



Universidad Autónoma
de Madrid

Programa de Doctorado en Economía y Empresa

Tesis Doctoral presentada por:

D. Abel Jiménez Crisóstomo

Tesis Doctoral Dirigida por:

Dr. D. Luis Rubio Andrada

Dra. Dña. María Soledad Celemín Pedroche

Madrid, 15 de noviembre del 2021

ANÁLISIS DE LA SOSTENIBILIDAD ENERGÉTICA DEL TRANSPORTE AÉREO

AGRADECIMIENTOS

La presentación de esta Tesis es la conclusión de un proyecto que excede con mucho su alcance académico. A través del desarrollo de esta investigación y de la labor docente que llevo realizando en la Universidad Autónoma de Madrid durante los últimos doce años, he podido dar salida y proyección a una dimensión humanista que, durante años, había estado enterrada bajo el poderoso perfil del ingeniero gestor, y quién sabe si incluso pueda ser instrumental para un cambio completo en mi orientación profesional.

En este proceso de cambio sustancial ha sido fundamental la concurrencia de mi esposa, Doña Carmen Redondo Sánchez, a quién agradezco ... la vida compartida ..., y más concretamente su apoyo incondicional, si no “sus enérgicos empujones”, para abordar este proyecto. Pacientes y estoicos lo han soportado mis hijos, Germán, Celia, Inés y Vera, siempre impresionados por las horas que papá “echaba trabajando”; espero que el tiempo y esfuerzos invertidos en esta empresa también reviertan en vuestro beneficio, y que, al menos, os sirvan de ejemplo.

Agradecimiento infinito también para Luis Rubio, y Marisol Celemín, mis directores de Tesis y compañeros, junto con María Escat, de publicaciones, pues su fe en mí y en este proyecto, que de largo excedían las mías propias, ha ido consistentemente aplastando, cual martillo pilón, cualquier duda que sobre su éxito me haya podido surgir. Obvio agradecerles su ayuda en la dirección y orientación.

Un requisito para la realización de esta Tesis fue la realización de un Máster habilitante, que cursé en la Universitat Oberta de Catalunya. El Máster en Turismo Sostenible y Tecnologías de la Información y la Comunicación, más que un molesto trámite, resultó un descubrimiento maravilloso, abriéndome la puerta a nuevas ramas y métodos de la ciencia y el conocimiento, siendo fundamental en el desarrollo de esa nueva vertiente humanista del investigador y de la persona. Vuelvo por ello a reiterar mi agradecimiento a Asunción Blanco Romero y Soledad Morales Pérez, directoras del Trabajo Fin de Máster y del propio Máster, así como a todos los profesores del mismo.

La motivación profunda para iniciar este camino siempre ha sido el hecho de disfrutar con la docencia, de poder apreciar el impacto positivo causado en personas jóvenes, en plenos desarrollo y formación, para quienes somos determinantes desde nuestra labor de profesores. Diseñar, desarrollar, probar, certificar y poner en servicio un motor de avión es, ciertamente, muy gratificante; pero nada de eso es comparable a la sensación de haber sido una pieza fundamental en el aprendizaje y orientación vital de una persona. Por ello, estoy tremendamente agradecido a la Universidad Autónoma de Madrid, por haberme dado la oportunidad de ejercer la docencia, y a todos aquellos que han sido indispensables para que pudiera hacerlo:

- A Luis Collado Cueto, como jefe del departamento de Estructura Económica y Economía del Desarrollo al que estoy adscrito, a María Isabel Heredero de Pablos, nuestra decana y antigua jefa de departamento, y a todos los miembros del departamento, con especial mención a los gestores, Carmen y Francisco, que tanto me han ayudado para subsanar mis dificultades de conexión con la vida académica desde mi posición de profesor asociado en turnos de tarde.
- De nuevo, a Luis Rubio Andrada, como coordinador del grado de Gestión Aeronáutica, y a todos los compañeros profesores del grado, cuya ayuda ha sido inestimable para el desarrollo de mi labor docente.

Por su metodología, el desarrollo de esta Tesis ha requerido una interacción intensa con profesionales del sector aeronáutico, de la energía y del turismo. Mi agradecimiento a todos ellos por su participación desinteresada y por el esfuerzo que han realizado para ofrecer sus testimonios despojándose de sesgos corporativos. También reitero mi agradecimiento por su participación a todos aquellos profesionales que tuvieron a bien responder a la encuesta planteada en la Tesis.

Y quiero por último agradecer a mis estudiantes durante estos años, y a las próximas generaciones por el esfuerzo que harán en el futuro en pro de hacer del sector de la aviación uno sostenible y perfectamente integrado, útil sin reservas para la sociedad. Decidí comenzar esta investigación porque amo la aviación, porque soy un profundo convencido de su tremendo impacto positivo en lo social, lo económico y lo político. Sin embargo, progresivamente, hemos ido tomando conciencia de que

también genera externalidades negativas, indiscutibles, que hay que corregir. En medio de todo el ruido mediático desde donde se señala a la aviación de un exceso de responsabilidad en los problemas medioambientales globales, y en particular del cambio climático, a aquellos que trabajamos en el sector se nos genera una duda cuasi-existencial: ¿estamos trabajando por el bien de la sociedad o por el contrario la empujamos a una crisis irreversible? Esta investigación es un intento de sacudirse esa duda, de conseguir una cierta paz de conciencia, tratando primero de entender el alcance real del problema y, desde ese entendimiento profundo y con una modestia infinita, ser capaz de proponer y promover medidas y acciones concretas en pro de su solución. Una vez avanzada, que nunca concluida, me temo que la duda cuasi-existencial persiste, pues nunca llegaremos a conocer y resolver la cuestión con una certeza absoluta; pero al menos siento la satisfacción de ser capaz de posicionarme desde criterios científicos y emitir las recomendaciones derivadas de estos.

Me permito la doble licencia de expresar de forma poética las emociones que esa duda me ha causado, y de, para hacerlo, plagiarme a mí mismo, pues esta poesía ya fue declamada durante el VII FORO REDINTUR de 2017.

*Entiéndeme cariño,
otra cosa no deseo,
que, cuando dejes de ser niño,
seas hombre de provecho.*

*Creo que sé el criterio,
con que te debo educar:
este mundo conservar,
pero el cómo ...es un misterio.*

*Quiero darte lo mejor,
por ello trabajo y lucho.
Y ¡cierto!, no siempre escucho,
lo que me dice el mundo.*

Que me cuenta como sufre,

*como yo le causo daño.
Y por mucho que me engaño,
y me refugio en mi nube,
es verdad que mis aviones
contaminan y echan humo,
que calientan, yo lo asumo,
que alteran las estaciones ...*

*Pero ayudan a las personas.
paisajes, culturas, idiomas ...
fortalezas, catedrales,
bellos bailes rituales,
festivales,
bellas playas,
ruinas mayas,
desiertos y cordilleras
islotas y parameras,
y esas maravillas ... siete,
todo a tiro de un billete.*

*No diré que no hay quien viva,
con esta feroz diatriba.
Pues debo vivir, y vivo,
... y por ello contaminao.
Más si no me comprometo,
¿podrán vivir nuestros nietos?*

*Hijo, sé valiente
y perdona.
Más si aún tengo un consuelo,
es saberte a ti consciente,
de que cuidarás el cielo,
... de Madrid a Barcelona.*

INDICE DE CONTENIDOS

AGRADECIMIENTOS	5
INDICE DE CONTENIDOS	11
CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN. PRESENTACIÓN DEL PROBLEMA DE LA SOSTENIBILIDAD ENERGÉTICA DEL TRANSPORTE AÉREO.	16
1.1. EL PECADO ORIGINAL: EL DESAJUSTE ENTRE EL CRECIMIENTO DEL TRANSPORTE AÉREO Y LA CAPACIDAD DEL SISTEMA PARA REDUCIR SUS EMISIONES Y EL DESARROLLO DE LA CONSCIENCIA SOCIAL E INSTITUCIONAL AL RESPECTO EN LA ERA PRE-COVID.	16
1.1.1. <i>Crecimiento del transporte aéreo, del consumo de combustible y de las emisiones de gases de efecto invernadero.</i>	16
1.1.2. <i>Movimientos sociales críticos con la sostenibilidad de la aviación.</i>	22
1.1.3. <i>Consolidación institucional de la preocupación por la sostenibilidad.</i>	23
1.2. EL CASTIGO DIVINO A LA ARROGANCIA DEL TRANSPORTE AÉREO: EL COVID-19 Y EL NUEVO ESCENARIO DE PANDEMIA.	28
CAPÍTULO 2. PRESENTACIÓN DEL MARCO TEÓRICO, DE LA CUESTIÓN TEÓRICA PRINCIPAL Y DE LOS OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.	36
2.1. MARCO TEÓRICO.....	36
2.2. CUESTIÓN PRINCIPAL DE LA INVESTIGACIÓN.....	43
2.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.	45
CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA.	51
3.1. METODOLOGÍA PSEUDO-CUANTITATIVA: REVISIÓN DE AUTORES Y REVISIÓN DE DATOS ESTADÍSTICOS Y PREVISIONES SECTORIALES.	51
3.2. METODOLOGÍA CUALITATIVA.....	54
3.3. METODOLOGÍA CUANTITATIVA.....	61
3.4. ANÁLISIS DE ESCENARIOS.	62
CAPÍTULO 4. RESULTADOS.	65
4.1. ANÁLISIS DEL ESCENARIO PRE-COVID- ARTÍCULO EN INVESTIGACIONES TURÍSTICAS DE ENERO DE 2020.	65
ANÁLISIS DE LA SOSTENIBILIDAD ENERGÉTICA DEL TRANSPORTE AÉREO Y SU IMPACTO EN EL TURISMO	71
<i>RESUMEN</i>	71
<i>ABSTRACT</i>	72
<i>I. INTRODUCCIÓN</i>	73
1.1. Marco teórico.....	73
1.2. Objetivos de la investigación	77
<i>II. METODOLOGÍA</i>	77
2.1. Metodología pseudo-cuantitativa: revisión de autores, de datos estadísticos y previsiones	78

2.2. Metodología cualitativa.....	79
2.3. Triangulación.....	81
III. ANÁLISIS Y RESULTADOS.....	81
3.1. Valoración de escenarios en base al análisis cuantitativo y revisión de autores.....	81
3.2. Valoración de escenarios en base al análisis por métodos cualitativos	83
IV. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	84
4.1. Discusión de resultados de la cuestión principal: sostenibilidad de la aviación.....	84
4.2. Valoración de la utilización de la metodología cualitativa en el estudio.....	85
V. CONCLUSIONES E IMPLICACIONES.....	87
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	90
APÉNDICE 1: GUIÓN DE ENTREVISTAS SEMI-ESTRUCTURADAS	92
1. Explicación del alcance de la investigación.....	92
2. Preguntas sectoriales.....	93
3. Preguntas personales sobre hábitos de sostenibilidad	95
4.2. ANÁLISIS DEL CAMBIO DE ESCENARIO. DEL ESCENARIO PRE-COVID AL ESCENARIO COVID. ARTÍCULO EN SUSTAINABILITY.	96
THE CONSTRAINED AIR TRANSPORT ENERGY PARADIGM IN 2021	100
1. Introduction	100
2. PART 1. Pre-COVID-19 Scenario, Fall 2019.....	102
2.1. Air Transport Demand Evolution and Projections.....	102
2.2. Air Transport Supply. Future Aircraft Demand Projections.....	104
2.3. Current Technology Developments. Expectations for Aviation Energy Consumption and Emissions Reduction.....	107
2.4. Aviation Emissions Trade and Compensation Schemes.....	113
2.5. Conclusions of Part 1.	114
3. PART 2. 2020 Scenario: COVID-19 and New Technology Proposals.	115
3.1. Impacts of COVID-19 on Air Transport Demand. Expectations for Recovery.....	115
3.2. Air Transport Supply and Future Aircraft Demand Projections in the Wake of COVID- 19.....	118
3.3. Technology Development Strategies Evolution in 2020	120
3.4. Aviation Emissions Trade and Compensation Systems in 2020.....	124
4. PART 3. Comparison of Scenarios and Final Conclusions.	125
4.1. Comparison of Scenarios: Pre-COVID-19 vs. 2020 (COVID-19 Effect and New Technology Proposals)	125
4.2. Final Conclusions.....	127
References.....	130
4.3. ANÁLISIS EN PROFUNDIDAD DEL ESCENARIO COVID. ARTÍCULO DE ESIC-DIGITAL ECONOMY AND INNOVATION JOURNAL.	135
ANALYSIS OF AIR TRANSPORT STAKE HOLDERS PERCEPTIONS AND MOTIVATIONS ABOUT LONG TERM INNOVATIONS TOWARDS SUSTAINABLE AVIATION ENERGY PARADIGMS.....	137
Abstract.....	137
1. Introduction.	139
2. Theoretical background.....	140

3. <i>Research method</i>	142
3.1. The qualitative method	142
3.2. The quantitative method	146
4. <i>Comparative analysis of the pre-pandemic and pandemic scenarios</i>	147
4.1. Background	147
4.2. In depth interviews analysis.....	148
5. <i>Analysis of current expectations for the future through the results from an extended survey among aviation professionals</i>	154
5.1. Analysis of stake holders' sensitivity to sustainability in general and to sustainability of aviation and tourism in general.	156
5.2. Analysis of reliance on technology proposals and policy measures	157
5.3. Analysis of the relevance of the transversal factors	158
5.4. Analysis of future market recovery and sustainability expectations.....	160
6. <i>Future research directions</i>	161
7. <i>Conclusions and recommendations</i>	161
<i>Acknowledgements</i>	163
<i>References</i>	163
<i>Appendix 1. Interview guide supporting the semi-structured interviews</i>	172
<i>Appendix 2. Questionnaire supporting the survey</i>	174
CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	180
CAPÍTULO 6. LIMITACIONES DEL ESTUDIO Y FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN	192
ANEXOS	198
ANEXO 1: ENTREVISTAS A PROFESIONALES DE LA AVIACIÓN Y LA ENERGÍA PREVIAS A LA PANDEMIA.	199
ANEXO 2: ENTREVISTAS A PROFESIONALES DE LA AVIACIÓN Y LA ENERGÍA DURANTE LA PANDEMIA – PRIMAVERA / VERANO 2021.....	235
BIBLIOGRAFÍA	276

CAPÍTULO 1

**INTRODUCCIÓN. PRESENTACIÓN DEL PROBLEMA DE LA
SOSTENIBILIDAD ENERGÉTICA DEL TRANSPORTE AÉREO**

CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN. PRESENTACIÓN DEL PROBLEMA DE LA SOSTENIBILIDAD ENERGÉTICA DEL TRANSPORTE AÉREO.

1.1. EL PECADO ORIGINAL: EL DESAJUSTE ENTRE EL CRECIMIENTO DEL TRANSPORTE AÉREO Y LA CAPACIDAD DEL SISTEMA PARA REDUCIR SUS EMISIONES Y EL DESARROLLO DE LA CONSCIENCIA SOCIAL E INSTITUCIONAL AL RESPECTO EN LA ERA PRE-COVID.

1.1.1. Crecimiento del transporte aéreo, del consumo de combustible y de las emisiones de gases de efecto invernadero.

En la sociedad actual, globalizada y, en una proporción muy importante, democrática y económicamente desarrollada (o al menos por comparación con épocas pasadas), el turismo se ha convertido en una necesidad social cuasi de primer orden, cuasi irrenunciable. Se reconoce el turismo como una actividad que contribuye al necesario descanso y distracción de la persona, a la educación y al establecimiento de lazos interculturales. La satisfacción de dicha necesidad requiere por definición la utilización de medios de transporte.

La aviación y el turismo son fenómenos relativamente jóvenes que han ido creciendo y desarrollándose de la mano hasta llegar a ser sectores económicos de primer orden y considerarse como motores primarios de desarrollo. Podrían existir aviación sin turismo y turismo sin aviación, y de hecho existieron independientemente en algunos tramos de su historia, pero ya desde la segunda década del siglo XX comenzaron a desarrollarse conjuntamente en una dinámica exponencial retroalimentada en la que los avances de la aviación (tecnológicos, jurídicos, comerciales, operativos ...) propiciaban el desarrollo del turismo, y los avances del turismo (disponibilidad de vacaciones, rentas más elevadas, desarrollo de destinos ...) se traducían en aumentos de la demanda de transporte aéreo (Hernández, 2008).

Tras el Convenio de Chicago de 1944 y la creación de la Organización Internacional de la Aviación Civil surge una conciencia internacional colectiva sobre la importancia del transporte aéreo como instrumento de desarrollo (International Civil Aviation Organization (ICAO), 2006).

