



La hoja de ruta para la descarbonización del transporte aéreo.

Apellidos, nombre	Mateu Céspedes, José María (jomaces1@tra.upv.es)
Departamento	Departamento de Ingeniería e Infraestructura de los Transportes
Centro	ETS de Ingeniería del Diseño. Universitat Politècnica de València



1 Resumen de las ideas clave

La aviación internacional tiene que contribuir necesariamente a la descarbonización de la economía. Los planes de la OACI establecen una Hoja de ruta para esa contribución, basada en cuatro pilares: las mejoras tecnológicas de las aeronaves, las mejoras operativas en la organización del transporte aéreo, el uso de combustibles sostenibles y la compensación de emisiones. En el ámbito geográfico que más directamente nos atañe, la Unión Europea secunda esa Hoja de ruta y comienza a plasmarla en regulación.

2 Introducción

Las aerolíneas, y las empresas operadoras de transporte aéreo en general, pueden introducir numerosas medidas para reducir su impacto en el medio ambiente, es decir, para avanzar hacia la sostenibilidad. Pueden por ejemplo introducir mejoras en sus procesos operativos que les permitan reducir el consumo de agua (en la limpieza de las aeronaves, por ejemplo); pueden asegurarse de que materiales desechados, de carácter tóxico, son debidamente tratados e incluso reutilizados (lubricantes, por ejemplo); pueden sustituir materiales desechables por reutilizables, reciclados y/o reciclables (vasos, platos, etc. del *catering* a bordo, por ejemplo); pueden aplicar medidas de atenuación del ruido, especialmente al sobrevolar espacios urbanos; etc.

Todas estas medidas pueden contribuir a que la aerolínea se comporte de una manera más sostenible, más respetuosa con el medio ambiente. Con todo, hay un impacto medioambiental particularmente relevante de las compañías de transporte aéreo, y lo que es más significativo, mucho más urgente, debido a las consecuencias que está ya acarreado. Se trata de la emisión de gases de efecto invernadero (GEI), y su amenazadora derivada, el calentamiento global o cambio climático.

Existe hoy un alto grado de consenso sobre la necesidad de reducir este tipo de emisiones, puesto de manifiesto en las sucesivas Cumbres sobre el clima (*Conference of the Parties, COP*). La celebración de la edición número 26 de estas Cumbres, en Glasgow en 2021, ha dejado patente que el tiempo para eludir el desastre climático se acaba, y que todos debemos esforzarnos más para alcanzar los objetivos de reducción de GEI establecidos. Particularmente próximo está el objetivo de reducir en un 55% las emisiones de este tipo de gases para 2030 (en comparación con los niveles de 1990). El objetivo de más largo alcance es la neutralidad climática para 2050. Cuando hablamos de que es necesaria la contribución de todos, estamos incluyendo a las administraciones públicas, a todos los sectores económicos y a los propios ciudadanos y ciudadanas. El transporte aéreo no es una excepción.

3 Objetivos

Este artículo persigue un triple objetivo. Por un lado, se pretende describir las formas en que la aviación internacional puede reducir el volumen de gases de efecto invernadero emitido a la atmósfera, sin recurrir a una reducción de la oferta de vuelos. Por otro lado, se pretende mostrar la hoja de ruta que las entidades internacionales que gobiernan este ámbito están definiendo para impulsar esa

reducció. Por último, como tercer objetivo, se pretende sensibilizar al lector o lectora para que se sume, al nivel de sus responsabilidades, a la lucha contra el cambio climático.

4 Desarrollo

4.1 ¿Qué se espera del transporte aéreo en relación a sus emisiones de gases de efecto invernadero?

La Asamblea de la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI, o ICAO en su acrónimo inglés) celebrada en 2019 estableció el objetivo de evitar el crecimiento de la emisión de GEI causadas por la aviación a partir de 2020. El reto es importante, porque las estimaciones futuras apuntan a que el transporte aéreo siga creciendo de la manera exponencial en que lo ha venido haciendo hasta ahora, y esto llevaría a triplicar las emisiones actuales en menos de treinta años, esto es, para 2050. La necesidad de actuar para reducir o compensar esas emisiones de alguna manera es evidente.

