

LA SOSTENIBILIDAD MEDIOAMBIENTAL EN EL SECTOR AERONÁUTICO

ADENDA 2023



COIAE

Informe del Colegio Oficial de Ingenieros
Aeronáuticos de España.

JULIO 2024

Autores:

Dña. Encarna Martín Santana

D. Víctor García Gómez

1. PRÓLOGO

La aviación y en especial el transporte aéreo, al igual que otros sectores, mantiene su compromiso en la mitigación del cambio climático, por lo que se sigue avanzando con el objetivo de alcanzar cero emisiones netas de carbono para el 2050 buscando soluciones innovadoras y sostenibles y llegando a nuevos acuerdos entre organizaciones y entre empresas tanto a nivel europeo como mundial.

Las emisiones del transporte aéreo siguen siendo mucho menores que las del transporte por carretera, no obstante, el hecho de que el crecimiento esperado del número de operaciones sea elevado (las estimaciones más recientes sugieren que la demanda mundial de transporte aéreo aumentará una media del 4,3% anual durante los próximos 20 años) exige mantener la presión en el cumplimiento de los compromisos acordados.

En Europa se espera que el número de operaciones crezca un 44%, pasando de 11 millones antes de la pandemia en 2019 a 16 millones en 2050. Según Eurostat¹ (avia_tf_cm2) y el Departamento de Transporte de EEUU³, el número de vuelos comerciales en EU y EEUU en 2023 fue de 6.3 millones y 16.3 millones respectivamente. Estos datos muestran la importancia del sector y lo imperativo de que se aúnen esfuerzos en todas las áreas para conseguir que los programas de investigación en nuevas tecnologías cumplan con sus previsiones, además de lograr mejores y más eficaces acuerdos para compensar el aumento de emisiones derivado del crecimiento esperado debido al aumento de operaciones.

En la adenda del 2023 se recogen los progresos en la sostenibilidad medioambiental de la aviación producidos durante el año 2023 relacionados con nuevos acuerdos y acciones, con la innovación y en mejoras tecnológicas:

- Progresos o cambios en los acuerdos y regulaciones como un nuevo sistema de comercio de emisiones ETS2 o el nuevo acuerdo con el objetivo de reducir un 5% las emisiones de la aviación internacional para 2030 mediante el uso de combustible sostenible (SAF) u otras energías limpias, así como la iniciativa ReFuelEU Aviation con el objetivo de aumentar tanto la demanda como la oferta de SAF y creación de alianzas para incentivar el uso y producción de SAF e hidrógeno verde en España.
- Acciones y compromisos de cada vez mayor número de líneas aéreas para ser más sostenibles estableciendo medidas de compensación de emisiones, renovando su flota con aviones modernos menos contaminantes y revisando la eficiencia de sus operaciones.
- Colaboraciones entre empresas y organismos relacionadas con la adquisición de SAF, o para la introducción en las aeronaves de tecnologías de bajas emisiones o acelerar el desarrollo de las tecnologías disruptivas.
- Acciones y medidas implantadas en muchos aeropuertos que han mejorado su acreditación ACA (Airport Carbon Accreditation).

¹ <https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/w/ddn-20240129-2#:~:text=In%202023%2C%20there%20were%206.3,of%20all%20flights%20in%202023.>

² https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/AVIA_TF_CM__custom_9472123/bookmark/table?lang=en&bookmarkId=e66bdea7-1234-4044-804e-19cadfc4b5b0

³ <https://www.transportation.gov/briefing-room/2023-numbers-more-flights-fewer-cancellations-more-consumer-protections>

- Proyectos relacionados con la eficiencia en la navegación aérea, tales como el proyecto ECHO, que establecerá las bases de las futuras operaciones en el espacio aéreo superior, o el proyecto HERON, cuyo objetivo es mostrar cómo la introducción de operaciones optimizadas de gestión del tráfico aéreo y nuevas tecnologías pueden mitigar la huella ambiental de la aviación y reducir el consumo de combustible y por tanto, de las emisiones.
- Nuevas investigaciones de conceptos con configuraciones revolucionarias como el nuevo avión de demostración de Boeing Transonic Truss-Braced Wing (TTBW) o el proyecto PioneerLab, demostrador de tecnología de doble motor en helicópteros de Airbus Helicopters.
- Desarrollos de nuevos aviones eléctricos como el eVTOL vertical AutoFlight o el Pathfinder 1 en el que se combina el concepto de dirigible con lo mejor de la tecnología moderna.

Se trata pues de un informe que refleja los avances producidos desde la edición anterior en relación con el cumplimiento de la hoja de ruta establecida para la descarbonización de la aviación, materializados en nuevos acuerdos y colaboraciones entre empresas y organismos, así como en avances en la evolución de las investigaciones, en proyectos y en nuevos desarrollos en el campo de la aviación sostenible.

Contenido

1. PRÓLOGO	2
3. INTRODUCCIÓN.....	5
4. IMPACTO AMBIENTAL DE LA AVIACIÓN EN CONTEXTO.....	5
5. HACIA UNA AVIACIÓN SOSTENIBLE.....	8
6. ACCIONES, INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA.....	11
6.1. COMPENSACIÓN DE EMISIONES Y MEDIDAS ECONÓMICAS.....	12
6.1.1. Concienciación y compensación	12
6.1.2. CORSIA y EU ETS	13
6.1.3. Colaboraciones entre empresas.....	15
6.1.4. Logros	16
6.2. AEROPUERTOS, NAVEGACIÓN Y OPERACIONES	17
6.2.1. Aeropuertos	17
6.2.2. Navegación.....	19
6.3. MEJORAS DE EFICIENCIA GRADUALES Y DE DISEÑO	21
6.3.1. Propulsión	23
6.3.2. Aerodinámica y Control de Ala.....	24
6.4. COMBUSTIBLES SOSTENIBLES	26
6.4.1. Acuerdos y políticas	26
6.4.2. Iniciativas privadas	27
6.4.3. Producción.....	29
6.4.4. Ensayos y operaciones	30
6.5. AVIACIÓN ELÉCTRICA	30
6.5.1. Aeronaves híbridas y eléctricas.....	31
6.6. HIDRÓGENO	34
6.6.1. Iniciativas y acuerdos	35
6.6.2. Pilas de hidrógeno.....	36
6.6.3. Combustión directa del hidrógeno	39
6.7. RUIDO	41
6.8. DRONES	42
6.8.1. Acuerdos y Normativa.....	42
6.8.2. Tecnología	43
7. CONCLUSIONES	43
8. BIBLIOGRAFÍA.....	45

3. INTRODUCCIÓN

La evolución de la aviación hacia una mayor sostenibilidad medioambiental sigue avanzando con múltiples enfoques, acuerdos, colaboraciones y estrategias. El objetivo de esta adenda 2023 del COIAE es continuar con lo publicado en años anteriores, describiendo y contextualizando las iniciativas en marcha, nuevos desarrollos, avances y logros conseguidos para alcanzar una aviación sostenible desde la elaboración de la adenda 2022. Por tanto, esta edición se circunscribe a lo acontecido en este ámbito durante el año 2023, de modo que para tener una visión más amplia y completa de esta temática será necesaria la lectura de los informes [1], así como de la Adenda 2022 [2].

Como se ha mencionado en informes previos, la sostenibilidad de la aviación abarca un concepto socioeconómico más amplio que el tratado en este informe, y está alineado con los objetivos de desarrollo sostenible establecidos y aprobados por la ONU en 2015. Este informe se enfoca en la reducción del impacto de la aviación en el medio ambiente mediante la disminución de emisiones, teniendo en cuenta todo el ciclo de vida de una aeronave: desde el diseño, la fabricación y la producción hasta sus operaciones y su reciclaje final.

Por último, es importante señalar que la intención de este informe, al igual que la adenda de 2022, no es recopilar exhaustivamente todos y cada uno de los avances, acuerdos, colaboraciones y logros relacionados con la reducción de emisiones que hayan tenido lugar durante 2023. En su lugar, se pretende destacar los acontecimientos relevantes para ofrecer una visión actualizada, lo que sin duda subraya la continua preocupación e implicación de la aviación en la búsqueda de una mayor sostenibilidad ambiental.

4. IMPACTO AMBIENTAL DE LA AVIACIÓN EN CONTEXTO

Distintos estudios y comparativas se han seguido realizando para conocer las emisiones de CO₂ en el año 2022 y su estimación para el año 2023, así como su impacto en el cambio climático. Según Global Carbon Budget 2023⁴, durante el año 2022 las emisiones de CO₂ aumentaron un 0,9 % en relación con 2021, lo que eleva las emisiones de CO₂ fósil en 2022 a 9,9±0,5 GtC/año.[3]

Las estimaciones preliminares basadas en los datos disponibles sugieren que las emisiones fósiles de CO₂ aumentarán aún más en 2023: un 1,1% en relación con 2022, lo que elevará las emisiones a 10,0 GtC/año⁵ (36,8 GtCO₂/año⁶), lo que supondrá un aumento de hasta 1,4 % por encima del nivel de 2019 anterior a la pandemia del COVID-19. En concreto, las estimaciones de las emisiones de CO₂ fósil crecerán según tipo de combustible las siguientes proporciones:

- +1,1% (rango: -0,1%, +2,4%) para carbón.
- +1,5% (rango: -0,6%, +2,3%) para petróleo.
- +0,5% (rango: -0,9%, +1,8%) para gas natural.
- +0,8% (rango: -0,7%, +2,4%) para cemento.

⁴ Global Carbon Budget, informe elaborado por una comunidad de investigadores para anunciar un presupuesto global de carbono que cuantifica las emisiones de dióxido de carbono del año previo, <https://essd.copernicus.org/articles/15/5301/2023/>

⁵ GtC/año= 1 Gigatonelada de carbono por año.

⁶ Gt CO₂ /año=1 Gigatonelada de CO₂ por año

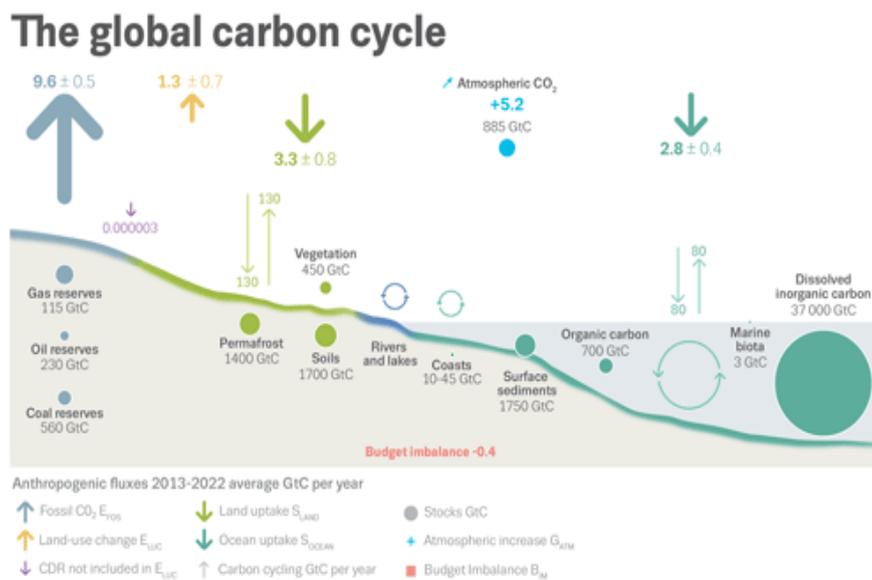


Fig 1. Representación esquemática de la perturbación general del ciclo global del carbono causada por actividades antropogénicas, promediada a nivel mundial para la década 2013-20227

En 2022, las mayores contribuciones absolutas a las emisiones globales de CO₂ provinieron de China (31%), Estados Unidos (14%), India (8%) y la UE27 (7%). Estas cuatro regiones representan el 59% de las emisiones globales de CO₂, mientras que el resto del mundo contribuyó con el 41%, incluyendo la aviación internacional y los combustibles marítimos [3].

Por otro lado, según IATA⁸, el tráfico global, medido en pasajeros-kilómetro transportados (RPK, por sus siglas en inglés), creció un 31,2% interanual en octubre de 2023. El sector se sitúa en el 98,2% respecto a niveles pre-COVID.

Durante 2023 se publicaron datos sobre las emisiones globales de CO₂ del sector transporte. En concreto, Statista publicó en septiembre del 2023 que las emisiones globales de CO₂ de automóviles y furgonetas alcanzaron un máximo de 3,6 GtCO₂ en 2019, antes de disminuir drásticamente un 11% el año siguiente debido al brote de COVID-19 y las posteriores restricciones a la movilidad. Si bien las emisiones han aumentado desde entonces, se mantienen por debajo de los niveles prepandémicos. Mientras tanto, los camiones medianos y pesados representaron aproximadamente una cuarta parte de las emisiones del transporte en 2022, a pesar de que representan una pequeña proporción de los vehículos.

⁷ <https://www.icos-cp.eu/science-and-impact/global-carbon-budget/202>.

⁸IATA, International Air Transport, Asociación internacional del transporte aéreo
<https://www.iata.org/contentassets/a7b12fb866e44c87965ab70d27122f27/2023-12-05-02-sp.pdf>
<https://www.iata.org/en/pressroom/2023-releases/2023-12-05-02/>

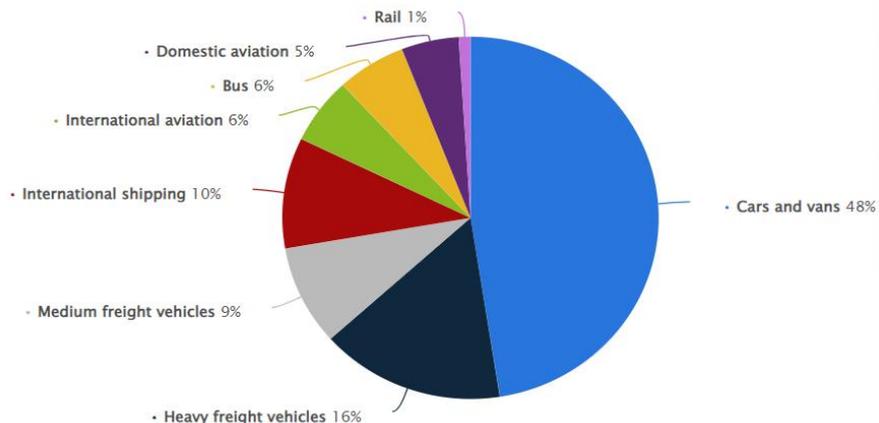


Fig 2. Distribución de las emisiones de dióxido de carbono producidas por el sector transporte a nivel mundial en 2022, por subsector⁹

Según la consultora medioambiental Global Factor, basadas en el fin de la crisis sanitaria y el regreso a la normalidad, las emisiones del mercado verificado (medido) de CO₂ en España aumentaron un 9,07% en 2022. Tres grandes sectores fueron los responsables de este incremento: las instalaciones de combustión aumentaron sus emisiones un 21,3% en comparación a 2021, un poco por encima de la refinería, con un crecimiento del 6,3%. La aviación, con la vuelta del turismo, duplica el total de emisiones de efecto invernadero hasta llegar a los 6,96 millones de toneladas de CO₂. La suma de estos tres sectores alcanza el 68% del total de emisiones del mercado de carbono en España el último año.¹⁰

Con respecto al impacto no-CO₂ de las estelas de condensación y la nubosidad, según EGUsphere¹¹, en su preprint de octubre 2023¹², el forzamiento radiativo (RF) neto global de estelas para 2019-2021 se estima aproximadamente la mitad de la mejor estimación del estudio anterior [4]. Por otro lado, los impactos climáticos de las estelas de condensación no han aumentado proporcionalmente con el crecimiento del tráfico aéreo debido a un mayor crecimiento en regiones donde es menos probable que se formen estelas de vapor. Además, afirma que existen importantes oportunidades para mitigar los impactos de las estelas de vapor, ya que solo el 2% de todos los vuelos a nivel mundial representan el 80% del forzamiento energético anual de las estelas de vapor.

Continúa el debate científico sobre qué hacer con estas estelas de vapor de los aviones. Activistas ambientales y las organizaciones sin fines de lucro centrados en el cambio climático siguen haciendo que se intensifique la investigación sobre las estelas de vapor. En octubre 2023, tuvo lugar un vuelo con el ecoDemonstrator Explorer Boeing 737-10 con combustibles 100% SAF para examinar su estela y determinar cómo el uso de SAF puede afectar a las características de las estelas de vapor, cuyas conclusiones se conocerán en el año 2024.