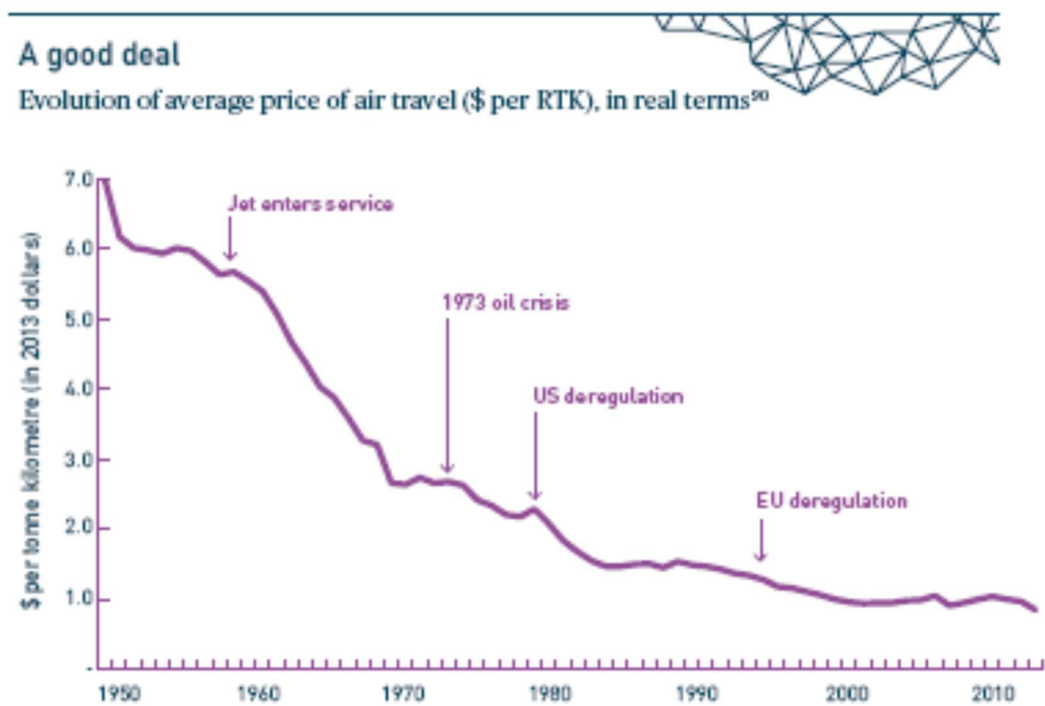
Esta dinámica se ha visto si cabe acelerada a raíz de la progresiva desregulación del transporte aéreo, fenómeno que comenzó en 1978 como consecuencia del “Deregulation Act” en Estados Unidos (United States 95th Congress, 1978), que supuso la liberalización del sector aéreo en Estados Unidos y el inicio de una tendencia que progresivamente se ha ido extendiendo al resto del mundo. Poco a poco el modelo de negocio ha ido transformándose para adaptarse al entorno de la libre competencia, los precios se han reducido significativamente, apareciendo y extendiéndose el modelo de aerolíneas “low cost” y, como dicen los responsables de estas aerolíneas y algunos autores (Hernández, 2008), el transporte aéreo “se ha democratizado”, quedando al alcance de gran parte de la población mundial. La ciudadanía siente el viajar como un derecho inalienable y encuentra motivaciones para hacerlo:

- en la necesidad de disfrutar de su tiempo de ocio explorando nuevos lugares y culturas, o simplemente buscando relajarse y romper con su rutina.
- en la necesidad de mantener y alimentar las relaciones sociales, en ocasiones derivadas de movimientos migratorios.

La competencia, las mejoras tecnológicas y, en muchas ocasiones, el apoyo de los gobiernos, favorecieron el crecimiento sostenido del transporte aéreo durante décadas, con demanda y oferta persiguiéndose de forma iterativa y constante, hasta el extremo de llegar a considerarlo un paradigma indisputable en el sector. Las mejoras continuas en la eficiencia del sistema, combinadas con una competencia creciente derivada de la liberalización, propiciaron una tendencia continuada de descenso de los precios (véase ilustración en la figura 1.1), y ello permitía índices de crecimiento del transporte aéreo consistentemente por encima de los de crecimiento económico global como se puede ver en la figura 1.2. Antes de COVID-19, este crecimiento sostenido sólo se había visto perturbado de forma transitoria por las crisis

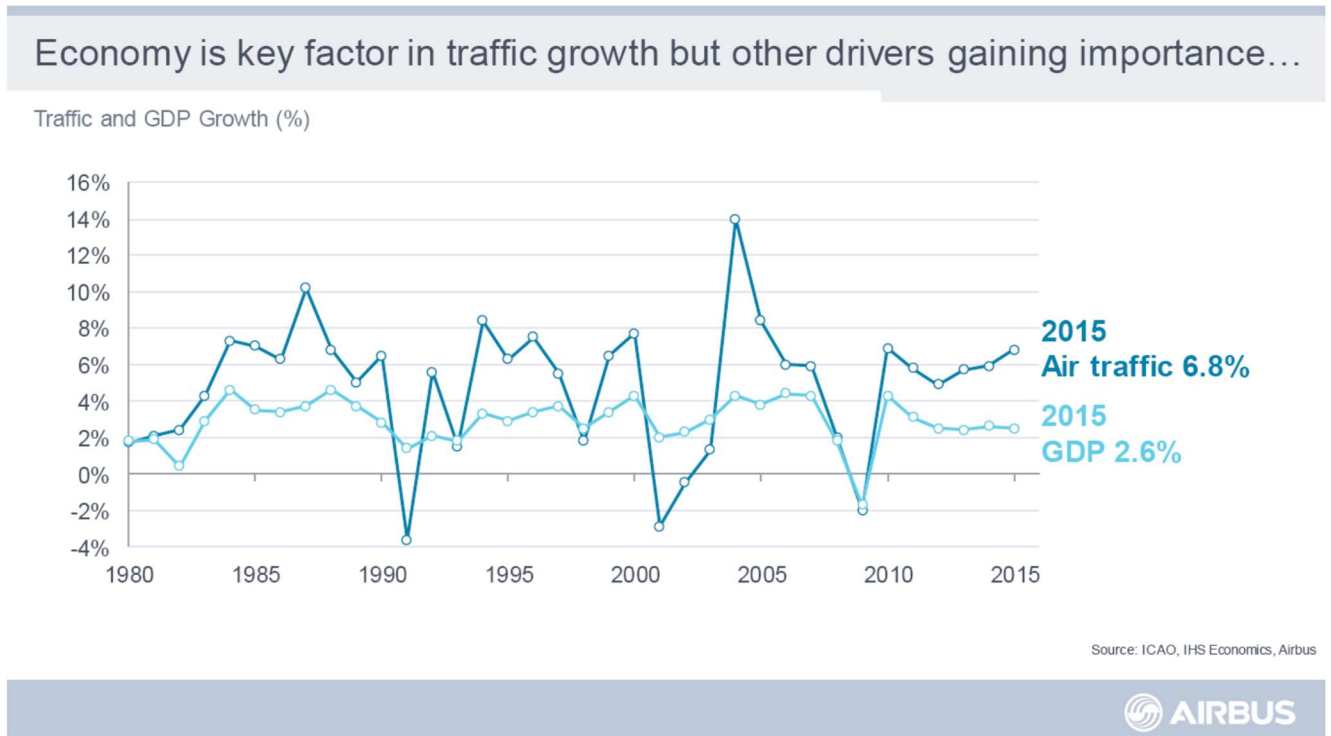
del sector derivadas del 11-S, de la epidemia del SARS y por la financiera y económica global del 2008; y pese a la magnitud, severidad y el impacto de todos estos eventos, el transporte aéreo recuperó la senda del crecimiento en unos pocos meses. Todas las predicciones del sector previas a la pandemia coincidían en definir futuros escenarios de crecimiento sostenido del tráfico anual entre el 4% y el 6% (Airbus, 2019; Boeing Commercial Aviation, 2019; Japan Aircraft Development Corporation, 2019), como el que se ilustra en la figura 1.3.

Figura 1.1. Evolución histórica del precio del transporte aéreo en dólares por pasajero-kilómetro transportado.



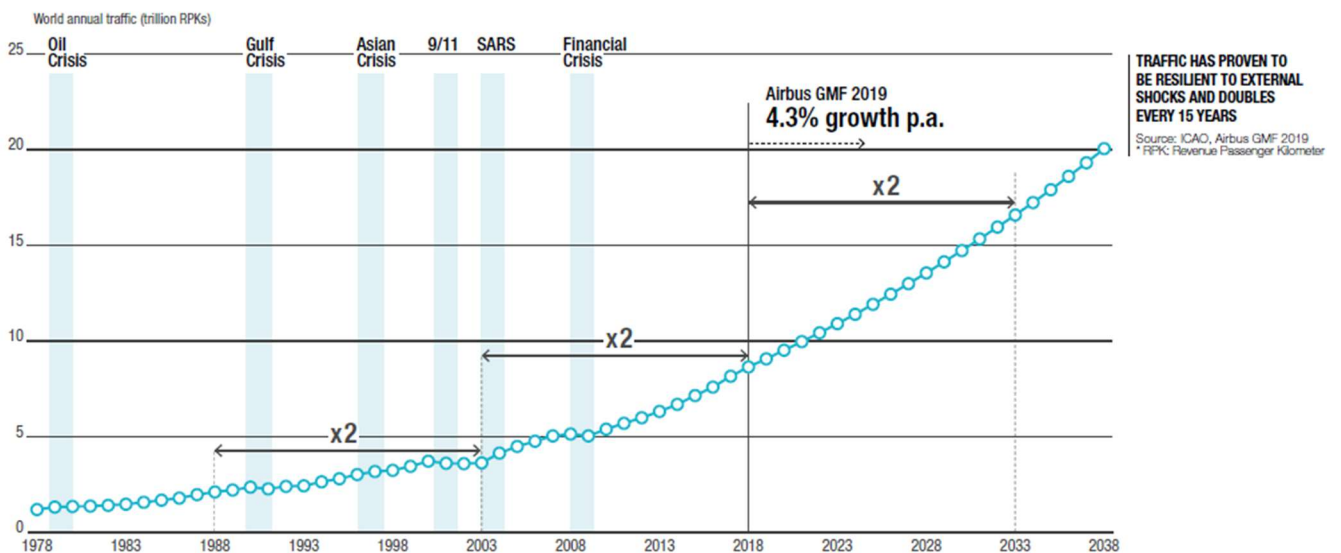
Fuente: ATAG Aviation benefits beyond borders. Julio 2016

Figura 1.2. Comparativa del crecimiento del tráfico aéreo con el del producto interior bruto global.



Fuente: Airbus GMF 2016-2035

Figura 1.3. Previsiones de crecimiento del tráfico aéreo en 2019 según Airbus.

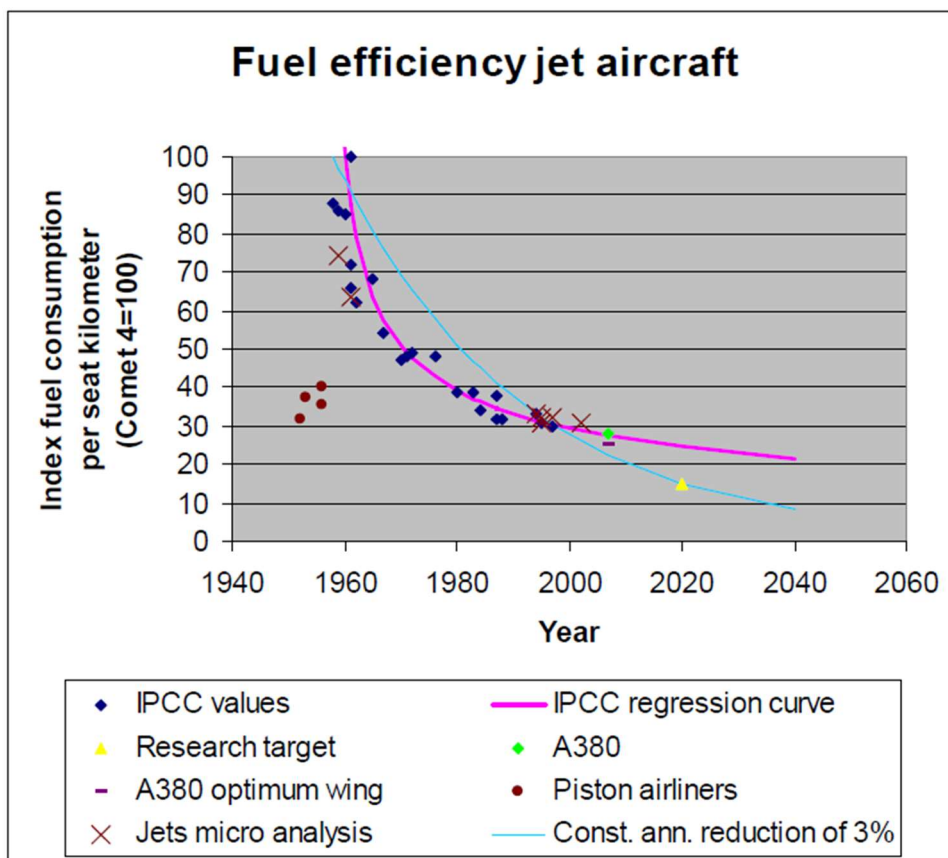


Fuente: Airbus GMF 2019-2038 (Airbus, 2019)

Como se muestra en la figura 1.4, desde los años 60, se han producido significativos avances tecnológicos en el transporte aéreo que han derivado en una mejora de entre el 60% y el 70% en la eficiencia energética del mismo (medida en

megajulios por asiento y kilómetro transportado), posibilitando una reducción de su impacto medioambiental y del consumo de recursos energéticos en términos intensivos. Sin embargo, los beneficios de esta mayor eficiencia se ven más que sobrepasados por el crecimiento del tráfico, de forma que el sistema de tráfico aéreo aumenta tanto su consumo de recursos energéticos como sus emisiones.

Figura 1.4. Evolución de la eficiencia energética del transporte aéreo desde 1960 en términos relativos, tomando como referencia el Comet 4 y medida en megajulios consumidos por asiento-kilómetro ofrecido.



Fuente: (Pm Peeters et al., 2005)

Según datos de la Organización de Países Exportadores de Petróleo (Organization of Petroleum Exporting Countries, OPEC), a pesar de las mejoras de eficiencia derivadas de los avances tecnológicos, las mejoras en la gestión del tráfico aéreo y el incremento de los índices de ocupación, la demanda de petróleo de la aviación ascendió desde 5 millones de barriles diarios (un 6% de la demanda global) en 2007 (OPEC, 2009) a 6,7 millones de barriles diarios (un 6,7% de la demanda global) en 2019 (OPEC, 2020). Las previsiones previas a la pandemia indicaban que

esta tendencia creciente se seguiría desarrollando hasta alcanzar en 2040 un consumo de 8,9 millones de barriles diarios, un 8% de la demanda de petróleo global (OPEC, 2019). Las más recientes previsiones realizadas en 2020, durante la pandemia, indican que la recuperación del sector llevará a los mismos niveles de consumo en 2040 (OPEC, 2020). La expectativa es que los mayores crecimientos de demanda de petróleo para el transporte aéreo tengan lugar en países en vías de desarrollo (OPEC, 2019, 2020).

Un escenario de consumo de petróleo creciente implica un escenario de crecimiento en las emisiones de gases de efecto invernadero. La International Energy Association (IEA) realizó en 2009 un estudio exhaustivo de posibles escenarios futuros sobre emisiones de CO₂ en los sectores de la energía y el transporte titulado *IEA Transport Energy y CO₂* (International Energy Agency, 2009) en el que se mostraba que independientemente de lo optimista del escenario planteado (según diferentes grados de progreso tecnológico, generalización del uso de combustibles alternativos o grado de cambios modales) se llegaba a un aumento neto de las emisiones de la aviación en 2050 con respecto de los niveles de base de 2005, previendo la emisión de unas 1200 Mt de CO₂ equivalente en el mejor de los casos, y hasta 3700 Mt en el peor. Sin embargo, en el último informe anual previo a la pandemia, *World Energy Outlook 2019* (IEA, 2019), las predicciones de la IEA resultan significativamente más optimistas. Partiendo de unas emisiones de CO₂ de 982 Mt en 2018, se establecen unas expectativas para 2050 que van desde las 625 Mt en un escenario de compromiso internacional absoluto con los objetivos de desarrollo sostenible y consecución de estos, a las 1661 Mt en un escenario consistente con las políticas declaradas en 2019.

El escenario de referencia de consumo de petróleo de la aviación propuesto por la OPEC resulta compatible con un escenario intermedio entre los dos propuestos para la emisión de gases de efecto invernadero propuestos por la IEA, e implica un crecimiento de las emisiones de la aviación en las próximas décadas como un escenario más plausible. En cualquier caso, los escenarios contemplados por la IEA a nivel global son en términos relativos más favorables que los específicos del transporte aéreo, pues se valora que las emisiones de CO₂ globales evolucionarían desde las 33413 Mt en 2018 a 35589 Mt en 2040 en el escenario de consistencia con

las políticas declaradas en 2019 y una reducción hasta las 15796 Mt en el escenario compatible con la consecución de los objetivos de desarrollo sostenible.

