derechos de emisión hasta el año 2019. En relación al último dato disponible, relativos al año 2022, los derechos adquiridos por los operadores aéreos atribuidos a España supusieron un volumen de 4,4 millones de derechos, esto es, el 64% de las emisiones producidas en dicho año.

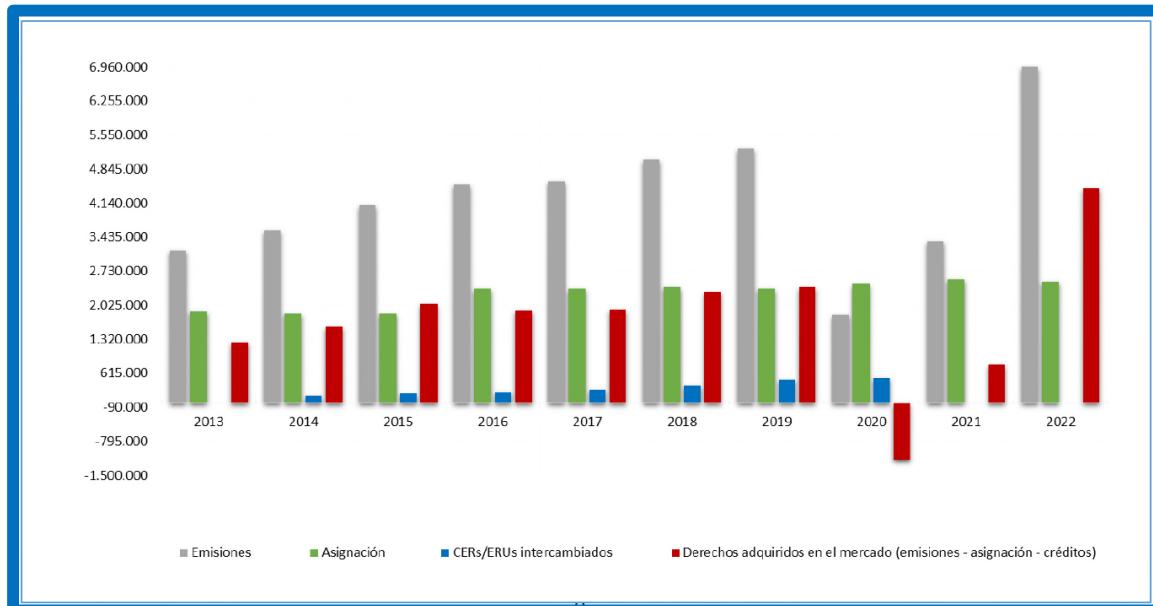


Ilustración 59 Aplicación del EU ETS en España al sector de la aviación.

Fuente: Oficina Española de Cambio Climático. <https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/comercio-de-derechos-de-emision/el-comercio-de-derechos-de-emision-en-espana/Eval-y-Cumpl-ES-Inst.aspx>

Información adicional sobre la aplicación del esquema en España puede ser consultada en el informe¹⁰² que con carácter anual publica la Oficina Española de Cambio Climático, dependiente del Ministerio para la Transición Ecológica y el reto Demográfico de España.

¹⁰²

<https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/comercio-de-derechos-de-emision/el-comercio-de-derechos-de-emision-en-espana/Eval-y-Cumpl-ES-Inst.aspx>

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

ANEXO 1 RESULTADOS DETALLADOS DE LOS ESCENARIOS CONTEMPLADOS EN LA SECCIÓN 2

1. ESCENARIO BASE

Tabla 19 Escenario de referencia para el tráfico internacional que sale de los aeropuertos de la CEAC

Año	Nº de Operaciones transporte pasajeros (IFR) (10 ⁶)	Pasajeros por Kilómetro Transportado (RPK) ¹⁰³ (10 ⁹)	Nº de Operaciones carga (IFR) (10 ⁶)	Toneladas de carga transportada ¹⁰⁴ FTKT (10 ⁹)	Total Revenue Tonne Kilometres ¹⁰⁵ RTK (10 ⁹)
2010	4.71	1,140	0.198	41.6	155.6
2019	5.88	1,874	0.223	46.9	234.3
2023	5.38	1,793	0.234	49.2	228.5
2030	6.69	2,176	0.262	55.9	273.5
2040	7.69	2,588	0.306	69.0	327.8
2050	8.46	2,928	0.367	86.7	379.5