La controversia suscitada por la contaminación procedente de los vuelos cortos, que ha terminado con la prohibición en Francia de los vuelos nacionales regulares cuyo trayecto se pueda hacer en menos de dos horas y media en tren, y que entró en vigor en mayo, ha provocado numerosas y variopintas opiniones y comentarios: según Clement Beaune, ministro de Transporte Francés, “se trata de un paso esencial y de un símbolo fuerte en la política de reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero”. En contraposición, se resalta la

⁹ <https://www.statista.com/statistics/1185535/transport-carbon-dioxide-emissions-breakdown>

¹⁰ <https://cincodias.elpais.com/companias/2023-04-17/las-aerolineas-duplican-sus-emisiones-locales-mientras-se-eleva-la-presion-de-la-ue.html>

¹¹ EGUsphere, el repositorio científico abierto sin fines de lucro de la Unión Europea de Geociencias (EGU)

¹² <https://egusphere.copernicus.org/preprints/2023/egusphere-2023-1859/egusphere-2023-1859.pdf>

opinión del director de Iberia 13: "dejaría a los pasajeros que no viven en Madrid sin conectividad con destinos de largo radio"; o la de los analistas del Banco Santander¹⁴: es una medida puramente estética y, en concreto, explican el escaso impacto de la medida porque una "porción importante" del tráfico doméstico es con las islas, y porque aún no existe toda la infraestructura necesaria para conectar la alta velocidad en los aeropuertos, señalando además que el transporte ferroviario no tiene capacidad suficiente para atender a toda la demanda y que excluiría de la ecuación a Málaga y Sevilla y a todo el norte de España. Asimismo, el COIAE elabora y publica un informe¹⁵, donde se analiza la falta de trascendencia de estas acciones, las cuales tendrían un impacto real inapreciable en las emisiones, menos del 0,05% de las emisiones totales en España en 2022. Además, añade que la aviación tiene a su disposición herramientas realmente útiles para la reducción significativa de sus emisiones, como los combustibles sostenibles de aviación (SAF), la propulsión eléctrica (con baterías o pilas de hidrógeno), el sistema de comercio de emisiones (EU ETS), así como medidas de eficiencia en operaciones y gestión aérea.

5. HACIA UNA AVIACIÓN SOSTENIBLE

Durante 2023 se produjeron acuerdos, colaboraciones y compromisos que afianzan el camino hacia una aviación más sostenible.

En marzo del 2023, el IPCC ¹⁶ finalizó el Informe de síntesis (SYR) AR6: Cambio climático 2023¹⁷, que es el último de los productos del Sexto Informe de Evaluación 2023 para Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático¹⁸ (UNFCCC)/COP 28. En junio del 2023, tuvo lugar la segunda asamblea general de la Alianza Europea para Una Aviación Cero Emisiones¹⁹ para discutir los avances logrados durante los seis primeros meses de actividades y resumidas en un Informe de Progreso. En este contexto se presentaron distintos documentos preparados por cada uno de los 6 grupos de trabajo establecidos destacando fundamentalmente la revisión del panorama regulatorio actual para las aeronaves de cero emisiones y una evaluación del panorama actual de normalización²⁰.

También en junio del 2023, IATA presentó en Estambul, en el marco de la 79ª Asamblea General Anual de IATA²¹, una serie de hojas de ruta destinadas a establecer acciones y dependencias clave para que el sector de la aviación alcance emisiones netas cero de carbono para 2050. De acuerdo con IATA, estas estrategias se focalizan en áreas como la tecnología de aeronaves, infraestructura energética, operaciones, financiamiento y políticas.

Las estrategias propuestas por IATA fueron²²:

1. Tecnología de aeronaves: enfocándose en el desarrollo de aeronaves y motores más

¹³ <https://efeverde.com/fernando-candela-presidente-de-iberia-vuelos-cortos/>

¹⁴ https://www.agenttravel.es/noticia-051867_La-reduccion-de-vuelos-cortos-es-una-medida--puramente-estetica--sin-impacto-operativo--relevante--segun-analistas.html

¹⁵ <https://coiae.es/informe-de-vuelos-cortos-2022-del-coiae/>

¹⁶ IPCC, the Intergovernmental Panel on Climate Change

¹⁷ https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC_AR6_SYR_FullVolume.pdf

¹⁸ United Nations Framework Convention on Climate Change : UNFCCC/COP 28

¹⁹ Alianza que fue creada por la Unión europea en Junio del 2022, alineado con la Declaración de Toulouse

²⁰ <https://defence-industry-space.ec.europa.eu/system/files/2023-06/Progress%20report%20v.1.0.pdf>

²¹ <https://www.iata.org/en/events/agm/agm-2023/>

²² <https://www.iata.org/en/events/agm/agm-2023/>

²² <https://www.aviacionline.com/2023/06/el-paso-a-paso-de-la-sostenibilidad-en-la-aviacion-iata-presenta-sus-hojas-de-rutas-para-lograr-la-neutralidad-de-carbono/>

- eficientes, impulsados por combustible de aviación sostenible (SAF), hidrógeno o baterías, con hitos respaldados por programas con inversiones y prototipos anunciados.
2. Energía e infraestructura de nuevos combustibles: centrado en los combustibles e infraestructura necesaria para aeronaves propulsadas por SAF o hidrógeno.
 3. Operaciones: identificando oportunidades para reducir emisiones y mejorar la eficiencia energética a través de mejoras en la operación de las aeronaves existentes.
 4. Políticas: subrayando la necesidad de políticas estratégicas alineadas globalmente para proporcionar incentivos y apoyo a la industria de la aviación en su transición hacia un futuro de emisión neta cero.
 5. Finanzas: proporcionando un marco para financiar los 5000 millones de dólares necesarios para que la aviación alcance la emisión neta cero para 2050.

Estas enfatizan que el tiempo es esencial y que se requiere acción inmediata para comercializar soluciones de almacenamiento de energía limpia a gran escala junto con la infraestructura requerida, así como para construir un caso de negocio a escala Gigawatt de entrega rápida.

Del 20 al 24 de noviembre de 2023 tuvo lugar en Dubái la tercera conferencia de Aviación y combustibles alternativos de OACI (Third ICAO Conference on Aviation and Alternative Fuels, CAAF/3), donde se firmó el acuerdo Marco Mundial OACI para SAF, LCAF y otras energías limpias para la aviación²³.

En esta reunión de 193 países, excepto Corea del Norte, acordaron un objetivo provisional para 2030 de reducir un 5% las emisiones de la aviación internacional mediante el uso de combustible sostenible (SAF) u otra energía más limpia, pero China, Rusia y otros expresaron reservas sobre el impacto en sus economías. Este objetivo es menor en comparación con el anterior, que era del 5-8%, para incentivar o alentar las inversiones críticas necesarias para aumentar la producción de SAF, aunque reconociendo la limitación de capacidad de cada uno para contribuir a la visión dentro de sus propios plazos nacionales y manteniendo el principio de no-obligación. Este acuerdo fue acogido con satisfacción por la Comisión Europea.

OACI publicó en diciembre del 2023, la 1ª edición del “Special Environment Report on International Aviation Cleaner Energy Transition”²⁴ con el principal objetivo de proporcionar información sobre SAF, LCAF y energías más limpias, y presentar los resultados de la CAAF/3 y el acuerdo Marco Mundial antes citado [5].

Además, del 30 de noviembre al 12 de diciembre de 2023, tuvo lugar en Dubái la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático de 2023, también conocida como COP28^{25,26}, destacando lo siguiente que afecta a la aviación directamente:

- Los acuerdos sobre medidas de mitigación ahora incluyen una transición gradual hacia la eliminación de los combustibles fósiles, no solo una reducción progresiva, con el objetivo de alcanzar emisiones netas cero para 2050.

²³https://www.icao.int/Meetings/CAAF3/Documents/ICAO%20Global%20Framework%20on%20Aviation%20Cleaner%20Energies_24Nov2023_SP.pdf

²⁴ <https://www.icao.int/environmental-protection/Documents/ICAO%20Special%20Environment%20Report%20on%20International%20Aviation%20Cleaner%20Energy%20Transition%20.pdf>

²⁵ <https://www.icao.int/environmental-protection/Documents/ICAO%20Special%20Environment%20Report%20on%20International%20Aviation%20Cleaner%20Energy%20Transition%20.pdf>

²⁶ <https://unfccc.int/cop28>

- El sector privado recibirá respaldo a través del lanzamiento de un fondo de capital climático de 30 mil millones de dólares, el cual movilizará inversiones del sector privado en proyectos de baja emisión de carbono y resistentes al clima, especialmente en economías emergentes y en desarrollo.

En octubre del 2023, tuvo lugar en Madrid el Simposio Mundial de Sostenibilidad (WSS) inaugural de la IATA centrándose en las acciones necesarias para lograr el compromiso de la industria de la aviación de alcanzar cero emisiones netas de CO2 para 2050: estrategias de mitigación del impacto climático en las que se espera que la mayor contribución (62%) para lograr el cero neto para 2050 sea de SAF, análisis de una metodología coherente y un mecanismo de informes necesarios para conseguir seguimiento fiable y preciso del progreso y políticas estratégicas alineadas a nivel mundial para brindar incentivos y apoyo a la aviación.

También en España, con la intención de descarbonizar las operaciones industriales, se presentó en septiembre el proyecto All4Zero²⁷, en el que intervienen 4 grandes empresas de la industria española: Iberia, Repsol, ArcelorMittal y Holcim, las cinco comparten recursos tecnológicos e infraestructuras con el objetivo de investigar y desarrollar nuevas tecnologías disruptivas del ámbito de la descarbonización y la economía circular para lograr el objetivo común de cero emisiones netas para el año 2050. En este proyecto se podrán asociar empresas que persigan también este mismo objetivo como es el caso de Enagás, Navantia, Tecnalia, e IMDEA Energía, que aportarán experiencia en sectores relevantes, como las energías renovables, el gasista o el naval.

En el Reino Unido, BAE Systems se ha convertido en uno de los primeros miembros de la industria aeroespacial en firmar una estrategia que ayudará a Reino Unido a cumplir su ambición de alcanzar sus objetivos Net Zero firmando la Carta de Estrategia de Cero Neto de Aviación de Defensa²⁸

Por otra parte, se lanzaron nuevos proyectos de demostradores tanto en Europa como en EEUU para conseguir aviones más sostenibles: NASA, Boeing y RTX con un avión de pasillo único de media y corta distancia con una previsión de vuelo para el 2028 y se formaron acuerdos de colaboración como el Airbus Comercial y Altair SimSolid, líder mundial en ciencia computacional e inteligencia artificial (IA). Entre ellas se encuentra la iniciativa global de Airbus desarrollo de aviones sostenibles ZEROe, cuyo objetivo es crear el primer avión comercial del mundo de cero emisiones contaminantes propulsados por hidrógeno, para reducir plazos de entrega tanto de piezas como de montajes.

En general, todos estos compromisos y acuerdos tratan de promover acciones a corto plazo (implementación de mejoras en operaciones y aeronaves convencionales, reducción de plásticos, economía circular), medio plazo (introducción de combustibles sostenibles de aviación y renovación de flotas) y largo plazo (aeronaves con propulsión disruptiva, tanto eléctrica como por hidrógeno) con implicaciones de países, autoridades, organismos y empresas tanto públicas como privadas.

Además, se siguen apoyando los sistemas de compensación de emisiones de varias formas incluido la captura de carbono de la atmósfera e incorporando otras alternativas, como la gestión del volumen de tráfico aéreo, acciones en los aeropuertos para operaciones y suministros de energía, etc., que serán detalladas en los siguientes apartados.

²⁷ <https://aviaciondigital.com/all4zero-un-hub-de-innovacion-para-la-descarbonizacion-industrial-en-espana/>

²⁸ <https://actualidadaeroespacial.com/bae-systems-se-suma-a-la-estrategia-net-zero-de-aviacion-de-defensa/>

6. ACCIONES, INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA

El progreso hacia una aviación sostenible continúa a un ritmo acelerado con acciones con resultados a corto, medio y largo o plazo. En acciones al medio plazo es muy notorio el esfuerzo que están haciendo las líneas aéreas y aeropuertos para conseguir reducir sus emisiones de CO₂, así como la numerosas alianzas, acuerdos y colaboraciones entre empresas y organismos públicos para conseguir alcanzar el objetivo de emisiones netas cero para el 2050.

Cabe resaltar la herramienta Cascade²⁹, que Boeing lanzó públicamente en mayo de 2023³⁰ una herramienta de modelización dinámica que permite analizar potenciales estrategias y escenarios para cuantificar las soluciones adoptadas en la reducción de las emisiones de la aviación hasta 2050. Esta herramienta sin duda apoyará a las empresas a hacer sus estimaciones según la estrategia adoptada para conseguir el objetivo Net Zero de la aviación.

Otra iniciativa para destacar es la de la alianza ‘Skyteam’, que en mayo lanza por segundo año consecutivo el “Desafío de Vuelo Sostenible” o SFC (Sustainable Flight Challenge)³¹[2], promovida por el grupo KLM. Tiene como objetivo lograr a corto plazo un cambio significativo, donde todos los participantes se comprometen a compartir sus innovaciones y conocimientos de la industria para reducir el impacto ambiental de la aviación. Los siete ganadores este año fueron:



Fig 3. TSFC award winners³²

Consultoras como Standard & Poor's (S&P Global)³³ realizan un ranking anual según mejor desempeño en sostenibilidad a nivel mundial según evaluación de Sostenibilidad Corporativa (CSA)³⁴. Compara empresas de 62 industrias a través de cuestionarios específicos de la industria que evalúan, en promedio, 23 temas de sostenibilidad en 110 preguntas. En función de su desempeño, las empresas reciben puntuaciones que van de 0 a 100 y clasificaciones

²⁹ <https://cascade.boeing.com/>

³⁰ <https://actualidad aeroespacial.com/boeing-lanza-publicamente-cascade-para-apoyar-el-objetivo-net-zero-de-la-aviacion/>

³¹ <https://www.skyteam.com/en/sustainability/thesustainableflightchallenge/> <https://sustainableflightchallenge.com/default/content/tsfc2023>

³² <https://boletinturistico.com.mx/skyteam-anuncia-ganadores-del-sustainable-flight-challenge/>

³³ <https://www.spglobal.com/en/who-we-are/about-sp-global>

³⁴ <https://www.spglobal.com/esg/csa/>

percentiles para criterios de sostenibilidad financieramente relevantes. En 2023, más de 3500 empresas participaron en la CSA, frente a 3000 en 2022.

6.1. COMPENSACIÓN DE EMISIONES Y MEDIDAS ECONÓMICAS

6.1.1. Concienciación y compensación

Además de la existente metodología IATA CO2 CONNECT³⁵ Emission Calculator, presentada en el 2022, para calcular las emisiones de CO2, se publicó en septiembre de 2023 la versión 12 de la metodología general desarrollada para estimar la cantidad de emisiones de carbono generadas por un pasajero genérico en un vuelo que siga las directrices de la OACI para su uso en el programa de compensación de carbono³⁶, así como la versión 1 de metodología desarrollada para estimar las emisiones de CO2 generadas únicamente por los cargueros³⁷.

Cada vez más líneas aéreas, asociaciones de empresas aeronáuticas o buscadores de vuelos online ofrecen el cálculo de emisiones de CO2 de sus vuelos, asociándose a otras compañías o asociaciones, tales como la aerolínea brasileña Azul y su adhesión al programa CO2 Connect de la IATA, la cual permite calcular las emisiones de CO2.

Del mismo modo IATA y ATPCO han anunciado un acuerdo de colaboración para la integración de los datos de CO2 CONNECT de IATA a través de la interfaz Routehappy de ATPCO a finales de este año para que los pasajeros o usuarios conozcan el impacto medioambiental de sus vuelos de forma consistente, transparente y fiable. Esto es, que puedan conocer el coste en carbono de las distintas opciones de itinerario (información que se integrará en el resto de datos mostrados por Routehappy).