1.1.2. Movimientos sociales críticos con la sostenibilidad de la aviación.

En ese contexto, el transporte aéreo se significaba como un sector consumidor de combustibles fósiles y generador de gases de efecto invernadero, y con expectativas de evolucionar a peor en el futuro, por lo que era inevitable que aparecieran movimientos sociales críticos con el sector.

En la última década algunos estudios comenzaron a detectar en los viajeros una preocupación creciente sobre el impacto en el cambio climático de su comportamiento, con algunos de ellos reduciendo sus vuelos e incluso algunos declarando su intención de dejar de volar (Gössling et al., 2020).

En 2018 la joven sueca Greta Thunberg inició el movimiento “Fridays for the Future” (Gössling, 2019), animando a los escolares a la realización de huelgas de asistencia al colegio los viernes en demanda de acciones gubernamentales para limitar el cambio climático así como para promover el desarrollo de una concienciación, responsabilización y compromiso de los individuos al respecto. Una de sus recomendaciones más repetidas y emblemáticas para el desarrollo de una vida con bajas emisiones de carbono era el prescindir del transporte aéreo. En su periplo de conferencias en foros internacionales sobre el cambio climático de primer nivel (COP 24 en Katowice, World Economic Forum en Davos en 2018, conferencia en la Cumbre del Clima en la ONU en 2019) utilizaba medios alternativos al avión para desplazarse.

Simultáneamente, e íntimamente relacionado con las recomendaciones de Thunberg, surge en Suecia el movimiento de la vergüenza de volar (flyskam en sueco o flight-shame en inglés) que Gössling et al. (2020) describen como la incomodidad con la realización de un acto de consumo con altos consumo energético e impacto climático, siendo, por tanto, socialmente indeseable. El movimiento se propagó a nivel mundial aumentando el nivel de concienciación sobre el impacto climático de la

aviación y la presión sobre políticos e instituciones para tomar acciones más serias por el control del cambio climático.

1.1.3. Consolidación institucional de la preocupación por la sostenibilidad.

Pero la reflexión sobre la necesidad de un desarrollo sostenible no es nueva ni exclusiva de ciertos movimientos sociales contemporáneos. En medio de la espiral de crecimiento de la oferta y la demanda del transporte aéreo, derivada e interrelacionada con el fenómeno turístico, irrumpe en los años 80 del siglo pasado la preocupación por el impacto ambiental de las actividades humanas, y se van desarrollando progresivamente el concepto de sostenibilidad y la conciencia respecto al mismo. Se considera el Informe Brundtland – Nuestro Futuro Común (World Commission on Environment and Development, 1987), publicado en 1987 por las Naciones Unidas, como la primera reflexión profunda y global sobre la necesidad de compatibilizar el desarrollo económico con la sostenibilidad medioambiental, y se acuña por primera vez la expresión “desarrollo sostenible”, como aquel que satisface las necesidades del presente sin comprometer la satisfacción de las necesidades de futuras generaciones. En 1992 se celebró la Cumbre de Río sobre el Medio Ambiente y Desarrollo (World Commission on Environment and Development, 1992), que culminó con la publicación de la correspondiente declaración en la que se establecen los principios por los que los estados deberán regirse para que su desarrollo económico sea sostenible. Consecuencia de la cumbre fue la entrada en vigor en 1994 de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC por sus siglas en inglés United Nations Framework Convention on Climate Change) como ente permanente con el objetivo de lograr la contención de las emisiones de gases de efecto invernadero, así como prevenir y adaptarse a las consecuencias climáticas derivadas de las mismas. En el contexto de la actividad de la UNFCCC se celebraron las conferencias de Kyoto en 1997 y de París en 2015, en las que se concluyeron documentos vinculantes para los firmantes:

- el Protocolo de Kyoto, de diciembre de 1997 y que entró en vigor en febrero de 2005 (acuerdos de Marrakech). Los participantes en el protocolo se comprometen a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero mediante mecanismos de reducción o utilizando mecanismos de creación y comercio de

derechos de emisiones. Los objetivos de reducción, variables según los países, se referían a niveles de 1990 y se situaban en 2008-2012.

- el acuerdo de París de 2015 (UNFCCC, 2015), ratificado por 197 países y en vigor desde octubre de 2016. En el acuerdo se marca el objetivo de limitar el aumento de temperatura global en este siglo por debajo de los 2 grados centígrados, haciendo todos los esfuerzos posibles para que no supere los 1,5 grados. El mecanismo fundamental articulado por el acuerdo es la determinación por parte de cada nación de las llamadas Nationally Determined Contributions (NDC's). Las naciones definen cuales van a ser sus objetivos, los comunican, son registrados y sometidos a control.

El compromiso internacional con el desarrollo sostenible ya había quedado universalmente patente cuando, en 2015, previamente a los acuerdos de París, la ONU adopta la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible (UN General Assembly, 2015) definiendo los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible, uno de los cuales, el número 13, aboga por la adopción de medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus impactos. Los objetivos se concretan en objetivos de menor nivel susceptibles de ser medidos y controlados con objeto de monitorizar el grado de cumplimiento con los mismos y la progresión hacia su consecución por parte de los países.

El vector del desarrollo sostenible también se proyecta en el Pacto Verde Europeo (European Green Deal en inglés) publicado por la Comisión Europea en diciembre de 2019 (EUROPEAN COMMISSION, 2019), muy poco después de la toma de posesión como presidenta de la comisión de Ursula von der Leyen. En el Pacto Verde Europeo se hace una declaración expresa del objetivo de conseguir cero emisiones de gases de efecto invernadero en 2050 y se predefinen estrategias sectoriales que posteriormente han de irse concretando en documentos de estrategia más detallados.

La asunción de compromisos con el desarrollo sostenible y la descarbonización a nivel institucional también se extiende al sector de la aviación. La Organización de la Aviación Civil Internacional, OACI (International Civil Aviation Organization, ICAO),

organismo permanente dependiente de las Naciones Unidas, responsable del desarrollo de la aviación internacional, asume la responsabilidad de velar por el medio ambiente a través de su Comité de Protección Medioambiental de la Aviación (Committee on Aviation Environmental Protection, CAEP), elaborando normativa referente a las limitaciones y control de las emisiones de ruido y gases contaminantes, que se recoge en el anexo 16 al Convenio de Chicago. A su vez, trata de proyectar los compromisos internacionales sobre cambio climático en políticas y normativa específicas del sector.

La OACI ha expresado de forma explícita su compromiso con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ICAO, 2020) y relaciona todas sus políticas y estrategias de desarrollo con la consecución de los mismos. En particular, respecto al ODS 13, la OACI desarrolla políticas y normativa para la reducción de consumo de combustible, la utilización de combustibles alternativos, la mejora de la eficiencia en las operaciones y el desarrollo de esquemas de compensación y mercado de emisiones. No obstante, la concienciación de la OACI sobre la necesidad de proteger el medio ambiente y limitar o reducir las emisiones de gases de efecto invernadero es muy anterior a la publicación de los Objetivos de Desarrollo Sostenible. La OACI, en su asamblea de octubre de 2010 emitió la resolución A37-19 (International Civil Aviation Organization (ICAO), 2010): *Declaración consolidada de las políticas y prácticas permanentes de la OACI relativas a la protección del medio ambiente – Cambio climático*. En ella se reconocía el objetivo establecido por la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC) de estabilizar las concentraciones de gases de efecto invernadero y el mandato del Protocolo de Kyoto de 1997 de reducir los gases de efecto invernadero producidos por la aviación. Por ello se reafirmó el objetivo de reducir el consumo de combustible en un 2% anual hasta 2050, contribuyendo los estados según sus circunstancias y de forma voluntaria. También se pidió en la resolución que el consejo estudiara con los estados miembros la creación de un marco para las medidas basadas en criterios de mercado (market based measures, MBM) para la aviación internacional y se reconoció que los mecanismos de compensación de carbono mediante el empleo de créditos era la manera más práctica de compensar las emisiones. Se pidió también al consejo que se aceleraran las investigaciones de tecnologías y medidas operacionales capaces de reducir las emisiones y, en particular, las investigaciones sobre combustibles alternativos.

En la siguiente asamblea trienal, en 2013, se emitió la resolución A38-18 (International Civil Aviation Organization (ICAO), 2013): *Declaración consolidada de las políticas y prácticas permanentes de la OACI relativas a la protección del medio ambiente – Cambio climático*, como continuación de la A37-19, pero sin haber conseguido la implantación de un mercado de emisiones para la aviación internacional como era el objetivo definido en la Asamblea 37.

Es en la sesión de octubre de 2016, en la asamblea 39 (International Civil Aviation Organization (ICAO), 2016) donde por fin se emite la resolución A 39-3 *Declaración consolidada de las políticas y prácticas permanentes de la OACI relativas a la protección del medio ambiente – Plan mundial de medidas basadas en el mercado (MBM)*.

Por esta resolución se decide implementar un plan global de comercio y compensación de derechos de carbono para la aviación internacional, el denominado plan CORSIA denominado (Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation), con la intención de devenir efectivo a partir de 2020. Este acuerdo es considerado un éxito y un gran paso hacia la sostenibilidad del sector. El CORSIA tiene un calendario de implementación por fases, evolucionando desde la voluntariedad a la obligatoriedad, y contemplándose excepciones para países menos adelantados, estados insulares en desarrollo y los países en desarrollo sin litoral, así como para nuevos explotadores (moratoria de tres años). Se establecen también las reglas aplicables a las medidas de emisión, a su registro y a la gobernanza del programa. Respecto a las unidades de emisión se acuerda que se pueden utilizar las determinadas en el Acuerdo de París.

Más allá de las políticas y estrategias de la OACI, otras organizaciones de carácter público y privado del sector del transporte aéreo capturan la preocupación por la sostenibilidad de la aviación y la proyectan en objetivos “de intención”, no necesariamente alineados entre organizaciones ni de obligado cumplimiento.

Así, por ejemplo, el Consejo Asesor para la Investigación y la Innovación en Aviación (Advisory Council for Aviation Research and Innovation, ACARE) es una

organización formada por 40 miembros incluyendo representantes de la Comisión Europea, Estados miembros, industria aeronáutica, aeropuertos, aerolíneas, autoridad aeronáutica, centros de investigación y universidades encargada de desarrollar una estrategia de investigación en el sector del transporte aéreo que garantice su sostenibilidad y la realización de su función social.

Los objetivos marcados por ACARE para 2050 en su informe Flightpath 2050 (EUROPEAN COMMISSION, 2011), ampliamente asumidos por la industria son:

1. Reducciones (referidas a los estándares del año 2000)
 - a. Emisiones de CO₂ en un 75% por pasajero kilómetro transportado.
 - b. Emisiones de óxidos de nitrógeno en un 90%.
 - c. Ruido percibido en un 65%.
2. Los movimientos del avión en pista se realizarán sin emisiones.
3. Las aeronaves serán diseñadas y fabricadas para ser reciclables.
4. Europa será un centro de excelencia de combustibles alternativos.
5. Europa estará a la cabeza de la investigación atmosférica.

La IATA (International Air Transport Association) es la asociación de compañías aéreas internacionales cuyos miembros desarrollan más del 95% del tráfico aéreo internacional. Cuenta con un comité permanente dedicado al medio ambiente en el que también pueden participar otros agentes de la industria (fabricantes de avión, motor y equipos, distribuidores de combustibles ...) y que define la política ambiental de la asociación. Los objetivos definidos por IATA en 2009 respecto al cambio climático son ciertamente ambiciosos:

- Conseguir una mejora media de la eficiencia energética del 1,5% anual hasta 2020, objetivo que IATA considera cumplido, declarando una mejora media del 2,1% (IATA, 2021).
- Conseguir que el crecimiento del transporte aéreo a partir de 2020 sea neutro en emisiones de carbono.

- Reducir las emisiones netas de la aviación en 2050 en un 50% con respecto a 2005.

Para lograrlo propone desarrollar cuatro pilares: las mejoras tecnológicas (incluyendo el desarrollo de biocombustibles), la mejora de la eficiencia de las operaciones, mejoras de las infraestructuras y la implementación de un sistema de mercado global de emisiones. El cumplimiento con esos objetivos se monitoriza y publica periódicamente (IATA, 2019; IATA, 2021).

Existe una cierta disparidad entre los objetivos perseguidos por las diferentes instituciones y resulta difícil juzgar el grado de dificultad de su consecución, pues todos dependen de la asunción de estos a nivel agregado y de la realización efectiva de acciones ejecutivas y efectivas de forma inmediata. Particularmente complicados de conseguir son los objetivos específicos a largo plazo del transporte aéreo, como por ejemplo el objetivo de IATA de reducir las emisiones netas de la aviación en un 50% en 2050.

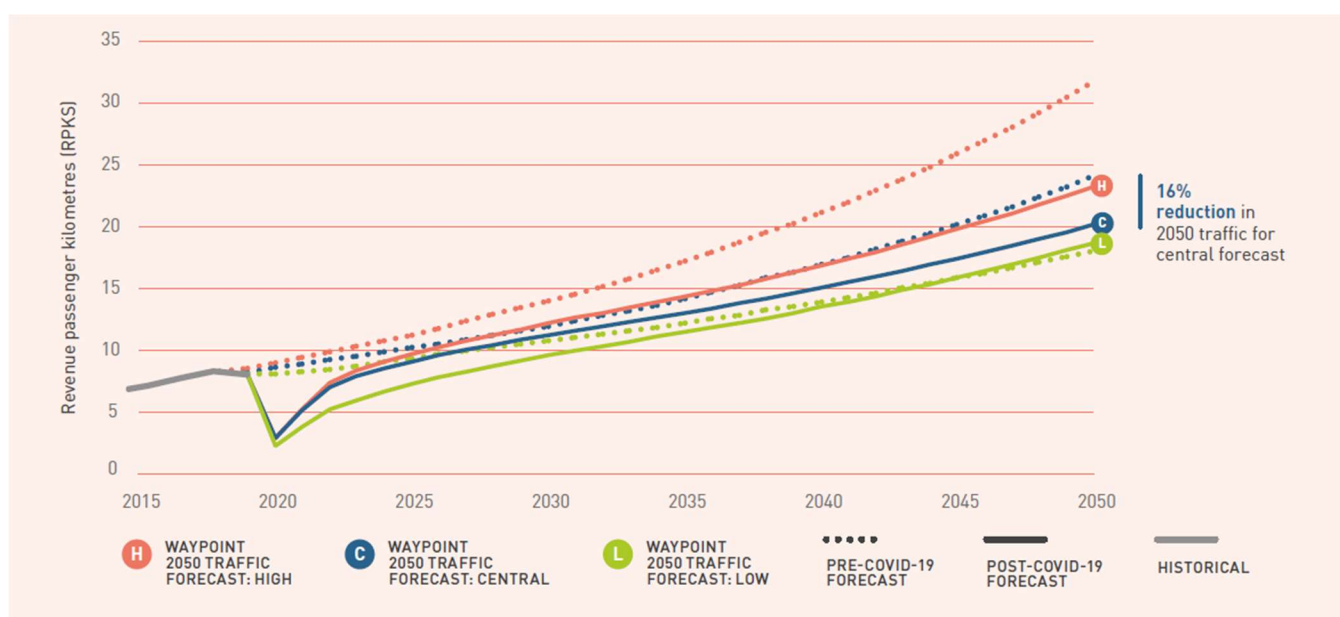
1.2. EL CASTIGO DIVINO A LA ARROGANCIA DEL TRANSPORTE AÉREO: EL COVID-19 Y EL NUEVO ESCENARIO DE PANDEMIA.

Durante el primer trimestre de 2020 comienza a extenderse a nivel global la pandemia del COVID-19. Sus efectos se propagan con rapidez y resultan devastadores en todas las dimensiones de la realidad humana: defunciones, colapso sanitario a nivel global, confinamientos, crisis económica global. El sector del transporte aéreo sufre una crisis sin precedentes, con caídas del tráfico aéreo superiores al 80% a escala global durante los primeros meses de la pandemia, y una recuperación lenta, tortuosa, irregular, intermitente e incierta a partir del verano de 2020. El paradigma del crecimiento sostenido (aunque no necesariamente sostenible) en el que confiaba y con el que se proyectaba el sector se desmorona.

Ante la incertidumbre del nuevo escenario, los actores del sector tardan en decidirse a publicar las previsiones de tráfico y demanda de aeronaves a largo plazo, y cuando lo hacen consideran una banda de escenarios dependientes de posibles evoluciones de la pandemia y políticas gubernamentales (Boeing Commercial

Aviation, 2020; Japan Aircraft Development Corporation, 2020b). De hecho, Airbus no ha actualizado (con fecha octubre de 2021) su “Global Market Forecast”, siendo la última versión publicada la que cubre el periodo 2019-2038 (previo a la pandemia). Sin embargo, todas las proyecciones sectoriales presentan una confianza en la recuperación del sector, si bien se admite que el ritmo de crecimiento del tráfico desde el fondo tocado en 2020 presenta un gran nivel de incertidumbre. Utilizando las previsiones ofrecidas por el Air Transport Action Group en su informe Waypoint 2050 de septiembre de 2020 (ATAG Air Transport Action Group, 2020), en la figura 1.5. se ilustra la consideración de diversos escenarios de recuperación, todos ellos decalados con respecto a sus escenarios homólogos previos a la pandemia, pero todos ellos ofreciendo perspectivas de crecimiento sostenido.