En 2019 nadie sospechaba la irrupción de la pandemia de COVID19, que a la postre invalidó el uso pretendido del año 2020 como referencia (las emisiones en 2020 bajaron de manera notable, pero transitoria, por el efecto de la pandemia). Para corregir esta distorsión, parece haber cierto consenso en escoger las emisiones del año 2019 como referencia. En cualquier caso, el objetivo de la OACI es el crecimiento nulo de las emisiones a lo largo del tiempo, sin mermar el crecimiento de los vuelos. Esto genera un desajuste entre el crecimiento previsible de no aplicarse medidas correctoras y el objetivo perseguido. Ese desajuste se podría expresar de manera gráfica como muestra la Imagen 1.

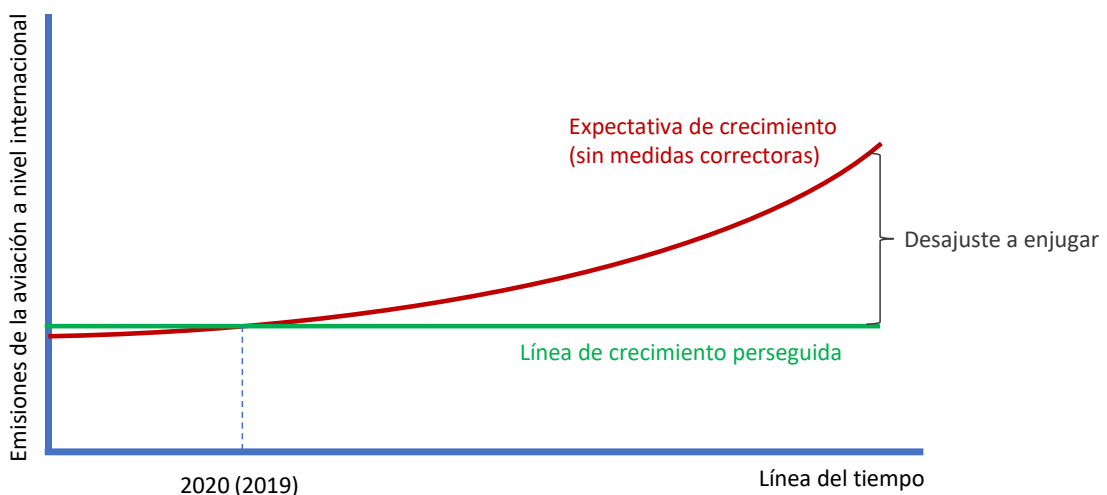


Imagen 1. Desajuste a enjugar entre el crecimiento esperado de las emisiones de GEI y el objetivo de crecimiento nulo perseguido (a partir de OACI, 2019)

Los estados podrían aplicar medidas para reducir el desajuste, medidas que actuarían directamente sobre la demanda de transporte aéreo. Nos referimos a medidas de carácter normativo o fiscal de carácter desincentivador. Algunos estados como Alemania o Francia ya están aplicando ecotasas. Hay también movimientos sociales que animan a dejar de volar o a sustituir el avión por medios más sostenibles como el ferrocarril (*Flight shame*). Profundizar en estos métodos no forma parte de los objetivos de este artículo.

4.2 ¿Cómo puede el transporte aéreo reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero?

La propia OACI identifica cuatro líneas de acción para reducir el desajuste entre las emisiones previsibles y las pretendidas: (1) mejoras tecnológicas en las aeronaves, (2) mejoras en la operativa del transporte aéreo, (3) utilización de combustibles sostenibles y (4) compensación de emisiones. Veamos con algo de detalle cada una de estas líneas.

4.2.1 Mejoras tecnológicas en las aeronaves

Los fabricantes de aeronaves han venido introduciendo en sus nuevos modelos significativas **mejoras tecnológicas** durante décadas. El objetivo ha sido fundamentalmente la reducción del consumo de combustible, no con fines medioambientales, sino más bien con el de reducir los costes de operación. Hay que recordar que el coste del combustible es uno de los principales costes de las aerolíneas, y que está sujeto a vaivenes que dificultan su adecuada gestión. Estas mejoras han sido tan significativas que han impulsado a las aerolíneas a adoptar políticas de renovación rápida de su flota. En efecto, las reducciones en consumo de fuel que los modelos nuevos aportan compensan el esfuerzo económico de la renovación. En cualquier caso, estas políticas han tenido un efecto positivo sobre las emisiones de GEI de las aerolíneas, y dos de cada tres aerolíneas dicen haberlas aplicado.