También, a principios de año, American Express Global Business Travel (Amex GBT) ha alcanzado un nuevo acuerdo con la empresa de tecnología climática *Chooose*, a través del que integrará su tecnología de cálculo de emisiones de carbono en las herramientas de reserva de viajes de Amex GBT³⁸. El objetivo es mejorar las soluciones de sostenibilidad de Amex GBT aumentando la precisión y coherencia de los datos de emisiones de gases de efecto invernadero, además de crear una estructura que permita, a futuro, la compensación de carbono.

Por último, en abril de 2023, el grupo DHL celebraba su primera cumbre mundial sobre logística sostenible en Valencia, en la que presentaron sus avances en materia de sostenibilidad, como la nueva herramienta GoGreen Dashboard.³⁹ Este programa permite a los clientes del grupo conocer las emisiones de carbono de las diferentes unidades de negocio.

En febrero 2023, el International Aerospace Environmental Group (IAEG)⁴⁰, anunció su asociación con el proveedor de calificaciones de sostenibilidad empresarial EcoVadis, con la intención de que sus miembros del IAEG, aceleren la mejora del rendimiento de las prácticas medioambientales, sociales y de gobierno (ESG).⁴¹

³⁵ <https://www.iata.org/en/services/statistics/intelligence/co2-connect/>

³⁶ https://applications.icao.int/icec/Methodology%20ICAO%20Carbon%20Calculator_v12-2023.pdf

³⁷ https://applications.icao.int/icec/Freighter_Methodology_1.0.pdf

³⁸ https://www.agenttravel.es/noticia-048556_Amex-GBT-se-integra-con-Chooose-para-potenciar-la-sostenibilidad-en-viajes.htm

³⁹ <https://dhl-freight-connections.com/en/business/dhl-gogreen-dashboard-an-automated-and-efficient-solution-for-carbon-reporting/>

⁴⁰ IAEG, el foro mundial sobre buenas prácticas medioambientales en el sector aeroespacial,

⁴¹ <https://fly-news.es/aviacion-sostenible/iaeg-se-asocia-con-ecovadis-para-gestionar-la-sostenibilidad-del-suministro->

A partir de febrero 2023, el Grupo Lufthansa ofrece un nuevo producto que ampliará su “cartera de ofertas de viajes sostenibles”, a los que denomina “tarifas verdes”, para vuelos con menor impacto ambiental, convirtiéndose así en el primer consorcio aerocomercial en lanzar valores diferenciales.⁴²

Reflejo de los esfuerzos por ser más sostenible de la industria aeronáutica en España, es la III Jornada de Sostenibilidad que tuvo lugar en abril, titulada ‘Preocupaciones sociales de diversidad, equidad e inclusión como reto y oportunidad’ celebrada por La Asociación Española de Empresas Tecnológicas de Defensa, Seguridad, Aeronáutica y Espacio (TEDAE) con la colaboración de Navantia. El propósito de esta sesión, centrada en la sostenibilidad social, fue proporcionar información sobre las obligaciones actuales de las empresas en áreas como la diversidad y los nuevos enfoques en la gestión de profesionales, así como examinar las implicaciones para las empresas de la futura regulación de derechos humanos en la Unión Europea y España.⁴³

6.1.2. CORSIA y EU ETS

En el primer semestre de 2023 se creó un nuevo sistema de comercio de emisiones denominado ETS2, independiente del EU ETS existente, que estará en pleno funcionamiento en 2027 y complementará las políticas de “European Green Deal” fijando un precio del carbono que proporcionará un incentivo de mercado para las inversiones en renovaciones de edificios y movilidad baja en emisiones con el objetivo de conseguir que sus miembros consigan los objetivos de reducción de emisiones para el 2050.⁴⁴

El Parlamento Europeo aprobó en abril 2023, entre otras medidas para la preservación del medioambiente, la reforma del Régimen Comunitario de Comercio de Derechos de Emisión (RCDE), incluidos los sectores aéreo y marítimo⁴⁵.

Estas decisiones se enmarcan en el contexto del paquete europeo «Fit for 55», la reforma del RCDE implica una reducción del 62% en las emisiones de gases de efecto invernadero en estos sectores para 2030, en comparación con los niveles de 2005. Como parte de esto, se eliminarán gradualmente los derechos de emisión gratuitos para el sector de la aviación para 2026 y se fomentará el uso de combustibles de aviación sostenibles.

El acuerdo contempla el fin de las asignaciones gratuitas de derechos de emisión al sector de la aviación para 2026, un año antes de lo propuesto por la Comisión. Para asegurar esta eliminación gradual, se planea una reducción del 25% de las asignaciones gratuitas para 2024 y del 50% para 2025.

Los negociadores acordaron reservar 20 millones de derechos de emisión entre el 1 de enero de 2024 y el 31 de diciembre de 2030 para operadores de aeronaves comerciales que aumenten el uso de combustibles de aviación sostenibles, como el hidrógeno de fuentes renovables, combustibles renovables no biológicos y biocombustibles avanzados.

Para abordar el impacto de las emisiones del sector aeronáutico distintas al CO2, la Comisión establecerá y aplicará un marco de seguimiento, notificación y verificación de estas emisiones a partir de 2025. Posteriormente, se realizará una evaluación en 2027, seguida de una propuesta legal en 2028 para ampliar el alcance del RCDE y cubrir estas emisiones.

aeroespacial/

⁴² <https://www.aviacionline.com/2023/02/tarifas-verdes-grupo-lufthansa-ofrece-precios-diferenciales-para-la-compensacion-de-emisiones-en-determinadas-rutas/>

⁴³ <https://www.defensa.com/espana/industrias-tedae-unidas-sostenibilidad>

⁴⁴ https://climate.ec.europa.eu/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets/ets2-buildings-road-transport-and-additional-sectors_en

⁴⁵ [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/ATAG/2023/745712/EPRS_ATA\(2023\)745712_ES.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/ATAG/2023/745712/EPRS_ATA(2023)745712_ES.pdf)

A pesar de ello, se establecerá una excepción para las emisiones generadas hasta 2030 en los vuelos entre un aeropuerto ubicado en una región ultraperiférica de un país de la UE y otro aeropuerto dentro del mismo país, así como los vuelos entre aeropuertos en una región ultraperiférica del mismo país de la UE.

En marzo del 2023, se publica la “*Resolution A41-22: Consolidated statement of continuing ICAO policies and practices related to environmental protection — Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation (CORSIA)*”⁴⁶, siendo ya 115 los estados participantes.

Respecto del Plan de compensación y reducción de carbono para la aviación internacional (CORSIA)⁴⁷, en mayo de 2023, se publica la Directiva (UE) 2023/958 del Parlamento Europeo y del Consejo, por la que se modifica la Directiva 2003/87/CE en lo que respecta a la contribución de la aviación sobre las emisiones en el conjunto de la economía y a la adecuada aplicación de una medida de mercado mundial⁴⁸.

En octubre, la Comisión Europea aprobó la iniciativa ReFuelEU Aviation⁴⁹ se trata del último acuerdo sobre las propuestas de transporte del paquete "Fit for 55",⁵⁰ cuyo objetivo es aumentar tanto la demanda como la oferta de combustibles de aviación sostenibles, que generan unas emisiones de CO2 inferiores al queroseno (combustible fósil), garantizando al mismo tiempo unas condiciones de competencia equitativas en el mercado del transporte aéreo de toda la UE. Con la adopción de la Regulación ReFuelEU Aviation y la Directiva de Energías Renovables revisada, la UE ahora cuenta con objetivos climáticos legalmente vinculantes que abarcan todos los sectores clave de la economía. Según la Comisión Europea, se espera que este paquete legislativo reduzca las emisiones netas de gases de efecto invernadero de la UE en un 57% para 2030.

La Regulación ReFuelEU Aviation establece que los proveedores de combustible de aviación deben mezclar cantidades crecientes de combustibles sostenibles para aviación (SAF) con queroseno. Esto comenzará con una mezcla mínima del 2% en 2025, aumentando gradualmente hasta alcanzar el 70% en 2050. Se anticipa que esta regulación reducirá las emisiones de CO2 de la aviación en aproximadamente dos tercios para 2050 en comparación con un escenario de "no acción", además de mejorar la calidad del aire.

La Agencia Europea de Seguridad Aérea (EASA) inauguró la reunión de la Red de Estados Miembros de Aviación ReFuelEU el pasado 16 de noviembre en la que se comprometió a garantizar que los Estados miembros tengan lo que necesitan para implementar ReFuelEU Aviation, una política histórica para descarbonizar la aviación”.⁵¹

En mayo se presentó la primera norma de certificación independiente para productos «neutros en carbono. La norma, que se conoce como Carbon Offset Certification (COC)⁵², es una iniciativa con sede en Suiza y que ha sido desarrollada por profesionales de los mercados de carbono en una asociación estratégica con Bureau Veritas y la contribución de expertos reconocidos (SGS, KPMG, Oil & gas Climate Initiative), esta certificación COC puede aplicarse a distintos sectores (marítimo, energético, etc.) y, en particular, a la aviación privada (por ejemplo, certificación para vuelos en jets privados de Come Play Fly). De ahí su interés en este

⁴⁶ https://www.icao.int/environmental-protection/Documents/Resolution_A41-22_CORSIA.pdf

⁴⁷ <https://www.icao.int/environmental-protection/CORSIA/Pages/default.aspx>

⁴⁸ <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/HTML/?uri=CELEX:32023L0958>

⁴⁹ <https://aviaciondigital.com/europa-aprueba-la-iniciativa-refueleeu-aviation-como-parte-del-paquete-fit-for-55/>

⁵⁰ «Fit for 55», el plan de la UE para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en al menos un 55% para 2030 en comparación con los niveles de 1990. <https://www.easa.europa.eu/es/light/topics/refueleeu-aviation>

⁵¹ <https://aerolatnews.com/gobiernos/easa-promueve-descarbonizacion-de-la-aviacion-en-europa/>

⁵² <https://carbonoffsetcertification.com/certification>

informe.⁵³

Por su parte, EasyJet se ha convertido en la primera aerolínea del mundo en firmar un contrato con Airbus para su iniciativa de eliminación de carbono mediante la tecnología DACCS⁵⁴ y de esta forma obtener créditos de eliminación de carbono extrayendo del aire una cantidad equivalente a las emisiones de CO₂ liberadas a la atmósfera durante las operaciones de las aeronaves y que no pueden eliminarse directamente en su origen y avanzar en sus objetivos de descarbonización. La tecnología DACCS filtra y elimina las emisiones de CO₂ directamente del aire mediante ventiladores de extracción de alta potencia. Una vez eliminado del aire, el CO₂ se almacena de forma segura y permanente en depósitos subterráneos y es complementaria a otras tecnologías de reducción de carbono, como el uso de combustible de aviación sostenible (SAF).

6.1.3. Colaboraciones entre empresas

Numerosas y variadas han sido las colaboraciones que han tenido lugar en el mundo de la aviación para conseguir ese objetivo de emisiones netas cero en el 2050. Muchas de ellas están orientadas a la adquisición de combustible sostenible, las cuales serán tratadas en el apartado correspondiente, entre ellas destacaremos las siguientes por su dimensión u originalidad:

- DHL Express y World Energy han firmado un acuerdo estratégico⁵⁵ a largo plazo para acelerar la descarbonización de la logística aérea con la compra de unos 668 millones de litros de combustible con el certificado de combustible de aviación sostenibles (SAF). El contrato, que tiene siete años de duración y estará vigente hasta 2030, es uno de los más amplios en tiempo y de mayor envergadura en el sector de la aviación en materia de SAF hasta la fecha.
- Airbus y ZeroAvia acuerdan colaborar en enfoques de certificación para sistemas de energía de hidrógeno (entre ellos, el sistema de almacenamiento de hidrógeno líquido), además de la inversión de Airbus en la *startup* inglesa para acelerar el desarrollo de sistema de propulsión de motores eléctricos por hidrógeno de clase multi MW, incluidas celdas de combustible PEM (HTPEM) de alta temperatura, motores eléctricos avanzados y electrónica de potencia⁵⁶.

Otras colaboraciones son entre fabricante y líneas aéreas, como el anuncio en febrero de ATR con la aerolínea de Nueva Zelanda, Air New Zealand⁵⁷, anunciando que acelerarán el desarrollo y la introducción de tecnología de aeronaves de bajas emisiones en Nueva Zelanda para explorar innovaciones disruptivas. Air New Zealand se está asociando con varias partes interesadas de la industria y del mundo académico (Heart Aerospace, Embraer y Universal Hydrogen)⁵⁸ para reemplazar su flota doméstica de 23 turbohélices Bombardier Q300 con una opción más sostenible a partir de 2030.

Destacan también alianzas entre empresas para cambiar aviones de instrucción por aviones eléctricos, como Diamond y Lufthansa Aviation Training, con el fin de reemplazar a la flota

⁵³ <https://www.hispaviacion.es/se-presenta-la-primer-norma-de-certificacion-independiente-para-productos-neutros-en-carbono/>

⁵⁴ <https://www.aerotendencias.com/aviacion-comercial/61719-easyjet-se-suma-a-la-solucion-pionera-de-eliminacion-de-carbono-de-airbus/>

⁵⁵ <https://fly-news.es/aviacion-sostenible/dhl-express-y-world-energy-firman-un-acuerdo-para-acelerar-la-descarbonizacion-de-las-flotas-aereas/>

⁵⁶ <https://actualidad aeroespacial.com/airbus-invierte-en-zeroavia-permitiendo-avanzar-hacia-la-certificacion-de-su-primer-motor/>

⁵⁷ <https://www.airline92.com/industria-aeronautica/atr-air-new-zealand-acuerdan-acelerar-descarbonizacion-aeronaves>

⁵⁸ <https://www.greenairnews.com/?p=3910>

actual conformada por los DA40NG con la nueva aeronave eDA40, totalmente eléctrica.⁵⁹ También AviaPro Consulting y Altair Advisory trabajarán juntas para ayudar al sector de la aviación en el camino hacia la sostenibilidad, de este modo AviaPro mejora aún más sus capacidades y posiciona a la compañía como líder del sector en Servicios de Consultoría de Sostenibilidad, al desarrollar una nueva cartera de Sostenibilidad para Aeropuertos y Aerolíneas junto con Altair Advisory, y, paralelamente, Altair Advisory se apoyará en la infraestructura de AviaPro Consulting para ampliar su investigación sobre el tema y desplegar nuevos conceptos y herramientas para la industria⁶⁰.

La compañía aérea Emirates, por otro lado, se ha comprometido con casi 200 millones de euros⁶¹ en investigación y desarrollo (I+D) durante los próximos tres años para financiar proyectos centrados en reducir el impacto de los combustibles fósiles en la aviación comercial, aunque ya Emirates aplica formas de reducir el consumo innecesario de combustible, como rutas flexibles en sus operaciones creando rutas más eficientes, ahorro de combustible mientras el avión está en tierra, el uso de unidades de potencia en tierra en lugar de la unidad de potencia auxiliar (APU) e iniciativas de energías renovables, como la instalación de paneles solares para alimentar algunos de sus edificios operativos en Dubái y el uso de vehículos eléctricos tanto en tierra como en el aire.

6.1.4. Logros

La escuela de pilotos Quality Fly ha sido la primera escuela en compensar por completo todas sus emisiones de CO₂, gracias a sus inversiones en renovables en la India. También ha eliminado completamente el uso de papel en la formación de los alumnos y comenzado a adquirir electricidad 100% renovable de productores de energía renovables⁶².

Cabe destacar también la escuela de pilotos Flyschool Air Academy, pionera en la compensación del 100% de emisiones de CO₂, quien con el soporte de Climate Partners, ha calculado sus emisiones de alcance 1, 2 y 3 de todas las bases que tienen abiertas de Madrid y Mallorca, y ha comprado créditos de compensación de carbono a través de BP Energía España. Esto supone el primer acuerdo de créditos de compensación entre BP Energía España y una escuela de pilotos comerciales.⁶³

Como se ha mencionado previamente, en su primera cumbre mundial sobre logística sostenible en Valencia, el grupo DHL presentó sus avances en materia de sostenibilidad, anunciando su nueva herramienta GoGreen Dashboard. Entre los grandes hitos logrados durante estos años se encuentra la adquisición de 30.000 vehículos eléctricos para reforzar sus flotas de reparto y haber encargado 12 aviones de carga eléctricos. Debido a que el grueso de las emisiones del grupo proviene del transporte aéreo de mercancías, la compañía está dando prioridad a la compra y el desarrollo de biocombustibles.