Tabla 20 Previsión de consumo de combustible y emisiones de CO₂ en el escenario de referencia

Año	Consumo Fuel (10 ⁹ kg)	Emisiones CO ₂ (10 ⁹ kg)	Fuel efficiency (kg/RPK ¹²)	Fuel efficiency (kg/RTK ¹⁴)
2010	38.08	120.34	0.0334	0.334
2019	53.30	168.42	0.0284	0.284
2023	48.41	152.96	0.0270	0.270
2030	54.46	172.10	0.0250	0.250
2040	62.19	196.52	0.0240	0.240
2050	69.79	220.54	0.0238	0.238

Por razones de disponibilidad de datos, los resultados que se muestran en esta tabla no incluyen el tráfico de carga.

Mejora promedio anual del factor de eficiencia del combustible considerando únicamente la aplicación de mejoras tecnológicas:

Period	Average annual fuel efficiency improvement (%)
2010-2023	-1.62%
2023-2030	-1.09%
2030-2040	-0.40%
2040-2050	-0.08%

¹⁰³ Calculado sobre la base de la distancia ortodrómica (GCD) entre aeropuertos, para el 97% del tráfico de pasajeros para los años previstos

¹⁰⁴ Incluye transporte de pasajeros y carga (en vuelos exclusivamente de carga y pasajeros).

¹⁰⁵ A value of 100 kg has been used as the average mass of a passenger incl. baggage (ref: ICAO).

2. ESCENARIO TRAS APLICACIÓN DE MEDIDAS DE MITIGACIÓN

2.1. Aplicación de mejoras de ámbito tecnológico.

Efectos de las mejoras tecnológicas consideradas después de 2023: Consumo de combustible y emisiones de CO₂ del tráfico internacional de pasajeros que parten de los aeropuertos de la CEAC, considerando únicamente la aplicación de mejoras tecnológicas:

Year	Fuel Consumption (10 ⁹ kg)	CO ₂ emissions (10 ⁹ kg)	Well to Wake		
			CO ₂ equivalent emissions (10 ⁹ kg)	Fuel efficiency (kg/RPK)	Fuel efficiency (kg/RTK)
2010	38.08	120.34	147.77	0.0334	0.334
2019	53.30	168.42	206.80	0.0284	0.284
2023	48.41	152.96	187.82	0.0270	0.270
2030	53.64	169.50	208.12	0.0246	0.246
2040	56.67	179.08	219.89	0.0219	0.219
2050	55.34	174.88	214.73	0.0189	0.189

Tabla 21 Consumo de combustible y emisiones de CO₂ del tráfico internacional de pasajeros que parten de los aeropuertos de la CEAC, considerando únicamente la aplicación de mejoras tecnológicas

Mejora media anual de la eficiencia del combustible en el escenario de medidas aplicadas (sólo nueva tecnología de aeronaves)

Period	Average annual fuel efficiency improvement (%)
2010-2023	-1.62%
2023-2030	-1.31%
2030-2040	-1.17%
2040-2050	-1.46%

2.2. Aplicación de mejoras de ámbito tecnológico, operacional y gestión de tráfico aéreo.

Previsión de consumo de combustible y emisiones de CO₂ considerando la aplicación de medidas de mitigación (mejoras de ámbito tecnológico y mejoras ATM)

Year	Fuel Consumption (10 ⁹ kg)	CO ₂ emissions (10 ⁹ kg)	Well to Wake		
			CO ₂ equivalent emissions (10 ⁹ kg)	Fuel efficiency (kg/RPK)	Fuel efficiency (kg/RTK)
2010	38.08	120.34	148.02	0.0334	0.334
2019	53.30	168.42	207.16	0.0284	0.284
2023	48.41	152.96	188.14	0.0270	0.270
2030	52.57	166.11	204.31	0.0241	0.241
2040	53.27	168.34	207.05	0.0206	0.206
2050	49.81	157.39	193.60	0.0170	0.170