Figura 5.1. Escenarios de recuperación del tráfico aéreo comparados con los escenarios de crecimiento de previsiones previas a la pandemia.



Fuente: ATAG - Air Transport Action Group (2020)

El nuevo escenario de crisis en el sector lleva a que la totalidad de las organizaciones del sector (aeropuertos, aerolíneas, fabricantes de aeronaves, equipos y componentes, compañías de leasing, gestores de tráfico aéreo) quemen caja, entren en pérdidas y busquen financiación para sostenerse. Muchas de ellas precisan de ayudas públicas y otras simplemente sucumben.

Sin embargo, la presión sobre el sector para que reduzca sus emisiones de gases de efecto invernadero no se relaja, y la salida de la crisis se percibe como una oportunidad para reconstruirlo incidiendo en los criterios de sostenibilidad. En muchas ocasiones, los gobiernos condicionan sus ayudas a la asunción de compromisos de sostenibilidad por parte de las corporaciones (Best, 2020).

La caída del tráfico aéreo derivada del COVID ocurre justo en el segundo año de medidas de emisiones para establecer las referencias sobre las cuales determinar los futuros crecimientos sujetos a compensación del CORSIA. En julio de 2020 el consejo de OACI determinó que se tomarán como referencia los niveles de tráfico de 2019 con objeto de no lastrar la recuperación con compensaciones de emisiones hasta llegar a los niveles de tráfico de 2019.

Pero no sólo eso, en la concreción de los compromisos de alto nivel adquiridos en los acuerdos de París, los Objetivos de Desarrollo Sostenible o el Pacto Verde Europeo, se consolidan políticas concretas con impacto en el transporte aéreo.

En diciembre de 2020, siguiendo la estela del Pacto Verde Europeo, la Unión Europea publica la “Estrategia de Movilidad Inteligente y Sostenible” (Sustainable and Smart Mobility Strategy) (EUROPEAN COMMISSION, 2020b), cuyo plan de acción incluye la promoción de los combustibles sostenibles para la aviación, la revisión de la asignación de slots y establecimiento de tasas en los aeropuertos, la utilización de energías verdes en aeropuertos, la revisión de los esquemas de comercio y compensación de emisiones en la aviación, y el apoyo al desarrollo de tecnologías para una aviación sostenible junto con otras acciones de carácter transversal para la mejora del sistema de transportes europeo en su conjunto. Se marca en ella un objetivo de conseguir una reducción del 90% de las emisiones del transporte en Europa para el año 2050, y se traza una hoja de ruta con objetivos intermedios. Los más relevantes relacionados con la aviación son la entrada en servicio de un avión de grandes dimensiones y cero emisiones en 2035, y el objetivo de que todo el transporte colectivo para distancias menores de 500 km esté libre de emisiones, lo que para la aviación implica bien la absorción de ese tráfico por otros modos (la estrategia aboga de forma convencida por un mayor desarrollo del ferrocarril), bien el desarrollo de la aviación eléctrica para esas distancias.

Anteriormente, en julio de 2020, la Unión había publicado la “Estrategia del hidrógeno para una Europa climáticamente neutra” (“A hydrogen strategy for a climate neutral Europe”) (EUROPEAN COMMISSION, 2020a), en la que se hace referencia expresa a la utilización de hidrógeno en las aeronaves como una opción potencial para la descarbonización de la aviación en el largo plazo.

La Unión revisó sus políticas y la legislación existente en materia climática y publicó en julio de 2021 una serie de propuestas legislativas denominada “Fit for 55” (EUROPEAN COMMISSION, 2021a) en pro de la consecución de la descarbonización total en 2050 pasando por un hito intermedio en 2030 de reducción del 55%. Entre esas propuestas está la modificación del Sistema de Comercio de Emisiones de la Unión Europea (EU ETS), en el cual participa la aviación, aunque limitando su acción a los vuelos intracomunitarios. Dicha modificación (EUROPEAN COMMISSION, 2021b) contempla una reducción anual mayor de los derechos asignados de forma gratuita (medida necesaria para la consecución del objetivo de reducción del 55% de las emisiones en 2030), la extensión del alcance del esquema a otros sectores (como el marítimo), un mayor control de los precios de los derechos a través de la gestión de una reserva de estabilidad (Market Stability Reserve) y la creación de unos fondos de innovación y modernización para ayudar a las empresas en la transición hacia tecnologías más limpias. También se contempla la implementación del CORSIA y su coexistencia con el EU ETS. En “Fit for 55” también se incluye la iniciativa “ReFuel EU Aviation” (EUROPEAN COMMISSION, 2021c) en la que se contempla establecer la obligación de mezclar combustibles fósiles con sostenibles (tanto biocombustibles como combustibles sintéticos) en los aeropuertos europeos.

Los compromisos de Naciones Unidas y las estrategias de la Unión Europea tienen también su reflejo en estrategias y normativa a nivel nacional. Así por ejemplo, en España, en enero de 2020 se publicó el Plan Nacional Integrado de Energía y Clima 2021-2030 (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2020) conocido como PNIEC, en el que se establecen objetivos de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero en un 23% (respecto a niveles de 1990), de utilización de energías renovables en un 42% del consumo, de mejora de la eficiencia energética en un 39,5% y en generación de energía eléctrica utilizando un 74% de energías

renovables. En el PNIEC se reconoce la gran dependencia de España de los combustibles derivados del petróleo por la intensidad y el volumen de sus sectores del transporte: el de mercancías por carretera (fuertemente dominante frente al ferroviario), el marítimo por su gran extensión de costa y el aéreo por la tradicional fortaleza del sector turismo. En el PNIEC se hace referencia a la necesidad de promover medidas de eficiencia energética en el transporte aéreo y se establece una comparativa en la intensidad de emisiones de CO₂ del transporte aéreo con el ferroviario (se indica que las del aéreo son del orden de 7 a 10 veces las del ferroviario), abogando por un mayor desarrollo de este último. También se considera necesario el desarrollo de combustibles renovables para la aviación, como tecnología más ampliamente disponible y como único medio de reducir el consumo de carburantes de origen fósil durante los próximos años. Se propone establecer objetivos específicos para su consumo en el sector.

En octubre de 2020, el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, publica la “Hoja de Ruta del Hidrógeno” (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2020), en la que se menciona la expectativa de la utilización de hidrógeno mediante células de combustible tanto en equipamiento aeroportuario como en la propulsión de aeronaves, y se menciona la relevancia de la producción de hidrógeno para la fabricación de querosenos sintéticos.

Los planes y estrategias se proyectan en leyes, tal es el caso de la Ley de Cambio Climático y Transición Energética, publicada en el Boletín Oficial del Estado el 20 de mayo de 2021 (Ley 7/2021, de 20 de Mayo, de Cambio Climático y Transición Energética, 2021). En la ley se adoptan los objetivos del PNIEC, al que se hace referencia, así como también se referencian la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático de 1992 y el Acuerdo de París de 2015 anteriormente mencionados. Más allá de los compromisos del PNIEC para 2030, se establece el objetivo de que España alcance la neutralidad climática antes de 2050 cumpliendo con los compromisos adquiridos internacionalmente. Respecto al transporte aéreo, el Gobierno asume la responsabilidad de establecer objetivos de utilización de combustibles renovables a través de los Ministerios de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana y para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico; así como la de adoptar las medidas necesarias para su consecución. También se

requerirá a las aerolíneas, aeropuertos y empresas proveedoras de servicios de tránsito aéreo la realización de Planes estratégicos de sostenibilidad ambiental supervisados por la Agencia Estatal de Seguridad Aérea y la realización de auditorías energéticas operacionales.

En este contexto de presión social e iniciativas institucionales a través de estrategias, planes y leyes, el sector del transporte aéreo se posiciona, asume compromisos y establece planes de acción. Así por ejemplo, un consorcio de asociaciones formado por Airlines for Europe (A4E), Airport Council International (ACI), Europe, Aerospace and Defence Industries (ASD), Europe, European Regions Airline Association (ERA) y la Civil Air Navigation Services Organisation (canso) publicó en febrero de 2021 el informe “Destination 2050 – A Route To Net Zero Aviation” (NLR & SEO, 2021), realizado con el apoyo del Netherlands Aerospace Centre (NLR) y la SEO Amsterdam Economics, en el que se propone una hoja de ruta para la consecución de una aviación europea libre de emisiones en 2050 apoyándose en una combinación de mejoras tecnológicas en las aeronaves y motores, mejoras en los sistemas de gestión de tráfico aéreo, utilización de combustibles alternativos sostenibles y medidas económicas de compensación promoviendo proyectos de eliminación de carbono.

Unos meses antes, en septiembre de 2020, el Air Transport Action Group (ATAG, asociación en la que participan aerolíneas, fabricantes de aeronaves, motores y equipos, aeropuertos, servicios de navegación aérea ...) publicó su informe “Waypoint 2050” (ATAG Air Transport Action Group, 2020) en el que se presentaban 3 escenarios alternativos en los que, combinado de diferentes formas las medidas anteriores, se consigue llegar al objetivo de la industria de reducir las emisiones al 50% del valor de las mismas en 2050 con respecto a las de 2005 (325 millones de toneladas de CO₂ como objetivo), y proponen escenarios de cero emisiones en 2060.

Pero más allá de las declaraciones de intención y hojas de ruta de asociaciones del sector, las corporaciones se comprometen de forma individual a neutralizar sus emisiones en 2050, adhiriéndose a iniciativas como el Race to Zero (UNFCCC, 2021), promovida por el UNFCCC, y en la que se invita a las organizaciones participantes a materializar su compromiso con la neutralización de emisiones mediante planes

transparentes con objetivos explícitos en el corto y medio plazo. Aerolíneas como Iberia o American Airlines; empresas fabricantes de equipos aeronáuticos como Rolls-Royce, ITP Aero o BAE Systems se han comprometido con esta iniciativa.

Otras entidades eligen expresar sus compromisos de manera independiente. Así por ejemplo, la Association of Asia Pacific Airlines publicó el 13 de septiembre de 2021 una nota de prensa expresando el compromiso de sus miembros con el objetivo de neutralizar sus emisiones de CO₂ en 2050 (AAPA, 2021).

Como conclusión, aunque la crisis del COVID-19 ha supuesto una reducción brutal en las emisiones del transporte aéreo dada la dramática caída del tráfico durante 2020, que no se ha conseguido recuperar durante 2021, la realidad es que la presión social, institucional e incluso autoimpuesta por las propias corporaciones dedicadas al transporte aéreo han hecho que la preocupación por la sostenibilidad futura de la aviación no se olvide o deje en segundo plano, convirtiéndose, junto con el afán por recuperar los volúmenes de tráfico pre-pandemia, en uno de los principales vectores de desarrollo del sector. Las previsiones de retorno a la línea de crecimiento sostenido muestran que el problema de la sostenibilidad a largo plazo sigue vigente, y que el COVID-19 muy posiblemente acabe siendo una tregua temporal al crecimiento de las emisiones del sector.

En dicho contexto, cabe preguntarse por la sostenibilidad del sector y por el grado de realismo de los objetivos sectoriales.

En el siguiente capítulo se plantea en detalle la cuestión teórica principal de la investigación, que consiste fundamentalmente en el análisis de la sostenibilidad de la aviación desde el punto de vista del paradigma energético utilizado en las aeronaves.

CAPÍTULO 2

**PRESENTACIÓN DEL MARCO TEÓRICO, DE LA CUESTIÓN TEÓRICA
PRINCIPAL Y DE LOS OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

CAPÍTULO 2. PRESENTACIÓN DEL MARCO TEÓRICO, DE LA CUESTIÓN TEÓRICA PRINCIPAL Y DE LOS OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.

2.1. MARCO TEÓRICO.

La evolución del transporte aéreo previa a la pandemia descrita en el capítulo 1, con un crecimiento sostenido del tráfico que superaba ampliamente la capacidad del sector para reducir sus emisiones mediante mejoras tecnológicas y operativas, y la falta de sostenibilidad de esa dinámica han sido objeto de numerosos estudios académicos particularmente críticos con el sector. En ellos se analiza el problema desde diferentes perspectivas, y se proponen recomendaciones para mitigar sus consecuencias en posibles escenarios futuros, pero en todos los análisis subyace la dificultad del transporte aéreo para evolucionar hacia un paradigma energético menos contaminante y drásticamente diferente al actual basado en la combustión de hidrocarburos de origen fósil.

Gössling, Hall, Peeters, & Scott (2010) analizan las tendencias en el turismo y su consumo energético: demanda creciente, aumento de los viajes de larga distancia y vacaciones más frecuentes. En este contexto, es muy improbable que surja de los propios turistas un cambio de comportamiento en el uso del transporte aéreo hacia patrones más sostenibles. Por el contrario, la distancia y sus consecuencias ambientalmente negativas no parecen ser un factor muy importante en las decisiones del viajero, más allá del coste en tiempo, molestias y dinero que supone el recorrerla (Larsen & Guiver, 2013). Es más, Ram, Nawijn, & Peeters (2013) identifican la distancia como un componente valorado y buscado por el turista al identificar viajes a lugares lejanos con una mayor sensación de evasión y alejamiento de la rutina, objetivos de los viajes vacacionales. Young, Higham, & Reis (2014) y Young, Markham, Reis, & Higham (2015) cuestionan si dicha motivación, que en ocasiones es clasificada como un dilema patológico (“flyers dilemma”) al ser consciente el viajero del impacto medioambiental negativo de sus vuelos, es en realidad una necesidad

inducida por el propio sistema que se justifica culpabilizando al usuario en última instancia.

Sin embargo, los autores más centrados en estos estudios también son muy críticos con la industria y las instituciones del turismo y el transporte aéreo, especialmente desde la perspectiva del impacto en el cambio climático. Peeters, Higham, Kutzner, Cohen, & Gössling (2016) analizan en detalle cómo la industria del transporte aéreo (en particular los fabricantes de aviones, motores y combustibles) ha creado en las últimas décadas expectativas de reducción de emisiones y de llegar a conseguir una aviación comercial sostenible basada en iniciativas tecnológicas muy publicitadas que, progresivamente, han ido perdiendo repercusión mediática, fundamentalmente por el hecho de fracasar en los objetivos inicialmente planteados. Por ello, los autores las denominan “Technology Myths” (mitos tecnológicos), y critican cómo estos mitos contribuyen al desarrollo de un escenario de falta de asunción de responsabilidades y toma de acciones efectivas e inmediatas orientadas a la reducción de emisiones (posiblemente restrictivas), pues los agentes que participan en la gobernanza difieren dichas decisiones en base a la falsa expectativa de mejoras tecnológicas, siempre futuras y nunca presentes, que solucionarán el problema.

Gössling et al.(2010) analizan como las predicciones de OACI e IATA confían de igual manera en la habilidad de la industria para incorporar nuevas tecnologías que posibiliten incrementos de eficiencia capaces de compensar el crecimiento de tráfico, incluso considerando posible el objetivo de reducir las emisiones en un 50% (con respecto a los niveles de 2005) para el año 2050, y como esa confianza contrasta con el análisis de comunidad científica y predicciones de otros organismos como el AGDG (Aviation Global Deal Group). Así mismo critican el discurso de las aerolíneas argumentando la adopción de medidas “Green” cuando en realidad se trata de estrategias de reducción de costes (ahorro de combustible en la operación, planificación de rutas, renovación de flotas) que se traducen en una mayor capacidad para soportar aumentos de la demanda. En el mismo trabajo comparan el impacto en el cambio climático de los diferentes elementos de la cadena de valor en el turismo (alojamiento, transporte en vehículo privado, transporte aéreo, otros transportes y actividades lúdicas) mostrando cómo el transporte aéreo es responsable de la mayor

contribución a las emisiones de dióxido de carbono y cómo presenta las mayores dificultades para implementar acciones de corrección efectivas. Cuestionan también el cómo la identificación del turismo como un elemento necesario para el desarrollo de países en vías de desarrollo contribuye a la aceptación de una visión en exceso positiva del futuro del tándem turismo-transporte aéreo sin reparar en sus posibles efectos perniciosos y externalidades; e identifican los vectores que impulsan el crecimiento del consumo energético en el turismo: el aumento de la demanda turística en general, el incremento de los viajes de largo alcance y el aumento de frecuencia y disminución de duración de los viajes. Finalmente señalan la necesidad de investigar soluciones integradas orientadas a cambiar el comportamiento de los turistas, continuar con las mejoras tecnológicas e introducir acciones gubernamentales (internalización de costes, regulación, mercado de emisiones ...).