Veamos algunos ejemplos sugeridos por las propias aerolíneas. Los responsables de JetBlue afirmaban en 2018 que su nuevo modelo A220 consumía un 40% menos de fuel que el Embraer 190 de su flota al que venía a sustituir. Aer Lingus afirmaba en diciembre de 2019 que su nuevo A321neo reducía el consumo en un 15%, gracias a sus motores de nueva generación y a la incorporación de *sharklets* (ver Imagen 2).



Imagen 2. Detalle del sharklet de un A321neo de Viva Aerobus (fuente: airbus.com)



Qantas afirma en su web que el B787 Dreamliner consume un 20% menos de fuel que el B747 al que viene a reemplazar. Algo similar ocurre en otros ámbitos de la aviación, como la aparición de los *very light jets* en la aviación corporativa. El aligeramiento de las aeronaves por el uso de *composites* y la mejora en la eficiencia de los motores supusieron la reducción del precio de compra y del coste de mantenimiento de los nuevos modelos para este tipo de aviación.

Debido a los avances ya materializados, las mejoras adicionales que cabe esperar provengan de la tecnología podrían tener ya poco recorrido. Se trata en gran medida de tecnologías cuya posibilidad de mejora está llegando a su límite. No obstante, la OACI encuentra aún cierta posibilidad de progreso en esta línea de la mejora de la tecnología, confiando a estas mejoras un incremento del 2% en el rendimiento de los combustibles. Para reducciones más significativas provenientes de la innovación tecnológica habrá que esperar a innovaciones radicales. Hablamos por ejemplo de motores híbridos o eléctricos, que suponen en la práctica retos más ambiciosos, de resolución efectiva aún lejana. De hecho, la implementación de este tipo de motores en la aviación exige avances previos muy significativos en los dispositivos de almacenamiento de energía (baterías), que probablemente pasen por la materialización de las baterías de hidrógeno. Por todo ello, muy pocas aerolíneas incluyen el motor eléctrico en su hoja de ruta. Easyjet y la mejicana Viva Aerobus son las que parecen haber dado pasos más concretos, asociándose a la NASA y otras entidades y proveedores de servicios aeronáuticos para impulsar el proyecto de aeronave eléctrica de Wright Electric.

Wright Electric trabaja en la definición de una aeronave totalmente eléctrica para cien pasajeros, con autonomía de una hora de vuelo. Su *Libro blanco* sobre almacenamiento de energía explora dos tecnologías alternativas, la pila de combustible de hidrógeno (*hydrogen fuel cell*) y la pila de combustible de aluminio (*aluminium fuel cell*). Su Hoja de ruta estima disponer de una aeronave comercial para 2026, aunque los costes no serían equiparables a los de las aeronaves convencionales actuales hasta 2030.

4.2.2 Mejoras operacionales

Las **mejoras operacionales** en el ámbito del transporte aéreo representan un segundo ámbito de mejora que puede contribuir a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero. El abanico de medidas de este tipo es amplio, encaminándose en muy diversas direcciones:

- Medidas que mejoran la eficiencia de la aeronave, como un adecuado mantenimiento, la reducción de pesos o el simple hecho de aprovechar toda la capacidad de los aviones ('volar con aviones llenos').
- Medidas que optimizan las operaciones en vuelo (ajustes de la ruta buscando zonas de menor resistencia del viento, p.ej.) y en tierra (mejoras en las trayectorias de aterrizaje y despegue, optimización de los recorridos en tierra) y otros (mejora de la captación de datos). En esta línea, destaca el trabajo desarrollado alrededor de la denominada *Navegación basada en el desempeño* (PBN, del inglés *performance-based navigation*).
- Medidas de gobernanza y relacionadas con las personas, como la formación específica para la aplicación de las medidas del epígrafe anterior, la fijación de objetivos específicos, la asociación con otras



aerolíneas y entidades para poder abordar medidas de mayor alcance, etc.

4.2.3 Uso de combustibles sostenibles

El **uso de combustibles sostenibles** parece emerger como la alternativa más viable a corto plazo para la significativa reducción de emisiones, pero la realidad es más compleja de lo que podría parecer en un principio. El grueso de los combustibles sostenibles actuales procede de diversos tipos de biomasa. La idea inicial es que el CO₂ vertido a la atmósfera al quemar estos combustibles en un motor de combustión interna es compensado por el que absorbe en su proceso de crecimiento la planta que dio origen al biocombustible. Se han formulado, no obstante, diversas reservas a esta afirmación general.