En la India, Singapore Airlines avanza en su plan de descarbonización para el 2050⁶⁴, convirtiéndose en el 2023 en la compañía más joven del mercado, con una congregación de 132 aviones con una edad media de 6 años y 8 meses (la media del sector suele ser de 15 años).

En el 2023, American Airlines es nombrada por Air Transport World (ATW) como la eco-aerolínea del año 2023 por su renovación de flota, considerada una de las más grandes de la historia de la industria (la mitad de la flota principal de American Airlines tiene menos de 10

⁵⁹ <https://aero-naves.com/2023/03/15/diamond-y-lufthansa-aviation-training-apuestan-por-una-instruccion-mas-sostenible/>

⁶⁰ <https://a21.com.mx/index.php/aeronautica/2023/02/08/daran-consultoria-en-sostenibilidad-aeropuertos-y-aerolineas>

⁶¹ <https://actualidad aeroespacial.com/emirates-crea-un-fondo-de-200-millones-de-dolares-para-la-sostenibilidad-de-la-aviacion>

⁶² <https://fly-news.es/formacion-aeronautica/quality-fly-primera-escuela-espanola-cero-emisiones-netas/>

⁶³ <https://www.avionrevue.com/formacion-empleo/flyschool-pionera-en-la-compensacion-del-100-de-emisiones-de-co2/23>

⁶⁴ <https://www.hispaviacion.es/singapore-airlines-avanza-en-su-plan-de-descarbonizacion-para-el-2050/>

años de antigüedad).⁶⁵

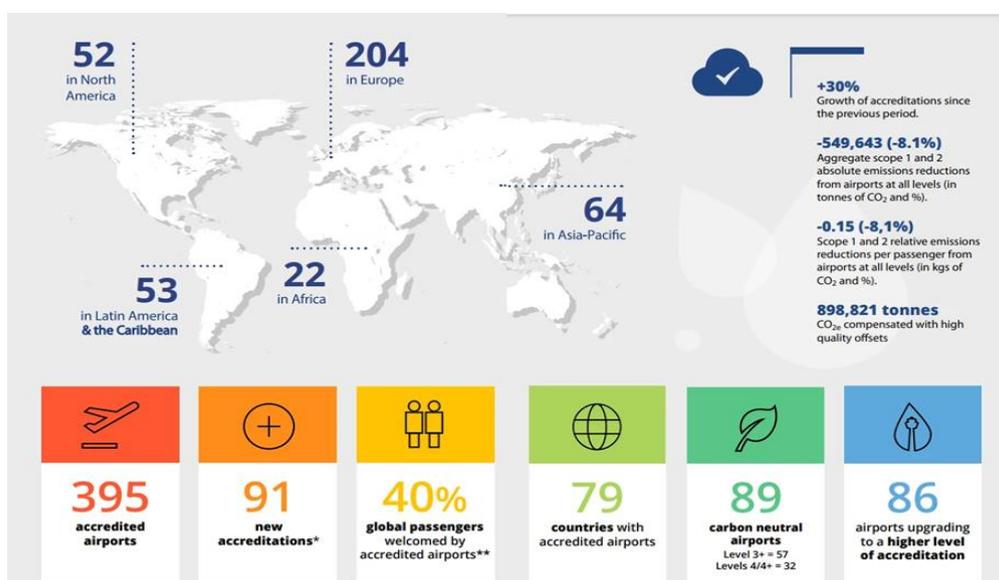
A nivel nacional destacan las iniciativas ambientales alcanzados por Iberia⁶⁶, para la que, según Teresa Parejo (directora de sostenibilidad de Iberia), la sostenibilidad se ha convertido en su ADN, como son:

- La retirada de su flota de los aviones A340: aeronaves con cuatro motores que se utilizaban para las rutas trasatlánticas, y sustituirlos por aviones bimotores (A330 y A350), que son entre un 30-35% más eficientes y respetuosos con el medio ambiente.
- Plantas de autoconsumo⁶⁷ y Programa *CO2labora*⁶⁸, con el cual los pasajeros pueden compensar las emisiones de sus vuelos a través de dos proyectos climáticos certificados.
- El proyecto de reciclaje de antiguos uniformes y eliminación del plástico a bordo junto a otras acciones similares en las salas Premium Lounge⁶⁹.
- Los primeros vuelos de largo radio con SAF producido en España en colaboración con Repsol⁷⁰.

6.2. AEROPUERTOS, NAVEGACIÓN Y OPERACIONES

6.2.1. Aeropuertos

En el Informe Anual de la Airport Carbon Accreditation 2021-2022⁷¹ publicado en marzo se destacan los progresos de los 395 aeropuertos acreditados, entre ellos 204 aeropuertos europeos, que superan los índices mundiales de ahorro de carbono con 57 de nivel 3+ y 32 con nivel 4/4+.



⁶⁵ <https://thejetset.com/espanol/air-transport-world-nombra-a-american-airlines-como-eco-aerolinea-del-ano-2023/>

⁶⁶ <https://www.larazon.es/medio-ambiente/20230124/wkjsmfboxrhxlpzarslkvpxya4.html>

⁶⁷ <https://www.iberia.com/es/sostenibilidad/medioambiente/reduccion-emisiones/>

⁶⁸ <https://www.iberia.com/es/sostenibilidad/cliente/huella-carbono/>

⁶⁹ <https://actualidad aeroespacial.com/iberia-preve-reducir-hasta-200-toneladas-de-plastico-en-sus-vuelos-este-ano/>

⁷⁰ <https://www.repsol.com/es/sala-prensa/notas-prensa/2022/iberia-opera-en-colaboracion-con-repsol-sus-primeros-vuelos-de-largo-radio-con-biocombustible-producido-en-espana-a-partir-de-residuos/index.cshtml>

⁷¹ <https://www.airportcarbonaccreditation.org/media/annual-reports/>

Fig 4. Del Informe Anual de la Airport Carbon Accreditation 2021-2022

Los aeropuertos de Europa también han encabezado la clasificación del mayor número de aeropuertos en los niveles más avanzados de acreditación: niveles 3+ (Neutralidad) y 4/4+ (Transformación/Transición) con 68 aeropuertos de la región acreditados en estos niveles a finales del año de los 89 que lo estaban en todo el mundo.

REGION	LEVELS						TOTAL
	1	2	3	3+	4	4+	
Europe	72	44	20	44	11	13	204
Asia-Pacific	10	18	25	5	4	2	64
North America	22	9	15	4	1	1	52
Latin America & the Caribbean	28	14	8	3	-	-	53
Africa	12	7	2	1	-	-	22
Global	144	92	70	57	16	16	395

Fig 5. Del Informe Anual de la Airport Carbon Accreditation 2021-2022

Los aeropuertos europeos también superaron la media mundial en rendimiento de carbono, registrando una reducción del -11,9% en las emisiones de CO2 de Alcance 1 y 2 en comparación con la tasa de reducción mundial del -8,1%.

En particular, en España se renueva la certificación a los aeropuertos de la red de Aena, (incluso el Aeropuerto de Málaga-Costa del Sol ha ascendido al Nivel 3 “Optimización”). En total, nueve aeropuertos de Aena están acreditados en este programa, lo que supone el 70% de los pasajeros y más del 90% de las emisiones de la red de aeropuertos. [2]

Muchos aeropuertos se están convirtiendo en centros de innovación y colaboración, reuniendo ciencia, expertos en tecnología, desarrolladores de productos y empresas para probar las últimas ideas relacionadas con ciberseguridad, experiencia del pasajero y sostenibilidad⁷²:

Los aeropuertos de Kansai se asociaron con la Universidad de Kobe para realizar un experimento de demostración del sistema de aire acondicionado para ahorro de energía y control de infecciones en la Terminal 2 de Aeropuerto Internacional de Kansai (KIX).

En el Aeropuerto Internacional Hamad (DOH) de Doha, el segundo mejor aeropuerto del mundo (según SKYTRAX), un revolucionario sistema de inteligencia artificial llamado EMMA (Monitoreo Ambiental y de Movimiento para Aeropuertos) está transformando la forma en que opera el aeropuerto, optimizando la eficiencia y mejorando seguridad con ayuda del Qatar Science Technology Park.

Otros aeropuertos están reconociendo la urgente necesidad de hacer realidad el objetivo de cero emisiones netas tomando acción y acelerando su compromiso de alcanzar el objetivo de cero emisiones netas como el de Gatwick en Londres, alcanzando sus objetivos para emisiones

⁷² <https://www.icao.int/environmental-protection/Documents/Forms/AllItems.aspx#InplviewHashb581a199-f3f6-4b28-a7c9-46465f7695d7=SortField%3DCreated-SortDir%3DDesc>

de carbono de alcance 1 y 2 para 2030 (10 años antes de su compromiso anterior). Para ello invertirá más de 250 millones de libras⁷³ para reducir las emisiones de carbono, por ejemplo, pasando a una flota de vehículos eléctricos y sustituyendo las calderas de gas y los refrigerantes por alternativas con bajas emisiones de carbono. Adicionalmente, destinarán fondos en otras energías renovables, incluida la energía solar, y abasteciéndose de electricidad renovable a través de contratos de compra de energía (PPA).

Otros aeropuertos apuestan por la intermodalidad. Así, Lufthansa Group firmó un Memorando de Entendimiento conjunto con la compañía ferroviaria estatal italiana Ferrovie dello Stato Italiane S.p.A. para cooperar en el tráfico de enlace dentro de Italia con el fin de conectar los distintos modos de transporte de una forma mejor y más cómoda para el cliente. El objetivo de la cooperación prevista es, en particular, acercar a los pasajeros con conexiones ferroviarias FS a sus respectivas conexiones aéreas en diversos aeropuertos italianos.

En Australia, el aeropuerto de Newcastle ha firmado un nuevo acuerdo de compra de energía con Flow Power, un minorista australiano líder en energías renovables, para alcanzar su objetivo de un 100% de energía renovable siete años antes de lo previsto, reduciendo significativamente su huella de carbono y apoyando los esfuerzos de sostenibilidad del aeropuerto.

En lo que respecta al empleo de energías renovables, la iniciativa Eco-ENAIRES⁷⁴, ha conseguido ahorrar más de 110.000 toneladas de CO₂ desde 2015 al adquirir el 100% de su energía eléctrica de fuentes renovables con certificación de origen garantizado. Además, está realizando inversiones en instalaciones fotovoltaicas en sus centros de control, lo que supone un ahorro del 18% en el consumo eléctrico y un 13,7% del total de ENAIRES.

Por último, ENAIRES está explorando el uso de hidrógeno y biocombustibles para grupos electrógenos y autoconsumo, además de invertir en una línea estratégica importante en autoconsumo y biocombustibles. Este plan *Green Sky*⁷⁵ representa una iniciativa ambiciosa que busca promover una industria de la aviación más sostenible y responsable, centrándose en la eficiencia en las misiones y millas voladas, la reducción del impacto acústico y el uso de energías renovables.

6.2.2. Navegación

El Organismo de Evaluación del Rendimiento (OER) dependiente de la Comisión Europea, ha publicado en octubre el documento 'Performance Review Body Monitoring Report 2022'⁷⁶. donde se presenta los resultados del seguimiento de los servicios de navegación aérea del Sistema Único Europeo Sky para el año 2022, evaluando si los Estados miembros alcanzaron sus objetivos en el desempeño clave áreas de seguridad, capacidad, medio ambiente y rentabilidad. Los hallazgos reflejan cómo la persistente falta de capacidad de gestión del tráfico aéreo ha tenido un impacto adverso en el medio ambiente y el clima. Este Informe Anual de Seguimiento señala que los Estados miembros han registrado resultados deficientes en cuanto a capacidad ya que "no han invertido lo suficiente en la reconstrucción de la capacidad en ruta

⁷³ <https://a21.com.mx/aeropuertos/2023/03/17/adelanta-gatwick-10-anos-su-meta-de-cero-de-emisiones>

⁷⁴ https://www.enaire.es/es_ES/2023_01_27/np_enaire_emisiones

⁷⁵ <https://aviaciondigital.com/el-plan-green-sky-de-enaire-para-una-aviacion-mas-sostenible>

⁷⁶ https://transport.ec.europa.eu/system/files/2023-10/PRB_Annual_Monitoring_Report_2022.pdf

tras la pandemia".

Adicionalmente, las ampliaciones de rutas como resultado del cierre del espacio aéreo ucraniano, bielorruso y ruso para el tráfico europeo, sumadas a las limitaciones de capacidad, han resultado en que no se hayan cumplido los objetivos de eficiencia medioambiental de los vuelos a escala de la UE, alcanzando su punto más bajo desde 2016.

Todos los Estados miembros alcanzaron los objetivos de rentabilidad para 2022; no obstante, la Comisión Europea señala que no se ha debido a una inversión adecuada por parte de algunos estados en su capacidad postpandemia.

En resumen, el informe sobre el sistema de monitorización de 2022 destaca los resultados deficientes de la mayoría de los Estados miembros en términos de objetivos medioambientales y una disminución en la eficiencia de los vuelos.

Se está desarrollando el Proyecto HERON (Highly Efficient gReen OperatioNs)⁷⁷, es una continuación ampliada del programa SESAR conocido como ALBATROSS, cuyo plazo abarca desde finales del 2022 hasta el 2025 y forma parte de la Empresa Conjunta del Programa de Investigación ATM del Cielo Único Europeo (SESAR). El proyecto tiene como objetivo mostrar como la introducción de operaciones optimizadas de gestión del tráfico aéreo y nuevas tecnologías pueden mitigar la huella ambiental de la aviación y reducir el consumo de combustible y las emisiones. Está cofinanciado en el marco del Fondo Connecting Europe. El demostrador está dirigido por Airbus, miembro de SESAR 3 JU, que reúne a socios de 10 países, los cuales representan todo el ecosistema de la aviación, incluidas aerolíneas, aeropuertos, agencias de control del tráfico aéreo y proveedores de servicios.

Este año finaliza las conclusiones del tercer y último taller proyecto ECHO⁷⁸ (Concepto Europeo de Operaciones Superiores del Espacio Aéreo) [1], proyecto liderado por Eurocontrol que establecerá las bases de las futuras operaciones del espacio aéreo superior, definiendo las funciones operativas futuras, responsabilidades, procedimientos e infraestructura necesarios para soportar una mayor demanda de espacio aéreo a corto, mediano y largo plazo. Las conclusiones se harán públicas en el 2024.

En marzo, ITA Airways anunció que sería la primera compañía aérea europea de servicios integrales en incorporar la innovadora tecnología de enlace de datos Iris de la Agencia Espacial Europea (ESA) e Inmarsat en las cabinas de toda su flota de aviones, que es un programa que permite a las aeronaves volar por rutas más eficientes en cuanto a consumo de combustible.⁷⁹

Se publica la Resolución de 17 de julio de 2023, de la Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental, por la que se formula informe de impacto ambiental del proyecto "Rediseño de las maniobras de salida, llegada y aproximaciones instrumentales para el aeropuerto de Málaga-Costa del Sol. En consonancia con este informe nace el Proyecto Midas⁸⁰. Este proyecto (Málaga Improved Desing of AirSpace) tiene como objeto la modernización de las actuales

⁷⁷ <https://www.sesarju.eu/projects/HERON>

⁷⁸ Proyecto ECHO Se trata de un programa financiado a través de la Empresa Conjunta SESAR 3 en el marco del programa de investigación e innovación Horizonte 2020 de la Unión Europea, y dirigido por EUROCONTROL <https://higherairspace.eu/echo-project/>

⁷⁹ <https://a21.com.mx/aerolineas/2023/03/10/ofrece-ita-airways-vuelos-mas-ecologicos-en-italia>

⁸⁰ https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2023-17506

maniobras instrumentales en el aeropuerto de Málaga-Costa del Sol, adaptándolas a las especificaciones de navegación aérea RNAV (“*area navigation*”) basada en prestaciones PBN (“*Performance Based Navigation*”). Ello permitirá la obtención de rutas de mayor seguridad operacional, mayor precisión, más eficientes, directas y flexibles.