Scott, Gossling, Arnelung, Becken, Ceron, Dubois, Murray y Simpson elaboraron para el foro de Davos un documento de análisis de los retos del turismo ante el cambio climático (UNEP-UNWTO-WMO, 2007) en el que analizan exhaustivamente la situación del momento y las perspectivas de futuro, centrándose en los impactos que el cambio climático tendrá en la competitividad y sostenibilidad de los destinos: cambios en la duración de las temporadas, incrementos de costes operativos, desplazamientos geográficos de la demanda, aumento de la inseguridad, aumento del coste de los seguros, pérdida o deterioro de elementos del patrimonio natural, incrementos del coste del transporte como consecuencia de normativas más exigentes, impactos en la demanda por alteraciones geo-políticas, pudiendo ser estos impactos especialmente importantes en destinos más vulnerables, que suelen coincidir con países en vías de desarrollo, donde el desarrollo del turismo resulta más crítico para el despegue económico. Sin embargo, reconocen la capacidad adaptativa del turismo a escala global, basada en la capacidad de adaptación individual del turista, que elige su destino con total libertad en la medida en que disponga de los tres recursos clave: tiempo, dinero y conocimiento; y siguiendo tres criterios principales: seguridad, clima y entorno. En ese contexto, anticipan que el cambio climático provocará un desplazamiento de la demanda hacia mayores latitudes y altitudes; pero no una contracción de esta, salvo que el cambio climático afecte al crecimiento económico global en su conjunto.

También reconocen la responsabilidad del sector turismo en el aumento de emisiones y proponen acciones de mitigación que reduzcan el impacto a la vez que ayuden a adaptarse a la nueva situación: reducción del consumo energético, mejoras de eficiencia energética (en el caso del transporte aéreo se reconoce la dificultad de su introducción a un ritmo adecuado debido a la larga vida operativa de los aviones), utilización de energías renovables (más susceptibles de ser utilizadas en elementos terrestres, salvo los biocombustibles) y almacenamiento de dióxido de carbono (no aplicable al transporte aéreo salvo en el esquema de compensación de emisiones). De forma más concreta, en lo que se refiere a reducción de emisiones por razón del transporte en el turismo, los autores recomiendan fomentar el cambio de comportamiento del turista: buscando destinos más cercanos, incrementando la utilización de autobús y tren frente a coche particular y avión; e incrementando la duración de las estancias y reduciendo por tanto la frecuencia de los desplazamientos vacacionales.

Gössling & Cohen (2014) identifican en la Unión Europea 10 “tabúes”, barreras para el desarrollo e implementación de políticas de reducción de emisiones en el transporte, y que necesitan ser derribadas a pesar de que ello pueda alterar el orden establecido y del riesgo que ello pueda suponer para los responsables políticos. La mayoría de esos tabúes aplican directamente al transporte aéreo. El primero y principal es el discurso promovido por la industria de que se está progresando en la descarbonización a través de avances tecnológicos. Otros son: la desigualdad en la movilidad de los usuarios, la desigualdad social de los sistemas de compensación de emisiones, la acción de grupos de influencia sectoriales y el arraigo de las funciones sociales y psicológicas de la movilidad.

Scott & Gössling (2015) profundizan en el análisis de posibles escenarios de desarrollo del turismo durante los siguientes 40 años a partir del análisis de su evolución durante los últimos 40 años y la realización de estimaciones bajo diferentes hipótesis. También proponen la lectura cruzada de lecciones aprendidas de la evolución de otros sectores que han sufrido y están sufriendo cambios severos. En particular, establecen correlaciones entre el escenario energético global y su impacto

en el turismo; pero de nuevo consideran el control de emisiones para limitar el cambio climático como el principal vector que definirá la conformación de los escenarios del futuro del turismo. Es más, los autores declaran que no han sido capaces de identificar un escenario que muestre consistencia entre los requisitos de reducción de emisiones de la comunidad internacional y las previsiones de crecimiento del transporte aéreo.

Dentro de esa visión realista y en absoluto optimista, los autores principales depositan un limitado nivel de confianza en la instauración de mecanismos de mercado de emisiones y de sistemas de compensación. Benito & Benito (2012) también identifican al sistema de mercado de emisiones como el de mayor potencial de reducción de estas según OACI, pero su instauración no está exenta de problemas de equidad y de interferencia con las decisiones soberanas de los países (lo que en ocasiones lleva a que los esquemas sean de adhesión voluntaria), entendiéndose que el sistema sólo puede ser verdaderamente eficiente si su aplicación es a nivel global, o al menos lo más generalizado posible. Un caso excepcional es el de la adhesión del transporte aéreo al Emissions Trading System de la U.E., efectiva desde 2012, pero cuya aplicación hubo de quedar restringida a compañías de la propia UE para operaciones internas, ante la no aceptación para participar en el sistema de compañías (y gobiernos) de fuera de la UE que operan hacia o desde ella.

Sin embargo, más allá de las dificultades de realización que conllevan estos sistemas, Gutiérrez (2013) realiza una feroz crítica de los mismos en base a identificarlos como generadores de desigualdades, pues el sistema de derechos coloca en una posición privilegiada a aquellos agentes más potentes económicamente que pueden afrontar inversiones en tecnología o simplemente comprar derechos; mientras que el sistema de compensación es susceptible de enajenar recursos agrarios (típicamente utilizados para cultivos alimentarios) y desviar recursos públicos en detrimento de las economías rurales campesinas tradicionales y en favor de producciones industriales (efectos perniciosos similares a los del desarrollo de los biocombustibles). En su artículo acusa a las industrias del transporte aéreo y del turismo de no considerar ninguna estrategia de reducción de emisiones que se apoye en una reducción o estabilización necesaria de la actividad, y de plantear el

crecimiento sostenido (que no sostenible) como una premisa que responde a una necesidad social.

El cambio de escenario generado por el advenimiento del COVID-19 en 2020 es valorado por algunos autores como una oportunidad para reconfigurar el sector del transporte aéreo adoptando un modelo más sostenible y erradicando los vicios estructurales existentes en el mismo.

Sin embargo, en primera instancia, las aerolíneas, más preocupadas por su supervivencia económica, hubieron de poner sus objetivos medioambientales en segundo plano e hicieron presión sobre los gobiernos para relajar las exigencias medioambientales (Amankwah-Amoah, 2020b). Se ha mencionado anteriormente como en junio de 2020 el Consejo de la OACI decidió no considerar en la referencia base de emisiones, el año 2020, para evitar establecer un nivel de referencia demasiado bajo que penalizara el crecimiento hacia la recuperación.

Gössling (2020) aboga por aprovechar la oportunidad de la reconstrucción del sector tras la crisis para cuestionar los paradigmas en los que se ha basado el desarrollo anterior: gran y sostenido crecimiento, ayudas y subvenciones, exiguos márgenes de las aerolíneas e impactos medioambientales no resueltos.

Higham et al. (2021) señalan la oportunidad única que la crisis del COVID-19 ha dado al sector para realizar una reforma estructural y concretan en la necesidad de cambiar la estrategia de marketing de las aerolíneas evitando mensajes de urgencia en la aceptación de las ofertas que llevan a un consumo descontrolado y frenético. Su propuesta va más allá, invitando a la intervención política para regular el marketing de las aerolíneas de forma similar a cómo se hace con otras formas de consumo con efectos externos como son el tabaco y el alcohol. Insisten, como Gössling, en la necesidad de acometer cambios estructurales para corregir un modelo con bajos márgenes, exenciones fiscales y subvenciones, e invitan a los gobiernos a condicionar los paquetes de ayuda para la recuperación a la asunción por parte de las aerolíneas de compromisos medioambientales entre los cuales debe incluirse la regulación de

las campañas de marketing con objeto de conseguir un equilibrio sostenible entre demanda y oferta.

Abate et al. (2020) insisten en la oportunidad de condicionar las ayudas gubernamentales a las aerolíneas a la adopción de modelos operacionales y tecnologías orientados a la consecución de objetivos de carácter social y medioambiental, a la vez que advierten de los riesgos de que estas ayudas distorsionen la competencia y favorezcan en exceso a los “campeones nacionales” cuyo potencial desplome pueda no ser tolerable para los gobiernos. Por otra parte, señalan que una mayor participación de los gobiernos en las aerolíneas puede favorecer el apalancamiento de objetivos sociales y medioambientales.

Habiendo revisado el estado de la investigación sobre la sostenibilidad del transporte aéreo tanto en los escenarios pre-pandémico y durante la crisis del COVID-19 y su incipiente recuperación, cabe realizar las siguientes reflexiones:

- El foco de la sostenibilidad del transporte aéreo lo ponen los autores en la evaluación y control de emisiones, fundamentalmente de gases de efecto invernadero, pues se reconoce que la amenaza más inmediata a la sostenibilidad de ambas actividades viene determinada por el cambio climático consecuencia de estas.
- Se reconoce la existencia de perspectivas diferentes sobre la gravedad o inminencia del problema: por un lado, la industria y algunos organismos internacionales minimizan el problema en pro de mantener las perspectivas de crecimiento de los propios sectores y del desarrollo inducido por ellos, mientras que numerosos autores abogan por la necesidad de un cambio en los patrones de consumo del sector turismo y de la estructura del mercado de transporte aéreo que implica una reducción en la demanda de este.
- La mayoría de los análisis se realizan de forma muy autocontenida, delimitándose al ámbito de los sectores del propio transporte aéreo y del turismo.

- La mayoría de los estudios, con la excepción de los dedicados a investigar las motivaciones de la demanda, utilizan métodos cuantitativos, revisiones bibliográficas o análisis de escenarios para describir el alcance actual del problema de la sostenibilidad del transporte aéreo, elaborar proyecciones futuras y prescribir soluciones para mitigar el problema. Sin embargo, se aprecia una cierta escasez en la utilización de métodos cualitativos.
- Aun partiendo de evidencias sólidas, la complejidad del problema de las emisiones y su evolución futura, lo hace susceptible de incorporar en el análisis una dimensión ideológica o de creencias que es difícil desacoplar de lo puramente científico. Si este fenómeno puede ocurrir en cierta medida con los estudiosos académicos, cuánto mayor podrá ser en la creación de opinión pública o incluso en los responsables de toma de decisiones, más aún cuando es conocido que la comunidad epistémica del turismo tiene una capacidad de influencia muy limitada (Hall, 2010).

2.2. CUESTIÓN PRINCIPAL DE LA INVESTIGACIÓN.

La cuestión teórica fundamental que se pretende abordar en la presente investigación es la sostenibilidad del transporte aéreo con el modelo tradicional de crecimiento de tráfico, y también considerando el escenario alternativo y evolutivo derivado de la crisis del COVID-19. Partiendo de la hipótesis teórica de carácter macro social / estructural (Sautu, Boniolo, Dalle y Elbert, 2005) de que viajar lejos es una necesidad humana (como ha quedado confirmado en el análisis del marco teórico), cabe preguntarse si la satisfacción de esa necesidad es sostenible en los términos en que actualmente se desarrolla y con las proyecciones de cómo se espera que lo haga en el futuro.

Tras el análisis del marco teórico desarrollado en torno al problema general, la propuesta de la presente investigación es profundizar en el análisis del aspecto energético de la sostenibilidad del transporte aéreo (que afecta fundamentalmente a las dimensiones económica y medioambiental) como cuestión sustantiva (Sautu,

Boniolo, Dalle y Elbert, 2005). Entender las expectativas sobre la evolución del paradigma energético del transporte aéreo resulta fundamental para entender la sostenibilidad de los posibles escenarios futuros, tanto por disponibilidad de fuentes energéticas como por la generación de emisiones que estas producen.

El análisis del marco teórico también ha permitido identificar otras oportunidades para aportar nuevo conocimiento a la cuestión. En particular:

- Analizar la suficiencia energética de escenarios futuros asumiendo la supervivencia del actual paradigma energético basados en la utilización de combustibles fósiles.
- Abordar el análisis de la sostenibilidad del transporte aéreo desde una perspectiva multisectorial, con especial atención a la evolución del sector energético y el del turismo.

La revisión de los autores críticos con el sector transporte aéreo aporta una posición de referencia desde la que se niega la capacidad del sector de reducir, o al menos controlar, sus emisiones en el medio y largo plazo mediante las muy publicitadas y anunciadas mejoras tecnológicas del sistema (Peeters, Higham, Kutzner, Cohen, & Gössling, 2016; Gössling et al., 2010; Gössling & Cohen, 2014; Scott & Gössling, 2015). Procede pues revisar cuáles son las tecnologías que actualmente se investigan y discuten en el sistema de transporte aéreo, enmarcarlas en el contexto tecnológico-económico-social actual y evaluar su alcance potencial y sus tiempos de maduración, para, muy posiblemente, confirmar la visión de dichos autores y concluir que el sector necesitará externalizar la compensación de sus emisiones apoyándose en otros sectores. Esta reflexión permite formular una primera hipótesis de investigación:

El transporte aéreo, dada la dificultad intrínseca para cambiar el paradigma energético de las aeronaves, necesitará, en el medio y largo plazo, apoyarse sustancialmente en los sistemas de comercio y compensación de

emisiones para poder contener el aumento de las mismas derivado del crecimiento futuro del tráfico.

Más allá del soporte proporcionado a esta hipótesis por la revisión del marco teórico, su formulación también viene motivada por la comprensión y visión holística de la cuestión adquiridas como consecuencia del desarrollo de una carrera de más de 25 años en ingeniería aeronáutica, y en particular en materia de propulsión, la involucración en programas de investigación y desarrollo de sistemas propulsivos, complementados con la labor docente en Economía y Administración del Transporte Aéreo.

2.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.

En un contexto de crecimiento sostenido de la demanda de transporte aéreo, de aparente escasez energética y de calentamiento global derivado de la combustión de hidrocarburos y otros elementos fósiles, existe una gran incertidumbre en cómo se desarrollarán el mercado del transporte aéreo y el turismo asociado al mismo, y de si podrán hacerlo de una forma sostenible.

La investigación del marco teórico ha permitido reconocer que esta cuestión ha sido y es objeto de un estudio exhaustivo por parte de numerosos autores, que han centrado sus trabajos en el análisis de las emisiones como responsables del cambio climático, reconociendo en este la amenaza más inminente para la sostenibilidad de los sectores del transporte aéreo y el turismo. Además, la gran complejidad del fenómeno del cambio climático hace que los análisis no carezcan de una cierta componente interpretativa que en ocasiones puede llegar a tener connotaciones ideológicas.

Por ello el estudio se centra en el análisis del paradigma energético de las aeronaves, al haberse detectado que se trata de una dimensión del problema menos explorada. Se valora la amenaza para turismo y aviación de la insuficiencia energética frente a la del cambio climático, tratando de llegar a un entendimiento de la urgencia relativa de la una respecto a la otra. Ciertamente, ello precisa que el análisis se realice

de forma integrada con otros sectores y considerando tendencias globales. Es de particular importancia integrar la evolución y previsiones del sector energético con los del transporte aéreo y el turismo.

En primera instancia se evalúa el escenario pre-pandémico, analizando la evolución histórica del transporte aéreo, prestando especial atención al desarrollo de la demanda, del consumo energético y de las mejoras de eficiencia. Se verifica la creciente importancia del consumo energético del transporte aéreo en términos tanto absolutos como relativos. Se relaciona el patrón de consumo energético con las proyecciones de demanda y de mejoras tecnológicas, incluyendo la utilización de biocombustibles. Además, se discute la evolución de las reservas energéticas, y su sostenibilidad con relación a las proyecciones de consumo y del desarrollo de energías renovables. Se revisan las iniciativas legislativas para el desarrollo de estas.

En razón a lo anterior, se valorará la sostenibilidad del transporte aéreo con el esquema de negocio actual, comparando la criticidad de las dimensiones energética y climática. Se discutirán los posibles impactos en la demanda, en especial en su sector más elástico al precio, que es el turista.

Por otro lado, se evaluarán diferentes escenarios que serán altamente dependientes de la evolución del sector de la energía en general, y de su mayor o menor capacidad de evolucionar hacia energías renovables sustitutivas de los hidrocarburos en mayor proporción que el crecimiento de la propia demanda energética. En función de estos escenarios, se analizarán las expectativas de evolución del sector aéreo y su consecuente impacto en el turismo. En particular, se tratará de analizar si existe un escenario en el que el progresivo desarrollo de las energías renovables pueda alcanzar un nivel suficiente de sustitución de producción energética por medio de hidrocarburos u otros combustibles fósiles, de tal manera que se consiga un sistema global sostenible energéticamente. En este escenario, se verificará si el desplazamiento del uso de hidrocarburos por energías renovables en otros sectores de la industria y el transporte será suficiente para, al menos en el medio plazo, garantizar su disponibilidad para aquellas aplicaciones en las que su alta densidad energética fuera un requisito indispensable, como es el caso del transporte

aéreo. Bajo esta hipótesis, sería plausible que el actual patrón de crecimiento del turismo se mantuviera, y que también lo hiciera el desarrollismo asociado al turismo. En este escenario cuya factibilidad se pretende verificar, aviación y turismo quedarían señalados como sectores comparativamente más perniciosos que aquellos en los que el consumo energético y las emisiones se hubieren reducido por razón del empleo de energías renovables en mayor proporción.