Tabla 22 Promedio de la mejora anual de la eficiencia del combustible para el escenario de medidas implementadas (mejoras de ámbito tecnológico y mejoras en ATM)

Período	Mejora anual promedio de la eficiencia del combustible (%)
2010-2023	-1.62%
2019-2030	-1.59%
2030-2040	-1.59%
2040-2050	-1.89%

Tabla 23 Previsiones de emisiones de CO₂e equivalentes (well to wake) para los escenarios descritos en esta sección común

Año	Escenario Base	Well-to-wake CO ₂ e emissions (10 ⁹ kg)		% Mejora tras implantación medidas (Full scope)
		Implantación de medidas	Mejoras tecnológicas	
2010		147.77		NA
2019		206.80		NA
2023		187.82		NA
2030	211.32	208.12	203.95	-3%
2040	241.30	219.88	206.69	-14%
2050	270.79	214.73	193.26	-29%

Por razones de disponibilidad de datos, los resultados que se muestran en esta tabla no incluyen el tráfico de carga.

Se considera que el consumo de combustible no se ve afectado por el uso de combustibles sostenibles de aviación.

LISTA DE ACRÓNIMOS

A4E	Airlines for Europe
AAT	Herramienta de asignación de aeronaves
ACARE	Advisory Council for Aeronautics Research in Europe
A-CDM	Airport Collaborative Decision Making
ACI EUROPE	Consejo Internacional de Aeropuertos de Europa
AESA	Agencia Estatal de Seguridad Aérea
AIRE	Iniciativa de Interoperabilidad Atlántica para Reducir Emisiones
APU	Unidad de Energía Auxiliar
ASD	AeroSpace and Defence Industries Association of Europe
ATAG	Air Transport Action Group
ATC	Air Traffic Controller
ATM	Gestión de tráfico aéreo
CAEP	Comité de la OACI sobre la protección del medio ambiente y la aviación
CANSO	Organización de Servicios Civiles de Navegación Aérea
CDA	Continous Descent Approach
CE	Comisión Europea
CER	Certificados de Reducción de Emisiones
CMNUCC	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático
CNG	Carbon Neutral Growth
CORSIA	Esquema de compensación y reducción de carbono para la aviación internacional
DGAC	Dirección General de Aviación Civil (DGAC)
EAER	European Aviation Environmental Report
EASA	Agencia Europea de Seguridad Aérea
ECAC / CEAC	Conferencia Europea de Aviación Civil
EEA	Agencia Europea de Medio Ambiente
EEE	Espacio Económico Europeo
EPCA	Asociación Europea para la Aviación Limpia
ERA	European Regions Airline Association

ERU	Unidades de Reducción de Emisiones
EU ETS	Régimen de comercio de derechos de emisión de la UE (equivalente a RCDE)
FAA	Administración Federal de Aviación de EEUU
GEI	Gases de Efecto Invernadero
GNSS	Global Navigation Satellite System
GPU	Ground Power Unit
GSE	Equipos de apoyo en tierra
HEFA	Hydrogenated esters and fatty acids
IATA	Air Transport Association
INTA	Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial
MRV	Monitoreo, reporte y verificación
nvPM	Materia particulada no volátil
OACI / ICAO	Organización de Aviación Civil Internacional
PAGAR	Performance Assessment and Gap Analysis Report
PBN	Navegación Basada en Prestaciones
PIB	Producto Interior Bruto
PNACC	Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático
PNIEC	Plan Nacional Integrado de Energía y Clima
PRISME	Pan European Repository of Information Supporting the Management of EATM
RCDE	Régimen de comercio de derechos de emisión de la UE (equivalente a EU ETS)
RNAV	Navegación de área
RNP	Required navigation performance
RPK	Pasajeros por Kilómetro Transportados
RTK	Toneladas por Kilómetro Transportados
SAF	Combustible de Aviación Sostenible
SARPs	Normas y Métodos Recomendados
SCS	Sistemas de certificación de sostenibilidad
SESAR	Single European Sky ATM Research
SESAR JU	Single European Sky ATM Research Joint Undertaking
SRIA	Agenda de Investigación e Innovación Estratégica
TRL	Nivel de desarrollo tecnológico



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