En noviembre 2023, febrero, el Comité de Directores Generales (EC3) de CANSO Europe⁸¹ y CANSO y EUROCONTROL celebraron la Conferencia de Cielo Sostenible: centrada en las estelas de condensación⁸² con el propósito principal de congrega a científicos, investigadores, la industria de la aviación, responsables políticos y otras partes interesadas para profundizar en el estudio de la formación y características de las estelas de vapor y los cirros inducidos por estas, así como su impacto en el clima, y explorar posibles medidas de mitigación para reducir su aparición.

Se están analizado y experimentado tecnologías innovadoras de motor apagado y rodaje con un solo motor (*TaxiBot* y *WheelTug*) para mejorar las operaciones aeroportuarias bajo el programa europeo AEON, financiado por SESAR. Este tiene como objetivo innovar las operaciones terrestres de los aeropuertos con técnicas de rodaje más respetuosas con el medio ambiente para el sector de la aviación⁸³. Para esto se han incorporado nuevas tecnologías aparte del rodaje con un solo motor, como el reemplazo de los generadores de combustible por unidades eléctricas de energía (e-CPU’s) y otros sistemas eléctricos para proporcionar aire a las cabinas (PCA’s), como es el caso del aeropuerto de Schiphol (Ámsterdam)⁸⁴.

6.3. MEJORAS DE EFICIENCIA GRADUALES Y DE DISEÑO

Como se ha comentado en los informes precedentes, en un futuro cercano la innovación basada en las tecnologías actuales puede desempeñar un papel crucial en la reducción del impacto de los vuelos, sirviendo como un paso intermedio antes de la implementación de estrategias más disruptivas.

Se plantea la importancia de la innovación en la fabricación de los componentes rotativos críticos en el motor de avión, por los desafíos encontrados, en su geometría y materiales usados y por la necesidad de banco de ensayos con más exigencias que los propios elementos a ensayar⁸⁵.

En febrero anunciaron AURA AERO y Thales una colaboración en un proyecto para el desarrollo de soluciones de aviónica conectada de nueva generación para la aviación regional⁸⁶. La intención es conseguir un mayor material, software, conectividad y servicios para adaptar las nuevas aeronaves a los nuevos ciclos de vida mediante ala gestión de la hibridación y la optimización de la trayectoria en tiempo real.

En septiembre del 2023, LTA Research recibió un certificado especial de aeronavegabilidad de

⁸¹ CANSO, *Europe proveedores de servicios de navegación aérea de Europe*

⁸² <https://canso.org/event/canso-eurocontrol-sustainable-skies-conference-contrails-in-focus/>

⁸³ <https://cordis.europa.eu/article/id/443621-innovative-engine-off-technologies-to-enhance-airport-operations/es>

⁸⁴ <https://news.schiphol.com/new-electric-equipment-for-parked-planes-at-schiphol/>

⁸⁵ <https://www.interempresas.net/Aeronautica/Articulos/494573-Fabricacion-de-alabes-aeronauticos-desafios-en-el-proceso-de-fabricacion.html>

⁸⁶ <https://www.hispaviacion.es/aura-aero-y-thales-se-unen-para-descarbonizar-la-aviacion-regional/>

la FAA para Pathfinder 1⁸⁷ es un dirigible resultado de años de investigación y desarrollo por de 124 metros de largo y basado en helio, diseñado para ser una solución innovadora en casos de desastres y para el transporte de grandes cargas. Está equipado con 2 motores eléctricos para despegue y aterrizaje vertical (VTOL) que giran de +180° a -180° para un control direccional efectivo y una estructura ligera de titanio y fibra de carbono.

En diciembre de 2023 Delta, tras años de investigaciones creando prototipos de vasos de papel resistentes que cumplan las normativas medioambientales, ha puesto en marcha las pruebas finales de estos recipientes en diferentes vuelos. Una vez aprobados los prototipos, cuando su uso se despliegue en toda la red de Delta, los vasos de papel ayudarán a eliminar casi 3200 toneladas de plásticos⁸⁸ de un solo uso a bordo anualmente. El reto de estos vasos reside en que deben garantizar que tanto las bebidas calientes como las frías mantengan la temperatura adecuada, al tiempo que resisten las propiedades disolventes del alcohol. Además, los vasos deben poder apilarse en los carros del catering de los aviones y separarse fácilmente para que los tripulantes puedan servir a los clientes con eficacia. Por último, una de las consideraciones más importantes en la transición a los vasos de papel es que muchas versiones incluyen un revestimiento de plástico que puede dificultar su reciclaje.

AFKLMPCargo⁸⁹, dentro de sus operaciones de vuelos sostenibles realizan distintas acciones⁹⁰:

- Utilización de redes de carga, contenedores y palés más ligeros. Por ejemplo, redes de carga son un 50% más ligeras que las redes para palés estándar y ahorran 795 litros de queroseno al año.
- Un innovador sistema de pintura. Este sistema nos permite reducir el peso de la pintura de las aeronaves en un 15%.
- Los Optimización de vuelos donde los pilotos del Grupo están capacitados para aplicar los procedimientos más eficientes en combustible posible: precisión del plan de vuelo, ajustes de velocidad y procedimientos optimizados, configuraciones de aterrizaje y, en tierra, rodaje con un solo motor y optimización el rendimiento de la aeronave.
- Renovación de flota, de forma que, en el 2020, la edad media de las aeronaves de la flota del Grupo fue de 12,1 años.

A nivel nacional, según datos publicados por ENAIRE a principios de 2023,⁹¹ ENAIRE ha evitado la emisión de 285.000 toneladas de CO2 entre 2017 y 2022 superando la eficiencia en vuelo en 2022 el 96% (96,68%) mediante la mejora continua de la red de rutas aéreas, que forma parte de “Fly Clean”, una de las tres iniciativas en su estrategia para la sostenibilidad (plan *Green Sky*). Para ello, ENAIRE está priorizando la navegación basada en el rendimiento y la navegación por satélite, lo que ha facilitado la creación de procedimientos más eficientes y la aplicación de técnicas de diseño de espacio aéreo más avanzadas. Por ejemplo, se han implementado descensos y ascensos continuos. Durante los primeros ocho meses del año, ENAIRE ha autorizado en promedio el 35% de las operaciones utilizando este método, considerablemente más que el promedio europeo del 14%, lo que supone un beneficio significativo para las compañías aéreas en términos de eficiencia.

A nivel nacional destaca la oportunidad que tiene España de posicionarse como referente

⁸⁷ <https://aviaciondigital.com/pathfinder-1-el-dirigible-del-futuro-liderado-por-el-cofundador-de-google/>

⁸⁸ <https://fly-news.es/aviacion-comercial/aerolineas/delta-suprime-3200-toneladas-de-plastico-de-un-solo-uso-a-bordo/>

⁸⁹ AFKLMPCARGO: Airfrance, KLM, Martinair and Cargo

⁹⁰ https://www.afklcargo.com/CA/en/common/products_and_solutions/sustainable_flight_operations.jsp

⁹¹ https://www.enaire.es/es_ES/2023_01_27/np_enaire_emisiones

tecnológico en uso del hidrógeno para movilidad aérea a través del programa PERTE ⁹²del H2 “cadena de valor”, gestionado por el Instituto para la Diversificación y el Ahorro de Energía (IDAE) en el que Destinus ha sido seleccionada para liderar un proyecto nacional de desarrollo de un sistema de propulsión alimentado por hidrógeno renovable líquido para movilidad aérea. Además, de participar también como socio principal en el proyecto CRIPICOM, cofinanciado por el Plan Tecnológico Aeronáutico (PTA) gestionado por el CDTI (Centro para el Desarrollo Tecnológico y la Innovación de España) para desarrollar el primer motor de avión propulsado por hidrógeno.⁹³

6.3.1. Propulsión

Airbus Helicopters está desarrollando el PioneerLab,⁹⁴ su nuevo demostrador de tecnología de doble motor basado en la plataforma H145. Este proyecto complementa la gama de FlightLabs de Airbus y se enfoca en la prueba de tecnologías destinadas a reducir las emisiones de helicópteros, aumentar la autonomía e integrar materiales de base biológica. El objetivo de PioneerLab es demostrar una reducción de combustible de hasta un 30% en comparación con un H145 convencional gracias a un sistema de propulsión eléctrica híbrida y mejoras aerodinámicas. Está parcialmente financiado por el BMWK, el Ministerio Federal de Asuntos Económicos y Acciones Climáticas de Alemania, a través de su programa nacional de investigación LuFo. PioneerLab ya ha comenzado en la mayor instalación alemana del fabricante en Donauwörth, con un sistema de alerta de impacto en el rotor siendo la primera tecnología probada a bordo del demostrador. La siguiente fase será probar un sistema automatizado de despegue y aterrizaje.



Fig 6. PioneerLab de Airbus Helicopters⁹⁴

El A321XLR es el siguiente paso en la evolución de la familia A320neo de pasillo único, satisfaciendo la demanda del mercado de mayor alcance y carga útil en rutas más largas. El A321XLR ofrecerá una autonomía sin precedentes para aviones de pasillo único de hasta 4.700 nm (8.700 km), con un 30% menos de consumo de combustible por asiento en comparación

⁹² PERTE (Proyectos Estratégicos para la Recuperación y Transformación Económica) Los PERTE son un nuevo instrumento de colaboración público-privada que permite la co-financiación de las actividades de I+D+i a través de los fondos Next Generation EU de la Unión Europea.

⁹³ <https://www.industriambiente.com/noticias/20230329/los-fondos-europeos-next-generation-impulsan-el-desarrollo-del-avion-de-destinus-propulsado-por-hidrogeno>

⁹⁴ <https://actualidad aeroespacial.com/airbus-helicopters-lanza-pioneerlab-un-demostrador-de-tecnologia-de-doble-motor-para-reducir-emisiones-y-aumentar-la-autonomia/>

con los aviones de la generación anterior, así como menores emisiones de NOx y ruido. El jueves 5 de octubre, el A321XLR completó con éxito su demostración de “vuelo temprano de pasajeros” con 167 empleados actuando como pasajeros.⁹⁵⁹⁶

Se anuncia que Safran liderará el programa de demostración Open Fan con socios europeos en el marco del proyecto Clean Aviation OFELIA⁹⁷. El objetivo de OFELIA es demostrar los beneficios de una arquitectura de open fan en términos de eficiencia para abordar las necesidades de la futura generación de aviones de corto y medio alcance (SMR) alrededor de 2035, en el camino hacia el objetivo de la industria de lograr emisiones netas de carbono cero para 2050.

6.3.2. Aerodinámica y Control de Ala

En marzo del 2023, la aerolínea canadiense WestJet lleva a cabo su primer vuelo con el Kit de reducción de resistencia diseñado por Aero Design Lab (ADL)⁹⁸, donde el rediseño de la carena unión ala-fuselaje disminuye la resistencia reduciendo así las emisiones de CO2.



Fig 7. WestJet 737-700 incluyendo el ‘Aero Design Labs drag reduction kit’⁹⁹

Lufthansa Group ha incorporado en 13 de sus aviones, hasta octubre de 2023, la tecnología “Aeroshark”¹⁰⁰ a su revestimiento exterior que es una lámina adhesiva biológica que se fija al fuselaje y a las góndolas de los motores del avión. Gracias a unas ranuras micrométricas a escala, denominadas ‘riblets’, esta película imita las cualidades hidrodinámicas de la piel del tiburón y ayudan a reducir la resistencia a fricción.

⁹⁵ <https://www.airbus.com/en/newsroom/stories/2023-03-a321xlr-programme-completes-second-cold-weather-testing-campaign>

⁹⁶ <https://www.airbus.com/en/newsroom/stories/2023-10-the-a321xlr-demonstrates-passenger-comfort-and-cabin-maturity>

⁹⁷ <https://www.safran-group.com/pressroom/safran-lead-open-fan-demonstration-program-european-partners-under-clean-aviation-ofelia-project-2023-04-26>

⁹⁸ <https://aviationweek.com/aerospace/aircraft-propulsion/aero-design-labs-launches-boeing-737ng-drag-cut-kit>

⁹⁹ <https://www.prnewswire.com/news-releases/westjet-first-airline-in-canada-to-fly-aero-design-labs-drag-reduction>

¹⁰⁰ <https://business.lufthansagroup.com/at/es/news/lhg-aeroshark-technology>

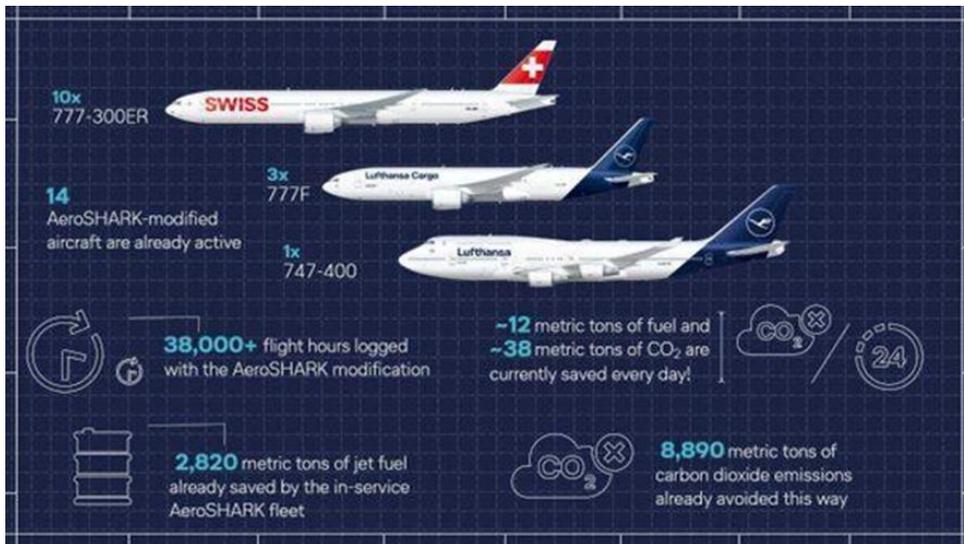


Fig 8. Aeronaves que incluyen la tecnología 'Aeroshark'100

La NASA sigue promoviendo en EEUU las investigaciones sobre configuraciones de avión revolucionarias¹⁰¹, mediante programas de colaboración público-privada, con actividades de I+D de la industria, seleccionando a Boeing para dirigir el desarrollo y los vuelos de prueba de un nuevo avión de demostración Transonic Truss-Braced Wing (TTBW), que podría reducir el consumo de combustible y emisiones contaminantes hasta un 30% con relación a aviones de pasillo único, y que forma parte de un programa de Demostrador de Vuelo Sostenible (SFD).



Fig 9. X-66 de Boeing¹⁰²

La compañía aérea Delta ha llevado a cabo instalaciones mejoradas de winglets para reducir la resistencia, iniciativas de reducción de peso y optimización de rutas de vuelo. La compañía está buscando propulsión alternativa distintas del combustible para aviones mediante asociaciones con Joby Aviation, desarrollador de eVTOL, y también está trabajando con Airbus en su programa Airbus ZEROe para realizar vuelos de hidrógeno¹⁰³.

¹⁰¹ <https://aviaciondigital.com/boeing-colabora-con-rtx-en-el-proyecto-demostrador-de-vuelo-sostenible-x-66a-de-la-nasa/>

¹⁰² <https://www.nasa.gov/image-article/new-look-at-nasa-boeing-sustainable-experimental-airliner/>

¹⁰³ <https://a21.com.mx/aerolineas/2023/03/10/presenta-delta-proyecto-de-sostenibilidad>

6.4. COMBUSTIBLES SOSTENIBLES

Como comentado en informes precedentes mientras que las alternativas de propulsión sostenible, tales como la electrificación o el hidrógeno, no alcancen un nivel tecnológico competitivo, los SAF son el principal candidato para el cumplimiento cortoplacista de las restricciones medioambientales que irán aumentando con el paso de los años.

Actualmente, existen varios tipos de SAF disponibles en el mercado. Estos incluyen el Hidrotratamiento de Aceite Vegetal (HEFA), producido a partir de aceites vegetales y grasas animales; el Alcohol-to-Jet (ATJ), derivado de la fermentación de residuos agrícolas; y el Fischer-Tropsch (FT), que se genera a partir de gas natural, biomasa o residuos sólidos. Por último, se plantea el concepto Power-to-liquid, cuyo método de producción, basado en la combinación de CO₂ e hidrógeno, se encuentra en fase de desarrollo. Cada tipo de SAF tiene sus propias ventajas en términos de sostenibilidad y eficiencia, ofreciendo alternativas viables y escalables para la industria aérea.