Más allá del efecto del COVID-19, no se pretende en el ejercicio analizar los efectos de otros vectores principales de cambio social, económico y medio ambiental, como pudieran ser los cambios geopolíticos, conflictos armados, terrorismo, catástrofes naturales, evolución demográfica (más allá de su impacto ya considerado en el análisis de la demanda y las previsiones de tráfico).

Un objetivo secundario de la investigación es verificar la idoneidad de la utilización de métodos cualitativos en una cuestión que, según se ha contrastado durante la investigación del marco teórico, es más susceptible a ser estudiada mediante métodos cuantitativos, basados en el análisis de variables físicas (concentraciones de contaminantes, flujos, temperaturas, radiación solar, consumos, energías, potencias, distancias ...), económico-sociales (tráfico aéreo, volumen de negocio, rentas ...) y geo-demográficas (concentraciones y flujos de población ...).

La propuesta del presente trabajo es la utilización de una metodología mixta, en la que los resultados obtenidos a partir de métodos cualitativos (entrevistas en diversas modalidades y observación participante) podrán ser triangulados con los resultados del análisis de datos estadísticos y los análisis de la cuestión ya realizados y disponibles en la bibliografía. También se pretende analizar comparativamente los resultados obtenidos entre los diferentes métodos cualitativos utilizados. Además, sobre ambas metodologías (cuantitativas y cualitativas) se superpone la utilización de análisis de escenarios con objeto de comparar los resultados del análisis de la cuestión principal entre el escenario pre-pandémico y el del COVID-19 (crisis y recuperación esperada).

La consecución de los anteriores objetivos permitirá llegar a un entendimiento mejorado de la cuestión sustantiva del aspecto energético de la sostenibilidad del transporte aéreo, y, en última instancia, verificar la tesis de la investigación: ***la aviación precisa y precisará en el medio y largo plazo apoyarse en los sistemas de compensación y comercio de emisiones para contener el crecimiento de las mismas, que resultará de los incrementos de tráfico esperados.***

Se plantean para ello las siguientes cuestiones de investigación:

Q1: En un escenario de crecimiento sostenido de turismo y transporte aéreo, y considerando las dificultades de la aviación para cambiar radicalmente el paradigma energético de las aeronaves ¿cabe esperar en el medio plazo una crisis en ambos sectores derivada de una escasez física-real de los combustibles fósiles?

Q2: ¿Ha supuesto la crisis del COVID-19 un cambio sustancial en las expectativas de reducción de emisiones del transporte aéreo en el medio plazo?

Q3: Las nuevas propuestas tecnológicas que se debaten en el sector del transporte aéreo para mejora de eficiencia y reducción de emisiones, ¿son susceptibles de ser desarrolladas e implementadas en el medio plazo de forma que se consiga una reducción significativa de las emisiones en el transporte aéreo?

A lo largo del capítulo de resultados se responde a las tres preguntas. La primera, Q1, queda fundamentalmente resuelta en el capítulo 4.1., donde se analiza por métodos cualitativos y pseudo cuantitativos el escenario pre-COVID de crecimiento indisputablemente sostenido de turismo y transporte aéreo. Nótese que este no es un análisis coyuntural, respondiendo a una situación concreta, pues los analistas del sector predicen que las condiciones pre-COVID se volverán a reproducir y devenir de nuevo estructurales en un plazo incierto pero acotado (máximo cinco años) de tiempo.

La segunda pregunta, Q2, es objeto de estudio en el capítulo 4.2., donde se contrasta el escenario pre-pandémico, expansivo sin reservas, con el resultante de la

crisis del coronavirus, con un impacto dramático en los sectores del turismo y la aviación. El análisis atiende a dimensiones tecnológicas, económicas, políticas y sociales y permite concluir en una respuesta contundente a la pregunta. La respuesta es finalmente confirmada con una nueva aportación metodológica en el capítulo 4.3., contrastando las entrevistas a expertos del sector realizadas antes y después de la pandemia (véanse el capítulo 3 y el artículo académico base del capítulo 4.3 para detalles sobre la metodología).

La tercera pregunta, Q3, es explorada a lo largo de los tres capítulos de resultados, pero cobra especial relevancia en el capítulo 4.3., donde a través métodos cuantitativos (realización y análisis de una encuesta a profesionales de los sectores de la energía y la aeronáutica) y cualitativos (contraste de entrevistas previas y contemporáneas a la pandemia) se obtiene la evaluación más actualizada sobre el potencial de las diferentes propuestas tecnológicas en el marco socio-político-económico actual.

CAPÍTULO 3

METODOLOGÍA

CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA.

La metodología seleccionada para la investigación ha venido determinada en gran parte por el análisis del marco teórico, que ha permitido detectar la oportunidad de realizar una nueva aportación a la cuestión de la sostenibilidad combinada de transporte aéreo y turismo mediante la utilización de métodos cualitativos, contrastables con los cuantitativos. Se puede pues calificar la metodología como mixta. El análisis de escenarios para comparar la situación pre-pandémica con la derivada del COVID-19 añade una dimensión adicional a la metodología.

A continuación, se presenta la estrategia metodológica principal, pudiendo encontrarse más detalles sobre su aplicación en los artículos recogidos en el capítulo de resultados.

3.1. METODOLOGÍA PSEUDO-CUANTITATIVA: REVISIÓN DE AUTORES Y REVISIÓN DE DATOS ESTADÍSTICOS Y PREVISIONES SECTORIALES.

En esta investigación se ha realizado una búsqueda bibliográfica de autores que ya han profundizado en la materia o en alguno de sus aspectos. Se ha revisado la información más actual disponible en informes y previsiones de “stake-holders” relevantes, tanto institucionales como empresas privadas. A partir del análisis de todo lo anterior se ha elaborado un entendimiento pseudo-cuantitativo de la sostenibilidad del tándem transporte aéreo-turismo basado en el análisis de estos datos. Más concretamente, las fuentes de información analizadas son:

Artículos académicos y libros de autores expertos en la materia.

Estos artículos y libros académicos se han utilizado fundamentalmente para revisar el estado de la cuestión y derivar el marco teórico, pero también se han considerado muchos de sus análisis como elementos cuantitativos ya elaborados que

son referidos en el estudio. También se han revisado los análisis de escenarios propuestos por los autores para contrastarlos con los propuestos en la investigación.

La recolección de artículos y libros se ha realizado a partir de la identificación en primera instancia de los autores más relevantes en la materia. Mediante búsquedas en bases de datos de artículos de revistas académicas (ScienceDirect, Scopus, Web of Science, Abilnform) utilizando como palabras clave combinaciones de “aviation” y “air transport” con “sustainability”, “climate change”, “emissions”, “energy” se identificaron rápidamente los autores más relevantes por sus estudios en la cuestión principal de la investigación. Estos autores son Stefan Gössling, Scott Cohen, James Higham, Michael Hall, Paul Peeters, Daniel Scott, Diana Kutzner. A partir de la recuperación de las primeras referencias de dichos autores se inició un proceso de búsqueda de referencias cruzadas, y, mediante la inscripción en el portal “ResearchGate” (www.researchgate.net) se articuló un sistema de alertas para recibir información sobre las nuevas publicaciones de estos y otros autores.

El registro y control de referencias se ha realizado utilizando la aplicación Mendeley, con la que también se realizaron las citas en el documento y en los artículos que la componen y sus correspondientes bibliografías.

Estadísticas y estudios realizados por agentes institucionales y privados de los sectores de la energía, el transporte aéreo y el turismo.

Las fuentes estadísticas se han utilizado fundamentalmente para revisar series históricas y proyecciones de futuro de magnitudes relevantes a la cuestión. Las principales fuentes son:

- Estadísticas y estudios de instituciones vinculadas al transporte aéreo.

Se ha revisado documentación de IATA (International Air Transport Association), ICAO (International Civil Aviation Organisation), Boeing, Airbus, ATAG (Air Transport Action Group), JADC (Japan Aircraft Development Corporation), Eurocontrol, ATAG (Air Transport Action Group), NTSB (National Transportation

Safety Board), ACI (Airports Council International), Clean Sky 2 Joint Undertaking, EASA (European Aviation Safety Agency)

- Estadísticas y estudios de instituciones vinculadas al turismo.

Se ha revisado documentación de la UNWTO (United Nations World Trade Organisation).

- Estadísticas y estudios de instituciones vinculadas al sector energético.

Se ha revisado documentación de la OPEC (Organization of Petrol Exporting Countries) y la International Energy Agency.

- Estadísticas y estudios de instituciones y corporaciones sobre cuestiones generales de sostenibilidad y particulares del transporte aéreo

Se ha revisado documentación elaborada por KPMG, McKensey, Netherlands Aerospace Centre (NLR), German Aerospace Center (DLR), National Aeronautics and Space Administration (NASA) y de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (United Nation Framework Convention on Climate Change UNFCCC).

Legislación y normativa.

Se ha revisado normativa de España, la Unión Europea, Gobierno de Estados Unidos y de la OACI. Dicha normativa ha sido obtenida a partir de las páginas webs oficiales de los organismos pertinentes (Boletín Oficial del Estado, Federal Aviation Administration, Gobierno de Estados Unidos, Unión Europea y OACI).

Noticias y notas de prensa.

La mayor parte de las noticias referidas en la presente investigación provienen de revistas o páginas web de noticias especializadas en aeronáutica (Aviation Week,

Flynews, International Flight Network, Defense and Security Monitor) a las que se está suscrito y de las que se reciben resúmenes diarios o semanales de noticias relevantes; así como de prensa especializada en negocios (Forbes) de la cuales también se recibe un resumen diario a través de una suscripción profesional. Las notas de prensa proceden de las páginas web de las instituciones y corporaciones más relevantes del sector aeronáutico: Boeing, Rolls-Royce, Airbus, OACI, Eurocontrol, IATA ...

3.2. METODOLOGÍA CUALITATIVA.

Reconociendo la complejidad de la cuestión y la necesidad de enmarcarla en un contexto técnico social tremendamente evolutivo, se considera de vital importancia el poder realizar una valoración de las percepciones, sentimientos y motivaciones de los profesionales y ejecutivos (sean del sector privado o del institucional) de los sectores de la energía, el transporte aéreo y el turismo respecto a su sostenibilidad energética y medioambiental. Los posibles escenarios futuros que se puedan considerar resultarán tanto más plausibles cuanto mayor sea la adhesión o creencia en los mismos de los profesionales que toman decisiones y trabajan por su consecución. Con este fin se han utilizado en la investigación diferentes métodos cualitativos, siendo uno de los objetivos secundarios de la misma la realización de una comparación de los resultados obtenidos por diferentes métodos aplicados.

Observación participante.

La cuestión por investigar no resulta particularmente adecuada para el desarrollo de una observación participante, pues resulta difícil estudiar comportamientos o actitudes relacionados con la misma. ¿Cómo determinar y analizar el comportamiento de alguien (expertos de los diferentes sectores) respecto a sus expectativas sobre el futuro de aviación y turismo en lo referente a la sostenibilidad energética mediante simple observación? Se necesitaría disponer de acceso a múltiples personas desde sus diferentes entornos profesionales. Sería muy complicado realizar la observación sin un efecto de intromisión y requeriría mucho tiempo.

Sin embargo, se identificó la oportunidad de utilizar esta metodología durante la asistencia a congresos y reuniones de trabajo sobre materias relacionadas con la cuestión principal. Entre los días 24 y 28 de abril de 2017 se celebró en Madrid el IV Congreso de Ingeniería Aeroespacial, con una sesión de ponencias sobre la Evolución del Transporte Aéreo. En calidad de ingeniero aeronáutico, fue posible asistir a dichas ponencias y analizar los discursos de los ponentes y los diferentes debates desde la perspectiva de la cuestión de la investigación. Con objeto de no influir en modo alguno en las ponencias y debates derivados de las mismas, se prescindió de realizar preguntas a los ponentes y de intervenir directamente en los debates. Teniendo como objetivo el atestiguar si la sostenibilidad de la aviación es un concepto que preocupe a los profesionales del sector, sería contraproducente introducir la cuestión en el debate formulando preguntas en relación a la misma. Se realizaron reseñas de la observación consignando resúmenes de las ponencias y reflexiones interpretativas (“observational notes” y “theoretical notes” de la clasificación de Schatzman, L. y Strauss (1973); “substantive account” y “analytical account” de la clasificación de Burgess (1981)).

También durante los días 7 y 8 de junio se participó en Múnich en la revisión anual de una de las secciones del programa europeo Clean Sky 2, cuyo objetivo principal es promover el desarrollo competitivo y sostenible de la industria aeronáutica europea, lo que permitió tomar la medida de la preocupación del sector respecto a su sostenibilidad a nivel comunitario. En esta ocasión, resultó imposible mantenerse como mero espectador de las ponencias al tener que participar como conferenciante, si bien la disertación no versó sobre sostenibilidad, sino sobre progresos tecnológicos en el desarrollo de turbinas de aviación: mejoras de materiales, métodos de fabricación, reducción de ruido, reducción de peso ...

La asistencia a congresos y participación en sesiones de trabajo sobre temas relacionados con la cuestión de la investigación proporcionan una excelente oportunidad para observar actitudes y valorar posiciones de diferentes agentes de los diversos sectores en un reducido espacio de tiempo y a través de una información tremendamente sintetizada y preparada para ser comunicada y compartida. Las

reseñas elaboradas durante estos ejercicios no fueron revisadas ni confirmadas por los conferenciantes aludidos, pudiendo asemejarse las mismas a un reportaje periodístico.

Entrevistas en profundidad.

Dado el limitado alcance que se pudo conseguir con la observación participante, se realizaron entrevistas en profundidad a profesionales relevantes de los sectores del transporte aéreo, turismo y energía para recoger su visión informada sobre las perspectivas futuras en lo referente al efecto de las limitaciones energéticas y medioambientales en el transporte aéreo y el turismo. La selección de los informantes ha sido el resultado de una combinación de criterios de facilidad de acceso y la búsqueda de un muestreo teórico representativo (Taylor & Bogdan, 1984) por sectores.

Como se explica en el capítulo de resultados, las entrevistas se realizaron en dos rondas espaciadas temporalmente:

- La primera ronda se realizó antes de la pandemia, en un intervalo temporal entre 2017 (la mayor parte en primavera de ese año) y 2019. Un subconjunto de esas entrevistas, 11 de 16, se utilizaron para la elaboración del artículo que soporta los resultados del capítulo 4.1 (Análisis del escenario pre-COVID – Artículo de investigaciones Turísticas). En esta primera ronda también se persiguió realizar un análisis sobre la idoneidad de diferentes tipos de entrevistas para este tipo de investigación. Los resultados se explican en el capítulo 4.1.
- La segunda ronda se realizó en verano de 2021, durante la pandemia, y se entrevistó por segunda vez a un subconjunto de 8 personas que ya habían sido entrevistadas en la primera ronda. Salvo en una de las entrevistas, se optó por seguir un patrón de entrevistas semi-estructuradas.

El propósito de realizar entrevistas en dos rondas es, como se explica en el artículo del capítulo 4.3. (Análisis en profundidad del escenario COVID – Artículo de ESIC Digital Economy and Innovation Journal), el poder comparar las percepciones de los expertos respecto a la materia de la investigación antes y durante la pandemia, e identificar si se habían producido cambios significativos.

El elenco de entrevistados se distribuye de la siguiente forma (véanse los capítulos 4.1. y 4.3 para mayor detalle):

- Expertos en aeronáutica, especialistas en propulsión y aeronaves con un gran conocimiento de las vías de investigación existentes actualmente en materia de mejora de eficiencia energética. Dichos expertos proceden:
 - Del mundo académico (con experiencia previa en el sector privado).
 - 1 en primera ronda y 1 en segunda ronda.
 - De la empresa privada:
 - Empresas de sistemas aeronáuticos (nivel de director ejecutivo).
 - 1 en segunda ronda.
 - Empresas de motores de aviación (niveles de director/jefe de departamento).
 - 3 en primera ronda y 2 en segunda ronda.
 - Empresas de fabricantes de avión (niveles vicepresidente, director e ingeniero senior).
 - 3 en primera ronda y 2 en segunda ronda.
- Expertos en transporte aéreo del mundo académico y de la industria.

- 2 en primera ronda.
- Expertos en consultoría de transporte y energía (nivel vicepresidente)
 - 1 en primera ronda y 1 en segunda ronda.
- Expertos del sector energético:
 - Gestores de sostenibilidad de empresas eléctricas (nivel ingeniero senior).
 - 2 en primera ronda.
 - Ingenieros responsables de investigación y desarrollo de energías renovables (nivel jefe de departamento).
 - 1 en primera ronda.
 - Ingenieros responsables de desarrollo de negocio de energías renovables (nivel director).
 - 2 en primera ronda y 1 en segunda ronda.
- Expertos en turismo del mundo académico.
 - 2 en primera ronda.