La crítica más relevante a los biocombustibles de origen vegetal es la posible competencia que su generalización podría tener frente a usos alternativos de la tierra. Las plantaciones dedicadas a la producción de biocombustible podrían establecerse en detrimento del uso de estas tierras para alimentación, en territorios cuyos habitantes no tienen sus necesidades alimentarias debidamente cubiertas. La constatación de esta problemática impulsó el desarrollo de una segunda generación de biocombustibles, que hoy denominamos **biocombustibles (o biocarburantes) avanzados**. Éstos provienen en gran medida de residuos vegetales y animales. Entre otros: biorresiduos generados en la industria agroalimentaria, la pesca o la acuicultura (como paja, cortezas, ramas, cáscaras de frutos secos, lías de uva, etc.), los residuos de la venta de estos productos, estiércol animal, lodos de depuración, etc. Una línea de investigación prometedora explora la producción de biocombustibles a partir del cultivo de algas. El catálogo de biocombustibles se completa con los procedentes de aceite de cocina usado y residuos de grasas animales.

En cualquier caso, el origen de los llamados combustibles sostenibles es muy diverso, incluye incluso combustibles provenientes de aceites industriales y plásticos. Es claro que el empleo de residuos de todo tipo tiene otras ventajas de carácter medioambiental, como es la eliminación de estos residuos, pero su impacto favorable sobre el cambio climático es más cuestionable. La descomposición natural de estos residuos, cuando no se emplean como combustibles, acaba liberando CO₂, pero esta liberación se extiende a un plazo de siglos, mientras que la quema como carburante lo libera de manera inmediata. Teniendo en cuenta que nuestro problema es a corto plazo, la duda está más que servida.

Además, aún en el caso de biocombustibles de origen vegetal, el ciclo completo del CO₂ puede ser muy diverso según se trate de maíz, palma, soja, etc. La propia producción del biocombustible necesita además cierta cantidad de energía, una necesidad que no existe en el caso de combustibles de origen fósil. Un estudio desarrollado con etanol de maíz en Estados Unidos estimaba que la reducción de GEI respecto a las emisiones de combustibles convencionales de origen fósil se sitúa entre el 39 y el 43%.

La búsqueda de combustibles alternativos que minimicen la huella de carbono al tiempo que otros potenciales inconvenientes de los biocombustibles es una línea de exploración científico-tecnológica necesaria. Algunas fuentes reservan para estos combustibles la denominación de **combustibles sintéticos**, aunque otras emplean el adjetivo sintético para cualquier combustible distinto a los de origen fósil, dado que todos ellos requieren de cierto proceso de



transformación. La lógica detrás de estos combustibles es la captura y uso del CO₂ durante su proceso de producción.

A efectos de suavizar la transición hacia los combustibles sostenibles, la práctica habitual está siendo la mezcla de este tipo de combustibles con los de origen fósil, en proporciones crecientes de los primeros. En diciembre de 2021 un avión de United Airlines volaba entre Chicago y Washington usando exclusivamente biocombustible. Los temores a que estos combustibles alternativos no ofrezcan las condiciones operativas y de seguridad requeridas parecen pues haberse disipado.

4.2.4 Compensación de emisiones

El último recurso para la reducción de emisiones de GEI es lo que denominamos la **compensación de emisiones**. La idea es en esencia plantar árboles o plantas en general que absorban las emisiones de GEI producidas al quemar combustible. Ello es posible gracias a que la vegetación es absorbente nata de CO₂, a través de la fotosíntesis. Se han planteado, y están en estudio, métodos alternativos de absorber CO₂, pero los costes de estos procesos artificiales son por el momento prohibitivos.

Más de la mitad de las aerolíneas importantes han acometido programas de compensación de su huella de carbono, a nivel parcial y limitado. Las primeras iniciativas ofrecían a pasajeros y pasajeras pagar un plus con su tarifa para que su vuelo fuera neutro en emisiones. La respuesta fue poco entusiasta, menos del 1% del pasaje optaba por el vuelo neutro. Hay que añadir no obstante que aquellos primeros intentos se produjeron en épocas en que el público no era todavía muy consciente de los efectos del cambio climático. En cualquier caso, las aerolíneas más concienciadas terminaron por asumir los costes de la compensación como propios, y añadieron en última instancia la sostenibilidad como un atributo de valor a su oferta y a su comunicación.