	 HEFA	 Alcohol-to-jet ⁱ	 Gasification/FT	 Power-to-liquid
Opportunity description	Safe, proven, and scalable technology		Potential in the mid-term, however significant techno-economic uncertainty	Proof of concept 2025+, primarily where cheap high-volume electricity is available
Technology maturity	Mature		Commercial pilot	In development
Feedstock	Waste and residue lipids, purposely grown oil energy plants ⁱⁱ Transportable and with existing supply chains Potential to cover 5%-10% of total jet fuel demand		Agricultural and forestry residues, municipal solid waste ⁱⁱⁱ , purposely grown cellulosic energy crops ^{iv} High availability of cheap feedstock, but fragmented collection	CO ₂ and green electricity Unlimited potential via direct air capture Point source capture as bridging technology
% LCA GHG reduction vs. fossil jet	73%-84% ^v		85%-94% ^{vi}	99% ^{vii}

i. Ethanol route; ii. Oilseed bearing trees on low-ILUC degraded land or as rotational oil cover crops; iii. Excluding all edible oil crops; iv. Mainly used for gas/FT; v. As rotational cover crops; vi. Excluding all edible sugars; vii. Up to 100% with a fully decarbonized supply chain
Source: CORSIA; RED II; De Jong et al. 2017; GLOBIUM 2015; ICCT 2017; ICCT 2019; E4tech 2020; Hayward et al. 2014; ENERGINET renewables catalogue; Van Dyk et al., 2019; NRL 2010; Umweltbundesamt 2016

Fig 10. Principales métodos de producción de SAF [Clean Skies for Tomorrow]¹⁰⁴

A continuación, se van a comentar los principales avances en materia de SAF que tuvieron lugar en 2023. Sin duda, este ha sido un año de gran relevancia, puesto que numerosos proyectos han tomado forma y han pasado de ser un proyecto del futuro a ser una realidad inmediata. Se estima que, con el reemplazo del combustible tradicional por los SAF, la aviación podría llegar a reducir en un 80% las emisiones de efecto invernadero, por lo cual existe un amplio consenso internacional con respecto a la implementación integral de estos últimos.¹⁰⁴

6.4.1. Acuerdos y políticas

Respecto a los combustibles sostenibles para la aviación, una de las mayores preocupaciones radica en conseguir la producción necesaria, tanto en cantidades que alimenten las necesidades del mercado como en normativa que regule y estandarice los procesos de producción, así como los productos obtenidos. Respecto a este tema, en marzo del 2023 OACI publica la versión 2 del documento 'GUIDANCE ON POTENTIAL POLICIES AND COORDINATED APPROACHES FOR THE DEPLOYMENT OF SUSTAINABLE AVIATION FUELS'¹⁰⁴. Este servirá como referente de apoyo para que los Estados de la OACI incentiven la producción de SAF de forma armónica y competitiva.

¹⁰⁴ Los combustibles de aviación sostenibles podrían ser la clave para cumplir con el Acuerdo de París - Diario Responsable

Por otro lado, en septiembre de 2023 se aprobó en el Parlamento Europeo la iniciativa ReFuelEU Aviation, que establece la implementación progresiva de SAF a partir de 2025. Esta regulación mejora los requisitos iniciales propuestos por la UE y forma parte del paquete 'Fit for 55', que marca el camino a seguir hacia una sociedad más verde y con menos emisiones de efecto invernadero.¹⁰⁵ La regulación ReFuelEU Aviation requerirá que los proveedores de combustible de aviación mezclen cantidades crecientes de combustibles sostenibles de aviación con queroseno, comenzando con un 2% mínimo en 2025 y llegando al 70% en 2050, lo que se espera que reduzca las emisiones de CO₂ de la aviación en aproximadamente dos tercios para 2050 en comparación con un escenario sin acción.¹⁰⁶

Como acuerdo final del año, de la Tercera Conferencia de la OACI sobre aviación y combustibles alternativos (CAAF/3), celebrada en Dubái en noviembre de 2023, surge el nuevo 'Marco global de la OACI para combustibles de aviación sostenibles (SAF), combustibles de aviación con bajas emisiones de carbono (LCAF) y otras energías más limpias para la aviación'.¹⁰⁷ Los Estados Miembros de la OACI han acordado tomar medidas para lograr reducir las emisiones de CO₂ de la aviación internacional en un 5 % para 2030 a través del uso de SAF y LCAF ('Low Carbon Aviation Fuel'). Además, se ha subrayado la importancia de potenciar el refuerzo positivo y la recompensa por parte de los estados en lugar de aplicar solamente sanciones a quien no cumpla las restricciones; esto es un importante aliciente frente a la posible pérdida de competitividad inicial que supondría la transición para los estados y compañías que la llevaran a cabo primero.

6.4.2. Iniciativas privadas

Las grandes compañías juegan un papel fundamental en la transición hacia una aviación basada en SAF. Más allá de la concienciación colectiva que la sociedad exige acerca del respeto al medio ambiente, las empresas deben adaptarse a tecnologías más sostenibles con tal de cumplir con las restricciones y recomendaciones que los organismos públicos aprueben en nombre de la comunidad internacional. En este contexto de equilibrios y negociaciones, nació en abril de 2023 la llamada 'Alianza para la Sostenibilidad del Transporte Aéreo en España' (AST), formada por agentes del sector privado, empresarial y académico. La intención es crear una unión de diferentes participantes en este proceso de 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. Adicionalmente, se pretende fomentar la colaboración público-privada para favorecer la I+D+i.¹⁰⁸ ALA, AESA, la Universidad Politécnica de Madrid y Exolum son algunos de los miembros de este nuevo consorcio.

¹⁰⁵ Europa aprueba el uso del SAF en aviones - Aviación Digital (aviaciondigital.com)

¹⁰⁶ Final adoption of ReFuelEU Aviation completes 'Fit for 55' legislation, putting EU on track to exceed 2030 targets - European Commission (europa.eu)

¹⁰⁷ IATA - Strengthened Global Framework for Accelerating Aviation's Decarbonization

¹⁰⁸ Alianza para la Sostenibilidad del Transporte Aéreo en España (AST) | Estrategia de Movilidad Segura, Sostenible y Conectada 2030 (transportes.gob.es)



Fig 11. Creación AST

El año 2023 destaca por la aparición de nuevas inversiones relevantes que han realizado diferentes compañías privadas, concretamente los productores y las aerolíneas. Un ejemplo destacable es el caso de Iberia, que ha acordado adquirir combustibles sostenibles de la mano de Repsol (la cual ya cuenta con refinerías preparadas para producir SAF) para alimentar los vuelos corporativos.¹⁰⁹ También la aerolínea hispana está liderando las negociaciones con diversos agentes para promover la creación de una planta de SAF en las Islas Canarias, con el objetivo de potenciar el mercado emergente de los SAF en España.¹¹⁰ No obstante, este es solo uno de los diversos casos de alianza proveedor de combustible-operador aéreo; a lo largo del 2023 han empezado a florecer numerosas iniciativas de este tipo para afrontar las restricciones de la iniciativa *RefuelEU Aviation* de forma más competitiva, tales como el acuerdo entre Wizz Air y Cepsa¹¹¹ o entre Lufthansa Group con VARO Energy.¹¹²

Por lo que respecta a los grandes fabricantes de aeronaves, Airbus dio un paso adelante en 2023 al utilizar en vuelos comerciales, de modo sinérgico con aerolíneas relevantes (AirFrance o Volotea, entre otras), más de 11 millones de litros de SAF en sus operaciones, el doble que en 2022. Así contribuyó la compañía a la reducción de las emisiones de CO₂ en 23.587 toneladas.¹¹³ Por su parte, Boeing realizó su mayor adquisición de SAF hasta la fecha: 35,6 millones de litros de combustible SBC (compuesto por un 30% de SAF producido a partir de residuos en la mezcla). Se espera que en el próximo año la compañía norteamericana aumente su actividad en negociaciones para promover la producción y uso de SAF mediante la creación de nuevas sinergias y consorcios.¹¹⁴

¹⁰⁹ Iberia y Repsol comerciarán con SAF para alimentar viajes corporativos - *Aviación Digital* (aviaciondigital.com)

¹¹⁰ La aerolínea Iberia trabaja en un proyecto para producir SAF en las Islas Canarias - *Hispaviación* (hispaviacion.es)

¹¹¹ Acuerdo entre Cepsa y Wizz Air para promover el combustible sostenible de aviación (fly-news.es)

¹¹² Lufthansa Group y VARO Energy se unen para cooperar en materia de SAF - *Hispaviación* (hispaviacion.es)

¹¹³ Airbus is raising the bar for sustainable aviation fuel | Airbus

¹¹⁴ Boeing Makes its Largest Purchase of Blended Sustainable Aviation Fuel - Apr 16, 2024 (mediaroom.com)



Fig 12. A321 de Iberia¹¹⁵

6.4.3. Producción

En base a un estudio publicado por IATA, se pueden extraer los siguientes datos que muestran el avance de la producción de SAF a nivel internacional:

- En 2023, el volumen producido de SAF superó los 600 millones de litros, el doble de los 300 millones de litros producidos en 2022.
- SAF representó el 3% de todos los combustibles renovables producidos.
- En 2024, se espera que la producción de SAF se triplique hasta alcanzar los 1.875 millones de litros (1,5 millones de toneladas), lo que representa el 0,53% de las necesidades de combustible de la aviación y el 6% de la capacidad de combustible renovable.
- Se estima que los combustibles sostenibles de aviación contribuyan en un 65% en el proceso de la descarbonización del sector, frente a otros factores de emisión de CO₂.

Contribution to achieving Net Zero Carbon in 2050

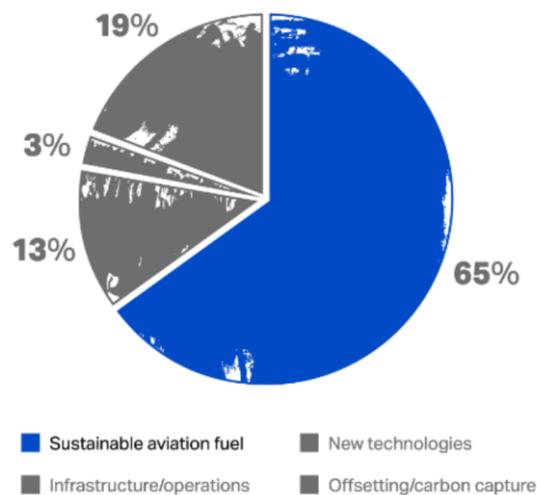


Fig 13. Contribución de los SAF en la descarbonización de la aviación

¹¹⁵ Detalle Flota Iberia Airbus A321

6.4.4. Ensayos y operaciones

Como cualquier tecnología novedosa, los combustibles sostenibles en el sector aeronáutico requieren de un periodo de implementación progresiva de forma que puedan evolucionar de paulatinamente hacia la fase de uso a nivel comercial y ser una opción realmente competitiva. La compatibilidad de los SAF con los motores de aviación actuales facilita notablemente este proceso, ya que los elevadísimos estándares de calidad y seguridad de este sector suelen ser un inconveniente para la introducción de nuevos conceptos.

En 2023 se empezaron a ver multitud de pruebas, tanto en bancos de ensayo como en vuelos (experimentales y comerciales), de motores de aviación siendo alimentados por SAF. Los dos casos más destacables de pruebas fueron los realizados por Emirates y Airbus, respectivamente. La primera compañía llevó a cabo en enero un ensayo en tierra de los dos motores GE-90 de un avión Boeing 777-300ER, haciendo funcionar uno de ellos con combustible tradicional y el otro con SAF, operándolos en diferentes regímenes de vuelo con tal de comparar el funcionamiento de ambos. En el caso de Airbus, llevaron a cabo un vuelo de prueba en marzo, ejecutado con un A321-neo cuyos dos motores fueron alimentados exclusivamente por SAF, sin mezclar.



Fig 14. Boeing 777 testado por Emirates

Por último, cabe destacar algunos de los vuelos realizados con mezclas basadas en SAF:

- Safran Helicopters voló un helicóptero monomotor Bell 505 con un 100% de SAF.¹¹⁶
- Latam Airlines realizó su primer vuelo transatlántico utilizando SAF (5% en la mezcla).¹¹⁷
- Primer vuelo de Emirates de un Airbus A380 con SAF. Se empleó la configuración previamente ensayada: uno de los motores utilizaba el 100% de SAF. Esta demostración se ha hecho coincidir con la celebración en Dubai de la Tercera Conferencia de OACI sobre Aviación y Combustibles Alternativos.¹¹⁸

6.5. AVIACIÓN ELÉCTRICA

La propulsión eléctrica continúa dando pasos hacia la maduración tecnológica que, en un medio-largo plazo, permitirá la operatividad de aeronaves eléctricas de forma competitiva. Este escenario implicaría la estandarización de aeronaves carentes de emisiones directas a la atmósfera. No obstante, las limitaciones tecnológicas evidentes, siendo la mayor de ellas la (aún) reducida energía específica que las baterías eléctricas presentan, hacen que la transición efectiva hacia una aviación electromotriz sea un proyecto de futuro. Adicionalmente, el

¹¹⁶ Un helicóptero Bell 505 se ha convertido en el primer helicóptero monomotor que vuela con un 100% de SAF - *Hisaviación (hisaviacion.es)*

¹¹⁷ Latam Airlines realiza su primer vuelo internacional con Combustible Sostenible de Aviación (SAF) - *Forbes España*

¹¹⁸ Primer vuelo de Emirates de un Airbus A380 con SAF - *Fly News (fly-news.es)*

aeronáutico es un sector particularmente difícil de electrificar, al contrario que otros como la automoción o el sector industrial, ya que transportar a bordo las baterías conlleva una grave penalización en cuanto a autonomía de vuelo debido al aumento del peso total del vehículo.

Es conveniente destacar que, pese a las dificultades mencionadas, las ventajas que supondría la electrificación de la aviación son dignas del esfuerzo a realizar. Por mencionar solo algunas:

- Mayor eficiencia energética de los motores eléctricos.
- Menor complejidad mecánica y menor coste de mantenimiento.
- Disminución notable del ruido.
- Posibilidad de utilizar fuentes de energía primarias sostenibles (ya que la electricidad en sí es un vector energético).
- Posibilidad de redistribución del empuje (transmitir la potencia de empuje a un mayor número de hélices presenta ciertas ventajas, como la posibilidad de utilizar hélices más pequeñas y disminuir los efectos de compresibilidad en las mismas).

Incluso cuando la aeronave no es 100% eléctrica pero los motores sí son eléctricos, las ventajas mencionadas pueden ser explotadas total o parcialmente. De esta idea nacen algunas ideas y proyectos en desarrollo que no dependen de baterías, como por ejemplo el avión demostrador de H2FLY¹¹⁹. Las dimensiones reducidas de estas aeronaves permiten ir probando tecnologías aún lejanas para la aviación comercial y militar con bajo coste y baja peligrosidad.

6.5.1. Aeronaves híbridas y eléctricas

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 total. Al igual que sucede con los SAF, los diseños de aeronaves híbridas de corto y medio alcance son una buena opción para testear diferentes conceptos que vayan, progresivamente, disminuyendo la dependencia de las energías no renovables para volar. Siendo el 2022 un año donde se pusieron en práctica diferentes proyectos de aeronaves híbridas que pudieron realizar vuelos de prueba, 2023 se ha caracterizado por el aumento de las inversiones en este campo, destacando el inicio de la construcción de la fábrica de aviones híbridos Aura Aero. Tras una inyección de 150 millones de euros, la compañía francesa asegura estar preparada para liderar el nuevo paradigma de la aviación eléctrica cuando esta fábrica entre en funcionamiento en 2026.¹²¹



Fig 15. Actual infraestructura de Aura Aero

No obstante, donde sí se produjeron avances muy significativos fue en el campo de las

¹¹⁹ <https://eshidrogeno.com/avion-pila-hidrogeno/>

aeronaves 100% eléctricas. Algunos hitos que han marcado la diferencia en este sector, todavía emergente, son los siguientes:

- AutoFlight, anunció ha logrado el vuelo eVTOL (eVTOL, por sus siglas en inglés), aviones eléctricos verticales más largo en la historia, cubriendo una distancia de 250 kilómetros con una sola carga de las baterías de iones de litio del avión. El modelo probado 'Prosperity I' se encuentra en fase de desarrollo para obtener la condición de aeronavegabilidad de la EASA en 2025. Este prototipo puede alcanzar en configuración de crucero los 200 km/h.¹²⁰



Fig 16. eVTOL 'Prosperity I'

- Diamond¹²¹ anunció que su avión eléctrico eDA-40 completó con éxito su primer vuelo. Esta aeronave está motorizada con un sistema de energía eléctrico ENGINEUSTM, fabricado por Safran Electrical & Power. La compañía tiene planes para certificar este avión bajo Parte 23, de acuerdo con los estándares de EASA/FAA. Las prestaciones obtenidas de este avión monoplaza fueron las siguientes:
 - Autonomía de vuelo de hasta 90 minutos.
 - Reducción del costo operativo hasta un 40% menos que los monoplazas de pistón tradicionales.
 - Sistema de carga rápida de CC, capaz de completar la carga en menos de 20 minutos.