En la primera ronda se llevaron a cabo diferentes tipos de entrevistas:

- Entrevistas no estructuradas: donde se creó con el entrevistado un contexto relajado y de confianza. Una vez planteada la cuestión de la investigación, se formuló la pregunta de arranque de la conversación dependiendo del área de “expertise” del entrevistado:

- Para expertos en energía se comenzó preguntando por la competitividad de las energías renovables y su capacidad de ir progresivamente reemplazando a las de origen fósil.
 - Para expertos en aeronáutica o transporte aéreo se comenzó preguntando por las expectativas sobre cambios de modelo energético en el sistema de transporte aéreo y, fundamentalmente en la propulsión del avión.
 - Para expertos en turismo no se realizó este tipo de entrevista.
- Entrevistas semi-estructuradas.

Las entrevistas semi-estructuradas presentan la ventaja de que permiten organizar la secuencia de la conversación considerando todos los puntos de interés para la investigación.

Al realizar las entrevistas semi-estructuradas se generó también un contexto relajado y se explicó a los entrevistados que las preguntas formuladas sólo tenían carácter de guía y que era posible desviarse del patrón de la entrevista con total libertad, sin poner límites a la colección de opiniones sobre cualquier aspecto relacionado con la investigación o no.

Se propuso a cada entrevistado una batería de preguntas adaptada a su área de conocimiento (energía, transporte aéreo o turismo). Las baterías de preguntas pueden verse en el capítulo de resultados.

Las entrevistas se realizaron en sesiones únicas, de aproximadamente una hora de duración. En alguna ocasión se extendió la conversación a una segunda sesión para profundizar en alguna cuestión.

La batería de preguntas de la entrevista semi-estructurada contiene en su apartado 3 una serie de cuestiones relativas a hábitos personales de sostenibilidad. Se explicó a los entrevistados que no se pretendía incluir este apartado en la reseña de la entrevista, sino elaborar con las respuestas un comentario “agregado” sobre el nivel de compromiso personal con la sostenibilidad de los profesionales de los diferentes sectores. En ocasiones se prescindió de esa parte del cuestionario y se trató de explorar la actitud personal del entrevistado de una forma no tan directa. Se considera relevante el obtener una indicación del grado de preocupación y compromiso personal de los agentes del sector, pues será indicativo de la motivación real en pro de objetivos de sostenibilidad más allá de la propia obligación profesional.

- Entrevistas en grupo.

Aun no siendo la metodología preferida, en alguna ocasión se realizaron entrevistas en grupo con objeto de realizar un mejor aprovechamiento de la limitada disponibilidad de los entrevistados o por razón de “mayor conveniencia social”.

En ocasiones participaron en las entrevistas personas que habían sido entrevistadas individualmente con anterioridad. En estos casos se observó que la posibilidad de reflexionar por segunda vez sobre la materia ayudaba a encontrar nuevos matices o a refrendar con mayor solidez opiniones ya formuladas además de aportar una inercia adicional a los debates.

Los textos de las reseñas de las entrevistas fueron acordados con los entrevistados, por lo que se les reconoce la autoría de estos. El que suscribe por tanto no se responsabiliza de opiniones o datos ofrecidos por los entrevistados y capturados en las reseñas.

Los cuestionarios utilizados en las entrevistas semiestructuradas pueden encontrarse en el Apéndice 1 del capítulo 4.1. para las entrevistas de

la primera ronda y en “Appendix 1” del capítulo 4.3. para las entrevistas de segunda ronda.

3.3. METODOLOGÍA CUANTITATIVA.

Insistiendo en el propósito de entender las motivaciones y creencias de los profesionales y académicos de los sectores del transporte aéreo, la energía y el turismo respecto a la cuestión principal, se derivó a partir de los resultados de las entrevistas en profundidad una encuesta estructurada de preguntas cerradas que fue difundida entre dichos colectivos. Los resultados de la encuesta son objeto de un análisis descriptivo que se utiliza para triangular con los resultados del análisis pseudo-cuantitativo y el puramente cualitativo derivado de la observación participante y las entrevistas en profundidad. Los detalles metodológicos sobre la realización de la encuesta, así como el cuestionario, realizado conforme a la metodología y recomendaciones de la UNWTO (Perez et al., 2008), se encuentran en el capítulo 4.3. de resultados.

A modo de resumen, la encuesta se realizó entre los meses de junio y septiembre de 2021. La investigación desarrollada previamente respecto a las tecnologías y políticas para la reducción de las emisiones en el transporte aéreo permitió la identificación exhaustiva de las mismas y que se consideraran en el cuestionario. Tras la elaboración de un borrador se ofreció la encuesta a tres de los expertos que participaron en las entrevistas en profundidad, lo que permitió una primera iteración de mejora. A continuación, se realizó una prueba piloto ofreciendo la encuesta a los asistentes al curso “Avances y desarrollo del sector aeronáutico y aeroespacial. VII Edición” (Universidad de Verano de Teruel). Un total de 12 asistentes rellenaron la encuesta mientras impartíamos una conferencia sobre el futuro de la propulsión aeronáutica. La prueba piloto se consideró plenamente satisfactoria, los resultados válidos, y se procedió a lanzar la encuesta masivamente a listas de contactos del sector aeronáutico y de la energía a través de correo electrónico y listas de WhatsApp, así como su publicación en el perfil de LinkedIn, invitando a los receptores a reenviar a su vez a sus contactos profesionales la encuesta. Se coleccionaron un total de 150 respuestas, suficiente para realizar un estudio

descriptivo de los resultados. Como se describe en detalle en el capítulo 4.3., finalmente la encuesta fue mayoritariamente respondida por profesionales de los sectores del transporte aéreo, la industria aeronáutica y académicos involucrados en materias relacionadas con ambos sectores. La mayoría de los participantes (68%) tenía un bagaje académico científico-técnico, aunque las actividades actualmente desempeñadas abarcan tanto funciones técnicas como de gestión, ventas u otras.

3.4. ANÁLISIS DE ESCENARIOS.

El brutal impacto del COVID-19 en el sector del transporte aéreo ha supuesto un cambio fundamental en las condiciones en las que el sector se venía desarrollando. De un marco de crecimiento sostenido del tráfico, demanda creciente de aeronaves, saturación de líneas de producción y una batería de propuestas tecnológicas y legislativas para la mejora de eficiencia y reducción de las emisiones, en el primer y segundo trimestre de 2020, se pasó a un escenario de caída del tráfico, caída de la producción de aeronaves e incierta recuperación del mercado, mientras que, simultáneamente, aparecían nuevas propuestas tecnológicas ligadas a la utilización de hidrógeno y el desarrollo de combustibles sintéticos.

Como si de un ejercicio puramente teórico se tratase, se analizan ambos escenarios en lo referente a la influencia de las diferentes circunstancias de cada uno de ellos en la cuestión principal de la investigación.

Dado el desarrollo temporal de la investigación y la concurrencia simultánea de la crisis del COVID-19, se han utilizado diferentes metodologías para el análisis. La tabla 3.1. resume la aplicación de metodologías utilizadas en la investigación de cada escenario.

Tabla 3.1. Resumen de metodología aplicada en el estudio de los escenarios pre-COVID y COVID.

ESCENARIO	METODOLOGÍA				
	PSEUDO CUANTITATIVA + REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	CUANTITATIVA	CUALITATIVA		
			ENTREVISTAS EN PROFUNDIDAD		OBSERVACIÓN PARTICIPANTE
			SEMI- ESTRUCTURADAS	OTRAS	
Pre-COVID Capítulo 4.1.	X		X	X	X
Comparación. Capítulo 4.2.	X				
COVID Capítulo 4.3.	X	X	X		

CAPÍTULO 4

RESULTADOS

CAPÍTULO 4. RESULTADOS.

4.1. ANÁLISIS DEL ESCENARIO PRE-COVID- ARTÍCULO EN INVESTIGACIONES TURÍSTICAS DE ENERO DE 2020.

Se analiza el escenario existente en los primeros años del desarrollo de la investigación y bajo cuyas condiciones se planteó inicialmente la misma es el previo al COVID-19, donde el problema de la sostenibilidad del transporte aéreo se definía según se describe en la primera parte de la introducción, como una disonancia estructural entre el crecimiento del tráfico aéreo y la capacidad de las propuestas tecnológicas para reducir sus emisiones a un ritmo suficiente.

La investigación había comenzado a partir del desarrollo del Trabajo Fin de Máster del Doctorando titulado “Análisis de la Sostenibilidad Energética del Transporte Aéreo y su Impacto en el Turismo” (Jiménez-Crisóstomo, 2017), como cierre de los estudios del Máster en Turismo Sostenible y Tecnologías de la Información de la Universitat Oberta de Catalunya (UOC), y se decidió continuar con dicha investigación con objeto de extenderla y proyectarla en una Tesis Doctoral. Como resultado de ese esfuerzo se publicó en enero de 2020, justo antes del desarrollo del impacto del COVID-19, un artículo con el mismo título en la revista “Investigaciones Turísticas” de la Universidad de Alicante (Jiménez-Crisóstomo, 2020). Dicho artículo constituye el núcleo fundamental del presente capítulo y se adjunta a continuación. Ofrece una evaluación lo más actualizada posible del escenario previo al COVID tras la revisión del marco teórico, y la definición de la cuestión teórica fundamental sobre la sostenibilidad del transporte aéreo, focalizada en un primer momento en analizar la “suficiencia energética” del mismo. Posteriormente, y como resultado del progreso en la investigación, se ha matizado ese foco para, como se indica en el capítulo 2.2., considerar como cuestión sustantiva el más amplio “análisis del aspecto energético” puesto que la cuestión de la suficiencia energética queda resuelta en este primer capítulo de resultados (véase el artículo a continuación): no resultan plausibles escenarios en los que la aviación no disponga de combustibles fósiles, pero sí que

cabe cuestionarse cómo evolucionará su paradigma energético, fundamentalmente vectorizado por consideraciones medioambientales

Como se indica en el capítulo de metodología, para el análisis del escenario pre-COVID se utilizaron metodologías pseudo-cuantitativa y cualitativa, incluyendo observación participante mediante participación en congresos y reuniones de trabajo sectoriales, y varios tipos de entrevistas en profundidad (no estructuradas vs semi estructuradas, individuales vs grupales, presenciales vs por e-mail). Mediante contraste de los resultados obtenidos mediante el uso de las diferentes metodologías se llega a una primera serie de conclusiones que se exponen en el artículo adjunto.

Adicionalmente a las entrevistas referidas en el artículo, se realizó una segunda batería de entrevistas en profundidad que, si bien no pudieron considerarse en el artículo, se han utilizado para realizar el contraste de perspectivas pre-COVID y COVID de expertos del sector discutido en el capítulo 4.3. Dichas entrevistas se reseñan en el ANEXO 1.

A continuación, se adjunta el mencionado artículo en un formato ligeramente diferente al de su publicación para facilitar su inclusión en la Tesis. Inevitablemente (y este será el caso para todos los artículos que recogen los resultados de esta tesis) la presentación del marco teórico, objetivos de la investigación y metodología de la misma se repiten parcialmente en los correspondientes capítulos de los artículos.

Como complemento al artículo y con objeto de responder a la primera cuestión de la investigación, Q1, (*En un escenario de crecimiento sostenido de turismo y transporte aéreo, y considerando las dificultades de la aviación para cambiar radicalmente el paradigma energético de las aeronaves ¿cabe esperar en el medio plazo una crisis en ambos sectores derivada de una escasez física-real de los combustibles fósiles?*) con claridad, se rescata un resumen del estudio sobre la evolución histórica y las proyecciones futuras del consumo energético global y del transporte aéreo que se realizó en el Trabajo Fin de Máster (Jiménez-Crisóstomo, 2017) con el objetivo de enmarcar el problema de la suficiencia energética del transporte aéreo dentro del de la suficiencia energética global. Se analizaron para ello

proyecciones de la International Energy Agency (IEA, 2016) y de la Organización de Países Exportadores de Petróleo (Organization of the Petroleum Exporting Countries – OPEC (OPEC, 2016))

Según la IEA (IEA, 2016) la preocupación global sobre la sostenibilidad medioambiental y en particular los compromisos adquiridos en el acuerdo de París de 2015 hacen que el desarrollo de la capacidad energética futura se proyecte durante las próximas décadas hacia el gas natural y las energías renovables (especialmente eólica y solar), mientras que el porcentaje de energía producida a partir de petróleo o carbón se espera que decrezca. Sin embargo, el papel de los fósiles todavía será fundamental para garantizar el suministro global, y se estima que su producción también crecerá (aunque decaiga en términos relativos) siempre y cuando se acometan las inversiones necesarias para abordar ese incremento de producción. La OPEC (OPEC, 2016) también expresa preocupación por el hecho de que una posible bajada de los precios del petróleo derivada del crecimiento de las energías renovables pueda ralentizar la realización de esas inversiones, introduciendo un riesgo para el suministro futuro. Tanto EIA como OPEC confirman que las energías renovables han alcanzado un nivel de competitividad equiparable a las energías tradicionales basadas en combustión de fósiles, y se estima que su coste relativo continúe decreciendo en los próximos años (a ritmos del 1% anual para la energía eólica terrestre y del 2% anual para la energía eólica off-shore), de forma que continúen incrementando su cuota en el mix energético.

El petróleo es de difícil sustitución en el transporte en carretera, la aviación y la industria petroquímica, por lo que, a pesar de la reducción de demanda esperada por la proliferación de coches eléctricos, su consumo seguirá creciendo hasta 2040. Conseguir los objetivos de París (limitación del calentamiento global a 2°C) va a depender en gran medida de la capacidad de utilizar las energías renovables en estos sectores y no sólo en el de generación eléctrica. El consumo de carbón sin embargo se espera que no crezca, pues China, principal consumidor, está evolucionando hacia otras fuentes con objeto de disminuir la contaminación atmosférica.

Según el World Oil Outlook de la OPEC (OPEC, 2016) el crecimiento de la demanda energética desde 2015 a 2040 será del 40%, alcanzando un nivel de 382 millones de barriles equivalentes por día, con un crecimiento desigual según las regiones. En el escenario base la demanda global de petróleo aumenta desde 93 millones de barriles por día (mb/d) en el 2015 a 109.4 mb/d en 2040. En particular, la OPEC predice que la aviación incrementará su consumo desde 2015 a 2040 en 2,8 mb/d, mientras que el transporte en carretera lo hará en 6,2 mb/d. Este aumento de consumo en aviación será generalizado, pero especialmente destacable en China e India, empujados por la demanda de la creciente clase media. Se producirá también un aumento de consumo de petróleo por el crecimiento de la flota de vehículos particulares, que, según la OPEC, pasará de 1 billón en 2015 a 2,1 billones en 2040, con un aumento especialmente localizado en países en vías de desarrollo. El mayor consumo de petróleo derivado de ese crecimiento no podrá ser compensado por la progresiva sustitución de vehículos ecológicos por tradicionales. Para el año 2040 estima la OPEC una flota de 141 millones de vehículos eléctricos, algo menor que la estimación de la IEA de 150 millones.

La contribución de la aviación al balance anual de consumo de petróleo se presenta creciente tanto en término absolutos como relativos en cualquiera de los escenarios analizados por IEA y OPEC. Según Nederhoff - IEA (2009) el transporte aéreo utilizó en 2006 un 11% del total de la energía utilizada en el transporte. Pero la expectativa es que la energía utilizada en el transporte aéreo se cuadruplicue en 2050, llegando a contabilizar el 19% de la energía consumida globalmente en el transporte.

Analizando las previsiones de OPEC (2016), la demanda de petróleo en aviación en relación con la demanda global en el caso de referencia evolucionará desde un 6.2% (5,8/93) en 2015 a un 7.9% (8,6/109) en 2040. Los mayores crecimientos de demanda de petróleo para aviación se darán en los países en vías de desarrollo, doblándose en China y países de la OPEC y triplicándose en la India.

Por tanto, el consumo de petróleo de la aviación será cada vez mayor y más relevante en términos relativos, pero con una afección limitada al problema de la suficiencia global.

Por tanto, en cualquiera de los escenarios previstos por IEA y OPEC, con diferentes asunciones sobre el grado de éxito de las naciones en la realización de sus compromisos expresados en los Acuerdos de París de 2015, el consumo global de petróleo crecerá en los próximos años, si bien en los escenarios más optimistas se contempla que este pueda alcanzar su pico aproximadamente en 2030 (OPEC, 2016). Ninguno de estos escenarios se plantea como problemático en términos de disponibilidad física de petróleo, pues se estima que existen reservas suficientes para satisfacerlos.

Por el contrario, gran parte del aumento de la demanda energética global será cubierto, además de por el crecimiento de las renovables, por el consumo creciente de gas natural (cuyas reservas físicas son ingentes, del orden de 2,6 trillones de barriles equivalentes de petróleo según la OPEC (2016), por lo que cualquier escenario contemplado en 2016 llevaba a un aumento de las emisiones anuales, y un balance de acumulación de la mismas continuamente creciente. La aviación se significará cada vez más como contribuyente a las emisiones globales.