Por otra parte, la compensación se está abordando a nivel agrupado, desde la OACI. La OACI ha definido un *Plan de compensación y reducción de carbono para la aviación internacional* (CORSIA, *Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation*). El Plan consta de cinco fases, asignadas a periodos de tiempo definidos:

- 2018: Medidas preparatorias, que llevaron a la postre a la aprobación del Plan en la Asamblea de la OACI de 2019.
- 2019-20: Periodo de referencia a emplear para el cálculo, aunque finalmente se concretó en 2019, para evitar el efecto desvirtuador de la COVID19.
- 2021-23: Fase piloto, de participación voluntaria y base de cálculo a elección.
- 2024-26: Primera Fase, participación voluntaria aplicando los criterios ya establecidos por CORSIA.
- 2027-35: Fase obligatoria, excepto para países menos adelantados y pequeños países en desarrollo.

4.3 ¿Cómo está abordando la Unión Europea la descarbonización del transporte aéreo?

La Unión Europea viene asumiendo un rol activo en la lucha contra el cambio climático. Las nuevas directrices en este ámbito, establecidas el 14 de julio de 2021, fijan como objetivo para 2030 la reducción de las emisiones netas en al menos un 55% (no respecto a las de 2019, sino respecto a las de 1990). Todo ello como paso previo hacia el objetivo de largo plazo que persigue la neutralidad climática en 2050. Para avanzar en esa dirección, la UE dicta normas relativas a los combustibles a emplear por los distintos modos de transporte. En el ámbito de la aviación, esas normas se agrupan bajo la denominación *ReFuelEU*.

La UE afirma la necesidad de evolucionar hacia combustibles sintéticos (también los denomina *electrocombustibles*), pero constata al mismo tiempo la inmadurez tecnológica de estos combustibles sostenibles, y el reto que supondrá la adaptación del parque de aeronaves para el uso de electricidad, hidrógeno u otros combustibles disruptivos. El objetivo que establece a corto plazo es por ello la combinación de combustibles fósiles con biocombustibles y otros combustibles sostenibles que no requieran adaptaciones radicales de las aeronaves.

El Reglamento de la UE "relativo a la garantía de unas condiciones de competencia equitativas para un transporte sostenible", finalmente aprobado el 14 de diciembre de 2021, establece una serie de obligaciones significativas para los operadores de transporte aéreo (se excluyen los de escasa dimensión):

- Obligatoriedad de combinar 'combustibles de aviación sostenibles' (CAS) con los fósiles en porcentajes crecientes. El primer nivel se establece, a partir del uno de enero de 2025, en el 2%. A partir del 1 de enero de 2030 el porcentaje mínimo de CAS será del 5%, con un porcentaje mínimo del 0,7% de combustibles de aviación sintéticos. Los porcentajes crecen hasta alcanzar mínimos del 63% de CAS, con un mínimo del 28% de sintéticos, en 2050.
- La Norma excluye el uso de biocombustibles producidos a partir de cultivos alimentarios y forrajeros, por los motivos comentados anteriormente en este documento, y recomienda especialmente el uso de los procedentes de aceite de cocina usado y grasas animales.
- A fin de evitar prácticas anticompetitivas (como el *sobrerrepostaje* en aeropuertos de fuera de la UE con medidas de sostenibilidad más laxas), la Norma obliga a los operadores a unos porcentajes de abastecimiento mínimo en aeropuertos de la UE.

La Norma no sólo obliga a los operadores aéreos, exige también a los gestores de aeropuertos y a los proveedores de combustible que actúen en consecuencia, garantizando la provisión de combustible con las condiciones exigidas.

Por otra parte, la UE se adhiere al esquema CORSIA de OACI, instando su aplicación en su ámbito de competencia.

5 Cierre

Los planes de la OACI establecen una Hoja de ruta para la contribución del transporte aéreo a la descarbonización de la economía, basada en cuatro pilares:

las mejoras tecnológicas de las aeronaves, las mejoras operativas en la organización del transporte aéreo, el uso de combustibles sostenibles y la compensación de emisiones. La Imagen 3 plasma gráficamente los resultados perseguidos. En el ámbito geográfico que más directamente nos atañe, la Unión Europea secunda esa Hoja de ruta y comienza a plasmarla en regulación. El camino está trazado, pero los retos para recorrerlo son importantes.