¹²⁰ Un eVTOL 100% eléctrico realiza el vuelo más largo de la historia – GENTE Online (revistagente.com)

¹²¹ Aviación General: Diamond completó el primer vuelo del avión eléctrico eDA-40 - Aviacionline.com



Fig 17. Monoplaza eléctrico eDA-40 realizando su primer vuelo

- La aeronave 100% eléctrica ALIA eVTOL desarrollada por Beta Technologies, en colaboración con la Fuerza Aérea estadounidense, completó un viaje de más de 3000 km realizando cuatro paradas intermedias.¹²²



Fig 18. ALIA eVTOL

- Vuelo del avión acrobático 100% eléctrico monohélice Aero 1 de Dufour, mostrando una autonomía de 35-45 minutos volando a velocidades de crucero entre 160 y 200 km/h.



Fig 19. Vuelo del avión de acrobacias Aero1, caracterizado por su ala elíptica

¹²² El avión eléctrico que aterrizó en Florida y promete revolucionar la industria del transporte aéreo - Infobae

6.6. HIDRÓGENO

El futuro de la aviación está indiscutiblemente ligado al hidrógeno como fuente de energía. Su alta densidad energética y su capacidad de almacenamiento eficiente lo convierten en una alternativa atractiva a los combustibles fósiles convencionales. Aunque existen desafíos técnicos y de infraestructura por superar, como la seguridad en el almacenamiento y la distribución, así como la adaptación de los motores y la infraestructura aeroportuaria, los avances tecnológicos y la creciente conciencia sobre el cambio climático están impulsando la investigación y el desarrollo en este campo.

Más allá del uso evidente del hidrógeno como combustible, el cual presenta una energía específica casi tres veces superior a la del queroseno, existen otras aplicaciones del hidrógeno en el seno de la aviación sostenible, como la producción de SAF mediante el proceso 'Power-to-liquid' (el cual requiere de hidrógeno combinado con CO₂ capturado de la atmósfera) o la alimentación de pilas de combustible que suministren energía a motores eléctricos (siendo esta una alternativa a las baterías, que tanto limitan la aviación eléctrica por su reducida energía específica).

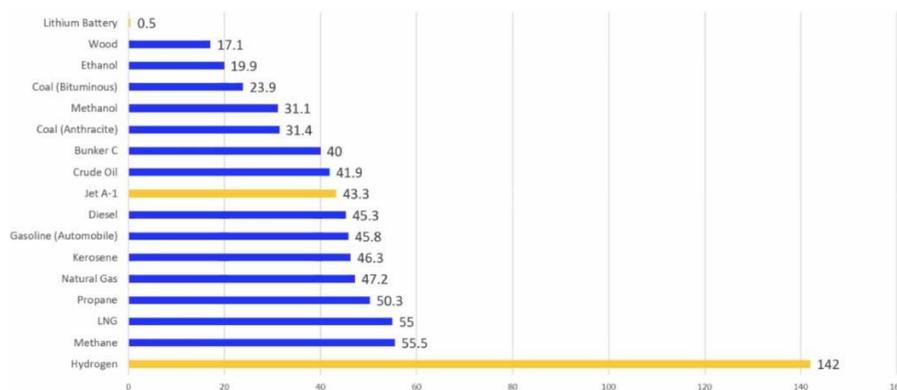


Fig 20. Energía específica (MJ/kg) de diferentes combustibles y baterías [IATA]

No obstante, el hidrógeno cuenta con una serie de desventajas, siendo la principal su reducida densidad energética en comparación con los combustibles tradicionales. Esto acarrea la problemática del complicado almacenamiento a bordo y en tierra ya que, para proporcionar la misma cantidad de energía en vuelo, el hidrógeno requiere tanques de un volumen muy superior, limitando enormemente la capacidad de la aeronave para transportar carga útil. Esto se puede apreciar en la figura superior, en la que los combustibles fósiles, pese a no llegar a los valores de energía específica del hidrógeno, ofrecen un compromiso muy positivo entre ambas variables. También destaca la mejora en densidad energética que presenta el hidrógeno licuado (*H₂ liq*) respecto al hidrógeno en estado gaseoso (tanto a 350 como a 700 bares); sin embargo, transportar y almacenar el hidrógeno licuado supone otro reto tecnológico que compromete la logística y el mantenimiento durante todo su ciclo de vida: la criogenización. Este problema está ya siendo abordado por multitud de compañías, tanto aeronáuticas como de otros sectores, que son conscientes del potencial del hidrógeno como fuente de energía verde¹²³: una aeronave basada en hidrógeno estaría, en principio, libre de emisiones (a excepción de las estelas de condensación que se producirían usando el H₂ como combustible; no así en el caso de las pilas de hidrógeno, donde tampoco se producirían estas estelas).

¹²³ <https://www.offshore-technology.com/data-insights/innovators-liquified-hydrogen-storage-oil-and-gas/?cf-view>

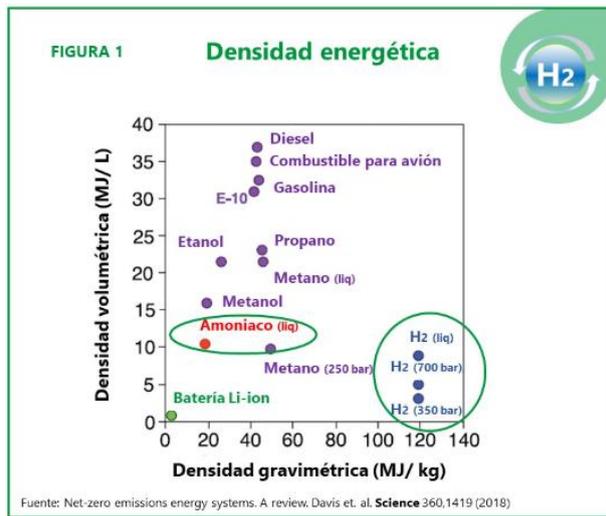


Fig 21. Energía específica (o 'Densidad gravimétrica') vs. Densidad energética (o 'Densidad volumétrica') de diferentes combustibles aeronáuticos

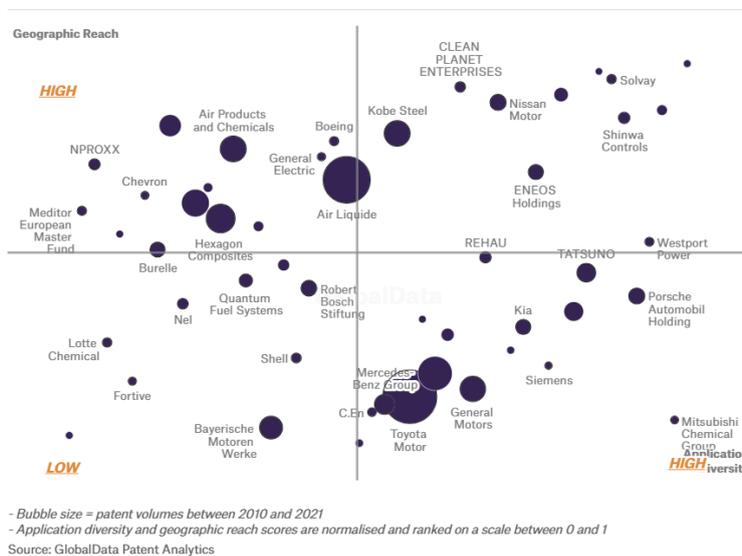


Fig 22. Empresas que han publicado patentes relacionadas con el almacenamiento de hidrógeno licuado desde 2020 a 2023

6.6.1. Iniciativas y acuerdos

De forma análoga a los 'lobbys' creados para promover el desarrollo, la producción y el uso de SAF, las principales compañías e instituciones del sector aeronáutico se ven obligadas a crear acuerdos con el mismo objetivo orientados al hidrógeno verde. El panorama de la geopolítica y del mercado alrededor del hidrógeno como combustible está, lógicamente, en una fase mucho más temprana de desarrollo que el sector de los SAF debido a sus carencias en cuanto a desarrollo tecnológico, por lo cual queda un largo camino que recorrer para probar nuevos conceptos y adquirir conocimientos sobre los sistemas de propulsión por hidrógeno y su correcta certificación.

En España, el sector de la aviación dio un paso adelante en enero de 2023 mediante la creación de la conocida como 'Alianza para el Uso del Hidrógeno Verde en la Aviación'¹²⁴. Esta tiene como objetivos principales identificar las necesidades relacionadas con el desarrollo, producción, almacenamiento y distribución de hidrógeno verde para la industria aeronáutica en el país. Además, busca promover la coordinación entre los diversos actores de la cadena de

¹²⁴ El sector de la aviación se une para descarbonizarse con hidrógeno verde (energias-renovables.com)

valor de la industria del hidrógeno en la aviación y facilitar el intercambio de información. Entre las acciones planificadas se encuentran la elaboración de hojas de ruta y cronogramas, la creación de grupos de trabajo para abordar las necesidades y objetivos de producción y suministro, la organización de foros y congresos para compartir conocimientos y desarrollar proyectos, así como la redacción de documentos de posicionamiento.

Los participantes involucrados en esta Alianza son los siguientes:

- El Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana
- El gestor aeroportuario Aena
- a Agencia Estatal de Seguridad Aérea (AESA)
- La Asociación de Líneas Aéreas (ALA)
- La Asociación Española de Empresas Tecnológicas de Defensa, Seguridad, Aeronáutica y Espacio (TEDAE)
- La Asociación Española de Operadores de Productos Petrolíferos (AOP)
- El Centro Nacional del Hidrógeno (CNH2)
- Gasnam-Neutral Transport
- El Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA)
- La Plataforma Tecnológica Aeroespacial Española (PAE)
- La Plataforma Tecnológica Española del Hidrógeno (PTEH)



Fig 23. Creación de la Alianza para el Uso del Hidrógeno Verde en la Aviación

Fuera del ámbito español, también se puede destacar la Alianza británica ‘Hydrogen in Aviation’ impulsada por algunas compañías privadas, liderada por Airbus, con el objetivo de conformar un grupo de presión para acelerar la llegada de la aviación cero emisiones mediante el hidrógeno. Desde Airbus declaran: *“El objetivo de la HIA es ayudar al Gobierno y a los responsables políticos a trazar los hitos necesarios para garantizar que los cambios en las infraestructuras, la normativa y las políticas sigan el ritmo de los avances tecnológicos pioneros en los vuelos sin emisiones de carbono. Esto incluirá el establecimiento de la vía para ampliar las infraestructuras y los marcos político, normativo y de seguridad necesarios para que la aviación comercial cero emisiones a gran escala pueda convertirse en una realidad”*.

6.6.2. Pilas de hidrógeno

Las pilas de hidrógeno (llamadas también pilas o ‘celdas’ de combustible) están liderando la carrera en la adopción inicial del hidrógeno en la aviación al aprovechar las ventajas de peso del hidrógeno y la ausencia total de emisiones de la aviación eléctrica. Se están llevando a cabo varios proyectos, incluidos ensayos en vuelo, para aplicar esta tecnología emergente en la

práctica. Esta tecnología, ampliamente conocida, se basa en la generación de corriente eléctrica a partir de la disociación del Hidrógeno, la cual se aprovecha para alimentar un motor eléctrico.

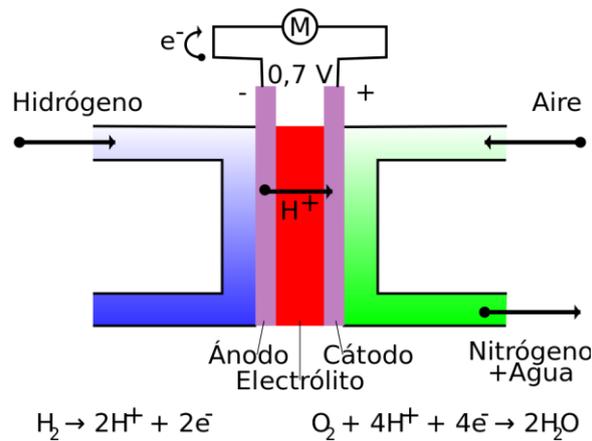


Fig 24. Funcionamiento básico de una pila de hidrógeno¹²⁵

El año 2023 empezó en enero con un importante avance en la aviación basada en hidrógeno: se llevó a cabo el vuelo propulsado por pilas de hidrógeno con el avión más grande hasta la fecha en utilizar este concepto. El protagonista de este hito, que completó un vuelo de diez minutos, se trató del demostrador Dornier Do228 de ZeroAvia¹²⁶, equipado con un motor eléctrico alimentado por la pila de combustible en el ala izquierda (el ala derecha contaba con un motor turbohélice convencional). Esta aeronave de 19 plazas es la sucesora de un prototipo más pequeño que la compañía llevaba probando dos años, y que se considera el paso previo al siguiente hito: una planta de propulsión integrada en un avión de 90 plazas. Esta start-up está realizando grandes esfuerzos por alcanzar los niveles de desarrollo que permitan certificar sus sistemas innovadores en los próximos años.



Fig 25. Dornier Do228 de ZeroAvia propulsado por pilas de combustible

Sin embargo, este avance quedó eclipsado cuando, dos meses más tarde, Universal Hydrogen operó un vuelo de demostración con un ATR-72 convertido para funcionar con pilas de

¹²⁵ Pila de combustible - Wikipedia, la enciclopedia libre

¹²⁶ Logra ZeroAvia completar vuelo con tren eléctrico de hidrógeno | Aviación 21 (a21.com.mx)

combustibles, con capacidad para transportar a 40 pasajeros¹²⁷. De nuevo, este sistema fue implementado en una de las dos plantas propulsoras, manteniendo en la otra un motor turbohélice convencional por seguridad. El avión ejecutó un vuelo de 15 minutos y, según los pilotos, se encontraron muy cómodos con el rendimiento del motor basado en hidrógeno, que respondía adecuadamente ante los cambios en los controles de mando y presentando además unos niveles de ruido y vibraciones notablemente inferiores a los emitidos por el motor tradicional.



Fig 26. ATR-72 de Universal Hydrogen modificado para volar con pilas de combustible

El rumbo que está tomando Universal Hydrogen está atrayendo a diferentes inversores de Norteamérica y Europa, interesados en introducir el hidrógeno de aviación en sus actividades comerciales. El modelo de negocio se basa en la conversión de aviones tradicionales a la propulsión por hidrógeno, lo cual es extremadamente ventajoso para las compañías que operen con las aeronaves cuya conversión está ya desarrollada y verificada por la empresa americana (actualmente, los aviones ATR-72 y Dash 8), ya que una modificación posterior a la venta de un avión evitaría adquirir nuevas flotas y mantener, sin demasiada complicación, el volumen de tráfico aéreo al mismo nivel durante el proceso. Para 2025, Universal Hydrogen tiene previsto realizar más de 200 conversiones a clientes de todo el mundo.