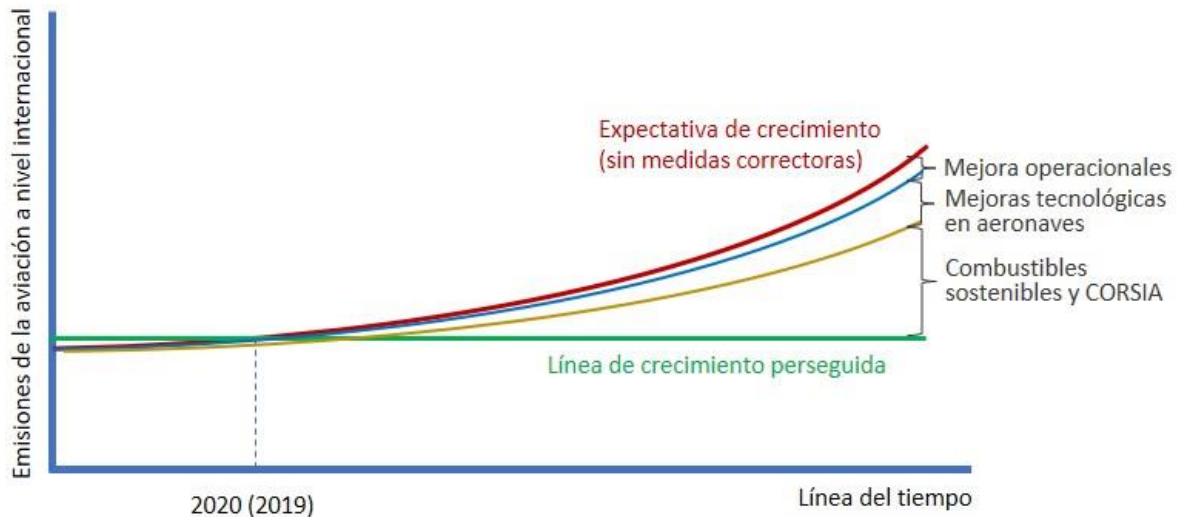


Imagen 3. Plan de la OACI para evitar el crecimiento de emisiones de GEI por la aviación internacional (a partir de OACI, 2019)

A modo ejemplo, Repsol está desarrollando la producción de combustibles sostenibles para aviación en varias de sus instalaciones. La refinería de Puertollano y el complejo industrial de Tarragona han producido ya sendos lotes de biocombustible procedentes de biomasa. Las instalaciones de su filial Petronor en Bilbao han producido por su parte combustible de aviación a partir de residuos vegetales procedentes de la industria agroalimentaria. Un avión de Vueling volaba el pasado noviembre de 2021 con combustible producido en Tarragona, mientras que uno de Iberia lo hacía impulsado por combustible producido en Bilbao. En ambos casos el modelo de aeronave empleada era un Airbus A320neo.

6 Bibliografía

6.1 Libros:

Mateu, J. M., 2021; "Construyendo empresas sostenibles", Parc Científic de la Universitat de València. Disponible en: <https://news.pcvv.es/la-fpcuv-lanza-una-gu%C3%ADa-para-ayudar-a-startups-y-empresas-a-alinear-su-viabilidad-al-desarrollo-sostenible>

Walker, T., 2020; "Sustainable Aviation", Palgrave MacMillan.



6.2 Informes:

Becken, S. and Pant, P., 2019; "Iniciativas de las aerolíneas para reducir el impacto climático", Amadeus. Disponible en: <https://amadeus.com/es/articulos/libro-blanco/iniciativas-de-las-aerolineas-para-reducir-el%20impacto-climatico>

Fahey, D.W. et al., 2016; "White paper on climate change aviation impacts on climate: state of the science", ICAO. Disponible en: <https://www.icao.int/environmental-protection/Documents/Forms/AllItems.aspx?RootFolder=%2fenvironmental%2dprotection%2fDocuments%2fScientificUnderstanding&FolderCTID=0x01200048E70A3021A9504D98DF706482A68A4C>

OAG, 2020; "How green is your airline? The sustainability debate", OAG. Disponible en: <https://www.oag.com/how-green-is-your-airline>

Wright Electric, 2021. Wright Spirit Energy Storage Discussion Paper. <https://www.weflywright.com/>

6.3 Reglamentación:

Unión Europea, 2018; "Directiva (UE) 2018/2001, de 11 de diciembre, relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables", UE. Disponible en Diario Oficial de la Unión Europea.

Unión Europea, 2021; "Propuesta de Reglamento relativa a la garantía de unas condiciones de competencia equitativas para un transporte aéreo sostenible", UE. Disponible en: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=CELEX%3A52021PC0561>