Por último, para afrontar el mencionado problema del almacenamiento de hidrógeno en estado líquido a muy bajas temperaturas, que ocupa un volumen muy superior a los combustibles fósiles, la empresa alemana H2FLY ha llevado a cabo a lo largo de 2023 un riguroso programa de ensayos en tierra de sus tanques criogénicos. La compañía ya cuenta con experiencia implementando pilas de combustible basadas en hidrógeno en prototipos que volaron sin problemas, el cual es su principal campo de aplicación, pero dichos avances serán también relevantes en la carrera por la utilización del hidrógeno como combustible directo en los motores aeronáuticos.¹²⁸

¹²⁷ Primer vuelo de Universal Hydrogen – Avion Revue Internacional

¹²⁸ H2FLY And Partners Mark A Significant Step Toward Zero-Emission Commercial Flight Following Developments Of Liquid Tank Integration (fuelcellsworks.com)



Fig 27. Prototipo HY4 de H2FLY propulsado por pilas de combustible¹²⁹

6.6.3. Combustión directa del hidrógeno

La adición de gas oxígeno al hidrógeno bajo altas temperaturas es la reacción química exotérmica en la que se basa el suministro de energía a los sistemas de propulsión por hidrógeno. Es un concepto que aún está pendiente de ser ampliamente implementado en otros sectores, como el automotriz¹³⁰, pero que ha demostrado su eficacia en sectores muy específicos, tales como la propulsión de lanzaderas espaciales. En el ámbito propiamente aeronáutico, los avances respecto a la propulsión por combustión de hidrógeno todavía están lejos de ofrecer a la sociedad una alternativa realista y competitiva, pero cada año que pasa es un nuevo paso hacia la ineludible sustitución de los combustibles fósiles por fuentes de energía sostenibles.

Del año 2023 se puede destacar, por ejemplo, el vuelo del avión Blue Condor¹³¹: la primera aeronave de Airbus propulsada íntegramente por hidrógeno. Comienza así una nueva fase de pruebas de vuelo para el proyecto ZEROe de Airbus¹³², caracterizada por comprobar que todos los sistemas de vuelo funcionan correctamente y de acuerdo con las estimaciones. El paso siguiente consistirá en el estudio de las estelas de condensación generadas por este método de propulsión, las cuales no contienen hollín ni óxidos de azufre, pero sí óxidos nitrosos y mucho vapor de agua: hasta 2,5 veces más que las estelas de queroseno. Ambas se consideran emisiones que impactan el clima y, como tales, la industria de la aviación tiene el deber de abordarlas.

¹²⁹ <https://www.h2fly.de/>

¹³⁰ <https://www.cummins.com/engines/hydrogen>

¹³¹ El Blue Condor realiza el primer vuelo de Airbus propulsado íntegramente por hidrógeno - Actualidad Aeroespacial

¹³² ZEROe - Low carbon aviation - Airbus



Fig 28. El Blue Condor de Airbus impulsado por combustión de hidrógeno

Por último, como proyecto más ambicioso frente al medio-largo plazo, destaca también el hito conseguido por Rolls-Royce en colaboración con easyJet: ambas compañías lograron el primer funcionamiento de un motor aeroespacial moderno con hidrógeno, sobre el cual han ido realizando tests a lo largo del año¹³³. La primera prueba en tierra se llevó a cabo en un demostrador de concepto inicial utilizando hidrógeno verde creado por energía eólica y mareomotriz. Esto representa un gran avance hacia la demostración de que el hidrógeno podría ser un combustible de aviación sin carbono del futuro y es un punto clave de prueba en las estrategias de descarbonización tanto de Rolls-Royce como de easyJet, las cuales aseguran su firme compromiso para el cumplimiento de las medidas del Acuerdo de París de 2015.

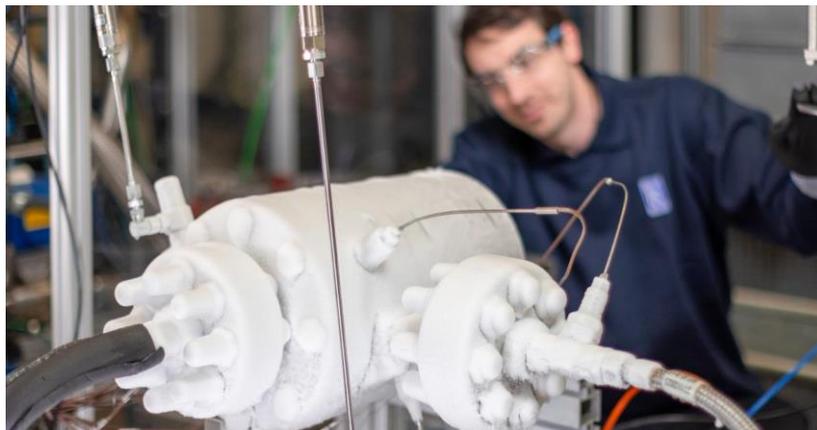


Fig 29. Cadena de montaje de motores de hidrógeno de Rolls Royce¹³⁴

¹³³ Rolls-Royce and easyJet set new world first | Rolls-Royce

¹³⁴ <https://www.ainonline.com/news-article/2023-12-21/rolls-royce-and-easyjet-start-hydrogen-fuel-delivery-testing>

6.7. RUIDO

El informe de marzo de 2023 de la Comisión al Parlamento Europeo y al Consejo sobre la aplicación de la Directiva sobre ruido ambiental, de conformidad con el artículo 11 de la Directiva 2002/49/CE¹³⁵, anunció que es probable que incluso con las medidas previstas en vigor, el número total de personas crónicamente perturbadas por el ruido del transporte aumente un 3% para 2030 (lejos del objetivo original de reducir este número en un 30%), en comparación con 2017. No obstante, también explica que un conjunto sustancial de medidas adoptadas a nivel local, regional y nacional justo con acciones a nivel de la UE podrían reducir el número de personas crónicamente perturbadas por el ruido del transporte en un 19 % de aquí al 2030. También se concluyó la necesidad de muchos más esfuerzos para disminuir el ruido procedente del transporte por carretera, que sigue siendo el mayor contaminante acústico.

Se continúa, por otro lado, con la cuarta fase de aplicación de La Directiva 2002/49/CE de elaboración los distintos Mapas Estratégicos de Ruido (MER)¹³⁶.

En EEUU, la FAA está revisando su política de ruido¹³⁷ y, para ello, en marzo del 2023 emitió un aviso de revisión de la misma para envíos de comentarios hasta septiembre del 2023¹³⁸. Actualmente, se están revisando los más de 4800 comentarios recibidos.

Como noticia destacable, la FAA ha otorgado 19 millones de dólares a 14 universidades de todo el país a través del Centro de Sostenibilidad de la Aviación (ASCENT) para investigar modos de reducir el ruido, así como conseguir vuelos con cero emisiones netas para 2050¹³⁹. Los proyectos relacionados con el ruido incluyen, entre otros:

- reducción del ruido de las nuevas aeronaves,
- examinar las posibles ventajas,
- simulación de estampidos sónicos,
- predicción del ruido de los aviones supersónicos,
- modelos de ruido para distintos tipos de vehículos de movilidad aérea avanzada,
- evaluar y cuantificar si existe alguna correlación entre el ruido de los aviones, el sueño, la salud cardiovascular y la salud mental.

En España, se aprueban reales decretos que modifican el mapa de ruido Real Decreto 630/2023 de 11 de julio,¹⁴⁰ por el que se modifican las servidumbres aeronáuticas acústicas, el mapa de ruido y el plan de acción del aeropuerto de Sevilla.

A niveles nacional, y dentro de la estrategia de sostenibilidad de ENAIRE ya comentada anteriormente, existe otra iniciativa llamada Fly Quiet, que está enfocada a la mejora de la afección acústica sobre las poblaciones cercanas a los aeropuertos. ENAIRE estudia de forma sistemática el impacto de todos los diseños de maniobras de vuelo y, en colaboración con Aena, monitoriza los niveles acústicos producidos por las trayectorias de aproximación y despegue, promoviendo una comunicación activa con los ciudadanos y municipios afectados.

¹³⁵ <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=CELEX:52023DC0139>

¹³⁶ <https://sicaweb.cedex.es/los-mapas-de-ruido/>

¹³⁷ https://www.faa.gov/sites/faa.gov/files/FAA-2023-0855-0002_attachment_1_0.pdf

¹³⁸ <https://www.faa.gov/noisepolicyreview>

¹³⁹ <https://www.faa.gov/newsroom/quiet-skies-universities-research-way-reduce-aviation-noise>

¹⁴⁰ https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2023-17767

6.8. DRONES

6.8.1. Acuerdos y Normativa

La Administración Federal de Aviación de Estados Unidos (FAA) autorizó a Zipline International¹⁴¹ a entregar paquetes comerciales alrededor de Salt Lake City y Bentonville, Arkansas, utilizando drones que vuelen más allá de la línea de visión del operador (BVLOS) con el objetivo a largo plazo de integrar de forma segura los drones en el Sistema Nacional del Espacio Aéreo, en lugar de reservar un espacio aéreo separado para los drones.

Moya Aero y N2 Infrastructures se alían para una logística con drones más sostenible¹⁴². El acuerdo incluye la adquisición por parte de N2 de cuatro unidades del dron Moya eVTOL. Moya Aero, spin-off de ACS Aviation, la entidad brasileña de ingeniería aeronáutica y desarrollo de aeronaves ha anunciado su asociación estratégica con N2 Infrastructure Technologies, una *startup* canadiense que trabaja en la industria de carga aérea como operador de logística y de transporte.

El acuerdo consiste en un suministro de cuatro drones Moya eVTOL, y permite además que pueda desarrollar operaciones logísticas con aeronaves no tripuladas de alta capacidad. El Moya eVTOL es un dron de aterrizaje y despegue vertical, totalmente eléctrico, de gran capacidad y autonomía y diseñado para llevar mercancías voluminosas y pesadas de hasta 200 kg o 160 litros de productos fitosanitarios a una velocidad máxima de 150 km/h y un rango de 110km.

La misión de N2 Infrastructure Technologies es revolucionar el sistema de transporte y logística utilizando drones de tipo eVTOL para proporcionar servicios médicos de emergencias (EMS), ambos grupos quieren utilizar sus sinergias para hacer la logística más sencilla y sostenible.

En Escocia, se está llevando a cabo un proyecto para medir las emisiones de CO2 de las explotaciones agrícolas¹⁴³ utilizando drones equipados con sensores Lidar (detección y medición de luz). Este proyecto, combinado con análisis de suelo en laboratorio, permitirá estimar las reservas de carbono de las explotaciones agrícolas, avanzando hacia la meta de producción neta cero.

La Compañía Nacional de Petróleo de Abu Dhabi (ADNOC), en colaboración con el conglomerado estatal de defensa y tecnología avanzada Edge Group, ha anunciado una asociación para emplear vehículos aéreos no tripulados fabricados en los Emiratos Árabes Unidos (EAU) en sus operaciones terrestres y marinas. La rama de sistemas autónomos de Edge, conocida como Adasi, utilizará sus UAS existentes para que la petrolera pueda utilizarlos en labores de monitoreo y como apoyo en situaciones de emergencia. Esta colaboración también incluirá un acuerdo comercial que permitirá el despliegue de drones especializados en la detección de fugas de gases de efecto invernadero.

¹⁴¹ <https://a21.com.mx/normatividad/2023/09/20/autoriza-faa-uso-de-drones-para-entrega-de-paquetes>

¹⁴² <https://www.infodron.es/texto-diario/mostrar/4485189/moya-aero-n2-infrastructures-alian-logistica-drones-sostenible>

¹⁴³ <https://www.infodron.es/texto-diario/mostrar/4110739/drones-calculan-cantidad-carbono-explotaciones-agricolas>

6.8.2. Tecnología

En el 2023, tuvo lugar el vuelo inaugural del Kea Atmos MK1¹⁴⁴, un demostrador tecnológico de corta duración con una envergadura de 12,5 metros y pesa menos de 40 kilogramos. Volará a unos 15 kilómetros (50.000 pies) durante hasta 16 horas. El Kea Atmos, diseñado por Kea Aerospace, es un dron propulsado por energía solar pensado para operar en la estratosfera transportando cargas útiles para adquirir imágenes de alta resolución. La intención es desarrollar versiones posteriores del Kea Atmos para volar a mayores altitudes de forma continua durante meses seguidos.

Un proyecto presentado en la feria Aero India 2023, fue el dron SURAJ¹⁴⁵ bajo la dirección de los Laboratorios Aeroespaciales Nacionales de la India (NAL) y la Organización de Investigación y Desarrollo para la Defensa (DRDO), con un sistema de propulsión con hélices de dos palas en configuración de tractor y con una longitud de ala de seis metros y dos colas con superficies de control. Es capaz de alcanzar los 3.000 metros de altitud y tiene una autonomía de vuelo de 12 horas proporcionada por las placas solares ubicadas en la superficie superior de las alas.

Skydweller aero¹⁴⁶, empresa ubicada en España que desarrolla un vehículo aéreo no tripulado (UAV, del inglés Unmanned Aerial Vehicle) emplea un nuevo sistema de control FBW o fly-by-wire propulsado 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 FBW 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.



Fig 30. Skydweller AeroDrones

7. CONCLUSIONES

El camino hacia la aviación sostenible sigue progresando como demuestran los compromisos alcanzados en 2023 tanto dentro de la industria como a nivel gubernamental e internacional.

Muchos obstáculos y barreras se deben seguir superando para conseguir el objetivo de cero emisiones netas para el 2050, a las que se unen desfavorablemente las previsiones de crecimiento del tráfico aéreo con una media del 4,3% anual durante los próximos 20 años, pero

¹⁴⁴ <https://www.keaaerospace.com/kea-atmos/>

¹⁴⁵ <https://aviaciondigital.com/suraj-el-dron-capaz-de-volar-con-la-energia-solar/>

¹⁴⁶ <https://www.infodron.es/texto-diario/mostrar/4167549/skydweller-finaliza-albacete-primeras-pruebas-vuelo-autonomo>

como se ha visto a lo largo de esta agenda, numerosas y variadas acciones se están llevando a cabo en las industrias del sector de forma generalizada con resultados al corto, medio y largo plazo.

Respecto al corto plazo, destacan los programas de sostenibilidad de cada vez mayor número de líneas aéreas, medidas de concienciación de los viajeros en las emisiones de CO₂, y la existencia de competiciones y rankings de sostenibilidad de las mismas.

Con resultados esperados a medio plazo, cabe señalar las distintas colaboraciones entre empresas para conseguir avances tecnológicos más rápidamente, así como el establecimiento continuado de acuerdos e incentivos, gubernamentales a nivel nacional e internacional para fomentar y ayudar en la consecución del objetivo de emisiones cero, como la publicación de OACI de una guía para incentivar la producción de SAF o el nuevo sistema de comercio de emisiones independiente del EU ETS existente. Adicionalmente, no se deben obviar los progresos en la hibridación, que influirán a medio plazo, como el inicio de la construcción de la fábrica de aviones híbridos Aura Aero.

Por último, con resultados a largo plazo, en el 2023 se han producido avances muy significativos en el campo de la electrificación de las aeronaves como AutoFlight, realizando un vuelo de 250 km con una sola carga de baterías. Además, considerando la tecnología del hidrógeno, que se encuentra en una fase de desarrollo más temprana que el sector de los SAF, se están estableciendo grupos de trabajo y colaboraciones como es el caso de la 'Alianza para el Uso del Hidrógeno Verde en la Aviación' en España.

Concluyendo, han de salvarse muchos obstáculos y quedan pendientes numerosos compromisos y esfuerzos pero, sin lugar a duda, estas acciones de empresas y organismos de los distintos sectores de aviación contribuyen a que ese objetivo de emisiones totales cero sea posible y, cada vez, más alcanzable.

8. BIBLIOGRAFÍA

- [1] O. Castro Álvarez y E. Martín Santana. *La sostenibilidad medioambiental en el sector aeronáutico*. COIAE, 2022.
- [2] O. Castro Álvarez. *La sostenibilidad medioambiental en el sector aeronáutico*. *Adenda 2022*: COIAE, 2023.
- [3] *Global Carbon Budget 2023*, <https://doi.org/10.5194/essd-15-5301-2023>
- [4] Lee, D. S. et al. The contribution of global aviation to anthropogenic climate forcing for 2000 to 2018. *Atmospheric Environment*, volumen 244, 2021
- [5] J. Mukhopadhaya y D. Rutherford. *Performance analysis of evolutionary hydrogen-powered aircraft*. ICCT. Enero, 2022.
- [6] Fuel Cells and Hydrogen 2 & Clean Sky 2. *Hydrogen-powered aviation: A fact-based study of hydrogen technology*. 2020.