Este análisis, que se presenta también de forma resumida en el artículo base de este capítulo, triangulado con el análisis por métodos cualitativos que discute en el propio artículo, permiten responder de forma contundente a la primera cuestión de la investigación, Q1 (*En un escenario de crecimiento sostenido de turismo y transporte aéreo, y considerando las dificultades de la aviación para cambiar radicalmente el paradigma energético de las aeronaves ¿cabe esperar en el medio plazo una crisis en ambos sectores derivada de una escasez física-real de los combustibles fósiles?*), cuya respuesta es un rotundo “no”. En las próximas décadas, y a pesar de las dificultades de la aviación para evolucionar hacia un paradigma energético diferente de la combustión de derivados del petróleo, no se anticipa ningún escenario en el que un sector del transporte aéreo creciente sufra de una carestía física de petróleo que pueda llevar al sector aéreo y al del turismo a una situación de crisis. No quiere esto decir que ambos sectores no vayan a estar sujetos a potenciales situaciones de crisis derivadas de incrementos de los precios de petróleo causadas por movimientos especulativos o por desequilibrios entre la oferta y la demanda globales motivadas por

circunstancias geo-políticas adversas. De igual manera, el vector de la sostenibilidad y los diversos compromisos institucionales y corporativos con la reducción de las emisiones tendrán un impacto cierto en la evolución de ambos sectores, como se discute en el resto de la Tesis en lo relativo al aspecto energético del transporte aéreo.

En este capítulo y en el artículo también se comienza a responder a la pregunta Q3 (*Las nuevas propuestas tecnológicas que se debaten en el sector del transporte aéreo para mejora de eficiencia y reducción de emisiones, ¿son susceptibles de ser desarrolladas e implementadas en el medio plazo de forma que se consiga una reducción significativa de las emisiones en el transporte aéreo?*), pues se identifica, tanto a través de los métodos pseudo-cuantitativos como de los cualitativos la dificultad para la introducción de paradigmas energéticos alternativos en la aviación; y se comienza a señalar a los sistemas de comercio y compensación de emisiones como herramienta necesaria para la contención de las mismas en línea con la tesis de esta investigación. La discusión en profundidad sobre la madurez, limitaciones y perspectivas de esas tecnologías se realiza en el capítulo 4.2., incluyendo las nuevas tecnologías que aparecen en el debate sobre el futuro conjunto de los sectores del transporte aéreo y la energía en primavera de 2020: el hidrógeno y los combustibles sintéticos.

Revista Investigaciones Turísticas, nº 20, pp. 31-49

ISSN: 2174-5609


DOI. <https://doi.org/10.14198/INTURI2020.20.02>



Cita bibliográfica: Jiménez Crisóstomo, A. (2020). Análisis de la sostenibilidad energética del transporte aéreo y su impacto en el turismo. *Investigaciones Turísticas* (20), pp. 31-49.
<https://doi.org/10.14198/INTURI2020.20.02>

Análisis de la sostenibilidad energética del transporte aéreo y su impacto en el turismo

Analysis of air transport energy sustainability and its impact on tourism

Abel Jiménez Crisóstomo , Universidad Autónoma de Madrid, España
abel.jimenezc@estudiante.uam.es

RESUMEN

El transporte aéreo es un elemento indispensable en el desarrollo de un turismo globalizado. Las previsiones de crecimiento de ambos sectores son unánimes. En este trabajo se analiza la sostenibilidad del transporte aéreo desde una perspectiva energética y se compara la criticidad de la disponibilidad de petróleo, frente a la amenaza del cambio climático por efecto de las emisiones de gases. Se analizan la evolución y proyecciones de los sectores de la energía, aviación y el turismo, elaborando una visión integral de las cuestiones de sostenibilidad energética y medioambiental. Se emplea una metodología mixta, triangulando el análisis de las proyecciones de entidades de la energía, el transporte aéreo y el turismo con la utilización de métodos cualitativos de observación participante y entrevistas a expertos. El estudio confirma que la crisis medioambiental tendrá un impacto más inmediato y significativo en los sectores del transporte aéreo y el turismo que una potencial crisis de escasez energética. Dado que el paradigma energético de la propulsión de aeronaves no cambiará en el medio plazo, y que la aviación y el turismo continuarán creciendo, la relevancia de ambos como contribuidores al problema del cambio climático irá en aumento. Las mejoras en otros sectores de mayor consumo

Fecha de recepción: 7/04/2019 *Fecha de aceptación:* 17/01/2020

Este trabajo se publica bajo una licencia [Creative Commons Attribution License Reconocimiento 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

energético y generación de emisiones relativizarán la importancia del crecimiento de las emisiones globales del transporte aéreo. Los esquemas de compensación de emisiones serán necesarios para permitir al sector progresar hacia una estabilización de las mismas, advirtiendo de las dificultades y riesgos de su implementación si se convierten en un puro instrumento mercantil.

Palabras clave: turismo; transporte aéreo; sostenibilidad energética; cambio climático.

ABSTRACT

Air transport is a fundamental element for the development of global tourism. Forecasts in both sectors indicate a continued, solid and indisputable growth. This study aims to gain an understanding of air transport sustainability from an energy supply perspective and to compare the criticality for tourism and air transport of a potential oil scarcity crisis with the climate change threat caused by emissions of greenhouse gases. The evolution of energy, air transport and tourism and the future projections of these industries are analyzed in order to obtain an integrated understanding of energy supply and environmental sustainability in all three sectors. A “mixed” methodology has been used where an analysis of statistical data and forecasts for the energy, air transport and tourism sectors is cross-compared with the results of a qualitative methodology exercise based on participant observation and in-depth interviews with experts. Both the data analysis and the information gathered from the experts confirm the higher degree of urgency and the imminent impact of the climate change scenario in the air transport and tourism sectors compared to a potential oil or energy scarcity. Since the aircraft propulsion system energy paradigm is not going to change in the medium-term and since air transport and tourism growth, with a guaranteed oil supply, are not imminently endangered, both sectors will progressively increase their relevance as contributors to climate change. However, improvements in other sectors with a greater relevance in fuel consumption and emission generation will relativize said increase when analyzed in global terms. Emissions offset schemes are identified as a mechanism necessary to achieve the goal of stabilizing or reducing air transport emissions. However, their implementation needs to be carefully studied as there are inherent risks if they are devised as a mere product for the financial market.

Keywords: tourism; air transport; energy sustainability; climate change.

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Marco teórico

Aviación y turismo son fenómenos relativamente jóvenes que han ido creciendo de la mano hasta constituirse en sectores económicos de primer orden, motores de desarrollo. Desde la segunda década del siglo XX comenzaron a desarrollarse conjuntamente en una dinámica en la que los avances de la aviación propiciaban el desarrollo del turismo; y los avances en turismo (disponibilidad de vacaciones, rentas más elevadas, desarrollo de destinos) se traducían en aumentos de la demanda de transporte aéreo (Hernández, 2008). Esta dinámica se aceleró a raíz de la desregulación del transporte aéreo, que comenzó en 1978 como consecuencia del “Deregulation Act” en Estados Unidos (United States 95th Congress, 1978), y que progresivamente se ha extendido al resto del mundo. El modelo de negocio se ha adaptado al entorno de la libre competencia. Los precios se han reducido, apareciendo y extendiéndose el modelo de aerolíneas “low cost”, que pone el transporte aéreo al alcance de gran parte de la población mundial. La ciudadanía siente el viajar como un derecho inalienable ligado al disfrute de su tiempo de ocio y al cultivo de las relaciones sociales. El tráfico aéreo ha mantenido históricamente un crecimiento constante y resiliente. Según datos de Airbus (2018), en los últimos 25 años, solamente la crisis del 11-S en 2001 y la crisis financiera de 2008 supusieron un cierto estancamiento del mismo. Sin embargo, una vez superadas, el crecimiento se aceleró sustancialmente comparado con las tasas de crecimiento previas.

En lo referente a la demanda turística, la JADC (2019) analiza los datos ofrecidos por la UNWTO, en los que se aprecia un crecimiento global de las llegadas de turistas internacionales del 7% anual en 2017, el mayor crecimiento desde la crisis del 2009, fundamentalmente impulsado por la demanda turística hacia países mediterráneos y sustentado por un incremento en el número de turistas asiáticos. Según datos de la misma fuente, la expectativa de crecimiento de las llegadas de turistas internacionales en 2030 es de 1.800 millones. En 2017 el 57% de los viajeros internacionales con pernoctación llegaron a sus destinos por avión. El 55% de ellos viajó por placer y el 27% por relaciones sociales, peregrinaciones o tratamientos médicos.

Fecha de recepción: 7/04/2019 *Fecha de aceptación:* 17/01/2020

Este trabajo se publica bajo una licencia [Creative Commons Attribution License Reconocimiento 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

En este contexto, la cuestión teórica fundamental que se ha abordado en el presente estudio es la sostenibilidad del transporte aéreo y su relación con el turismo (presente y futuro). Partiendo de la hipótesis teórica de carácter macro social / estructural de que viajar lejos es una necesidad humana, cabe preguntarse si la satisfacción de esa necesidad es sostenible con las proyecciones de desarrollo futuro, donde las expectativas expansivas del tráfico aéreo en un contexto de demanda creciente, exceden las expectativas de mejora de eficiencia del sistema. A efectos de este estudio, la sostenibilidad del transporte aéreo es la capacidad del mismo de mantener en el tiempo la función que la sociedad le demanda: viajar a grandes distancias, en tiempos cortos y de forma asequible con unos impactos ambientales y sociales asumibles.

Gössling, Hall, Peeters, y Scott (2010), a partir del análisis de UNEP-UNWTO-VMO (2008), observan las tendencias en el turismo y su consumo energético: demanda creciente, aumento de los viajes de larga distancia y vacaciones más frecuentes. La distancia y sus consecuencias ambientalmente negativas no son un factor importante en las decisiones del viajero, más allá del coste que supone recorrerla (Larsen y Guiver, 2013). Ram, Nawijn, y Peeters (2013) identifican la distancia como un componente valorado por el turista. Young, Higham, y Reis (2014) y Young, Markham, Reis, y Higham (2015) cuestionan si el afán de los viajeros actuales por cubrir grandes distancias no es sino una necesidad inducida por el propio sector, el cual se justifica culpabilizando al usuario en última instancia.

Peeters, Higham, Kutzner, Cohen, y Gössling (2016) analizan en detalle cómo la industria del transporte aéreo ha creado expectativas de reducción de emisiones basadas en iniciativas tecnológicas muy publicitadas que, progresivamente, han ido perdiendo repercusión mediática, al fracasar en los objetivos inicialmente planteados. Los autores las denominan “Technology Myths” (mitos tecnológicos), y critican cómo éstos contribuyen a un escenario de falta de asunción de responsabilidades e inhibición en la toma de acciones efectivas e inmediatas.

Gössling, Hall, Peeters y Scott (2010) analizan como las predicciones de OACI (Organización de Aviación Civil Internacional) e IATA (International Air Transport Association) confían en la habilidad de la industria para incorporar tecnologías que posibiliten incrementos de eficiencia capaces de compensar el crecimiento de tráfico,

y como esa confianza contrasta con el análisis de la comunidad científica. Estos autores critican el discurso de las aerolíneas argumentando la adopción de medidas “Green” cuando en realidad se trata de estrategias de reducción de costes que se traducen en una mayor capacidad para soportar aumentos de la demanda. Además, identifican al transporte aéreo como el elemento de la cadena de valor del turismo con mayor impacto ambiental. La identificación del turismo como elemento necesario para el desarrollo de países en vías de desarrollo contribuye a la aceptación de una visión positiva del futuro del tándem turismo-transporte aéreo sin reparar en sus posibles efectos perniciosos. Por último, proponen investigar soluciones integradas orientadas a cambiar el comportamiento de los turistas, continuar con las mejoras tecnológicas e introducir acciones gubernamentales por medio de regulación.

Scott, Gossling, Peeters, Amelung, Becken, Ceron, Dubois y Simpson elaboraron para el foro de Davos un documento de análisis de los retos del turismo ante el cambio climático (UNEP-UNWTO-WMO, 2008) valorando los impactos que el cambio climático tendrá en la competitividad y sostenibilidad de los destinos: cambios en la duración de las temporadas, incrementos de costes operativos, desplazamientos geográficos de la demanda, aumento de la inseguridad, aumento del coste de los seguros, pérdida o deterioro de elementos del patrimonio natural, incrementos del coste del transporte como consecuencia de normativas más exigentes, impactos en la demanda por alteraciones geo-políticas ... Estos impactos serán más relevantes en aquellos destinos vulnerables al cambio climático cuyo desarrollo sostenible dependa en gran medida del turismo (países en vías de desarrollo, estados insulares). Sin embargo, reconocen la capacidad adaptativa del turismo a escala global y agregada, pues el turista elige su destino con total libertad en la medida en que disponga de los tres recursos clave: tiempo, dinero y conocimiento; y siguiendo tres criterios principales: seguridad, clima y entorno.

Scott y Gössling (2015) profundizan en el análisis de posibles escenarios de desarrollo del turismo durante los próximos cuarenta años. Estos autores establecen correlaciones entre el escenario energético global y su impacto en el turismo, y consideran el control de emisiones para limitar el cambio climático como el principal vector que definirá los escenarios del futuro del turismo. Los autores declaran que no han podido identificar un escenario de consistencia entre los requisitos de reducción

de emisiones de la comunidad internacional y las previsiones de crecimiento del sector.

Los autores anteriores depositan una cierta confianza en la instauración de mecanismos de mercado de emisiones y de sistemas de compensación. Benito y Benito (2012) identifican al sistema de mercado de emisiones como el de mayor potencial de reducción de las mismas según OACI, pero su instauración no está exenta de problemas de equidad y de interferencia con las decisiones soberanas de los países (lo que en ocasiones lleva a que los esquemas sean de adhesión voluntaria), entendiéndose que el sistema sólo puede ser verdaderamente eficiente si su aplicación es a nivel global.

Gutiérrez (2013) realiza una feroz crítica de estos sistemas al identificarlos como generadores de desigualdades, pues colocan en una posición privilegiada a aquellos agentes más potentes económicamente que pueden afrontar inversiones en tecnología o simplemente comprar derechos además de provocar la enajenación de recursos agrarios (típicamente utilizados para cultivos alimentarios) y desviar recursos públicos en detrimento de las economías rurales.

Como síntesis del análisis del marco teórico se puede afirmar que la sostenibilidad de la aviación y su impacto en el turismo han sido objeto de estudios muy extensos por parte de especialistas en ambos sectores, con una preocupación común por la evaluación y control de emisiones de gases de efecto invernadero. La Energy Transitions Commission (2018) señala cómo la contribución actual de la aviación a las emisiones de gases de efecto invernadero es de aproximadamente el 3% de las emisiones globales, correspondiente con 1 Gt (Gigatonelada) de CO₂, y cómo en un escenario “business as usual” en 2050 se alcanzarían las 1,8 Gt, representando el 4% del total de las emisiones. La JADC (2019) indica que, en 2016, el 1,7% de las emisiones fueron producidas por la aviación internacional, en su mayor parte derivada de la demanda turística. Lenzen, Sun y Faturay (2018) analizan las emisiones del turismo global y las cuantifican en 4,5 Gt de CO₂ en 2013, equivalente a un 8% de las emisiones globales, en continuo crecimiento como consecuencia de la alta elasticidad de la actividad turística a la renta y de su elevada intensidad en emisiones.

Se reconoce la existencia de perspectivas diferentes sobre la gravedad del problema:

por un lado, la industria y algunos organismos internacionales minimizan el problema en pro de mantener las perspectivas de crecimiento de los propios sectores, mientras que numerosos autores abogan por la necesidad de un cambio en los patrones de consumo turístico que implique una reducción en la demanda de transporte aéreo. La mayoría de los análisis revisados se han realizado limitándose al ámbito de ambos sectores.

1.2. Objetivos de la investigación

En un contexto de crecimiento de la demanda de transporte aéreo, de aparente escasez energética y de calentamiento global derivado de la combustión de fósiles, existe una gran incertidumbre sobre cómo se desarrollarán el transporte aéreo y el turismo. Como objetivo general de este estudio se pretenden evaluar cualitativamente los posibles escenarios de futuro desarrollo de ambos sectores.

La investigación del marco teórico prueba que esta cuestión ha sido y es objeto de un estudio exhaustivo por parte de numerosos autores, que han centrado sus trabajos en el análisis del impacto en el cambio climático de las emisiones de gases de efecto invernadero de la aviación. Por ello, el presente estudio se centra en el análisis de la suficiencia energética, al haberse detectado que se trata de una dimensión del problema menos explorada. Se compara la criticidad para aviación y turismo de una posible crisis por escasez energética frente a la amenaza que supone para estos sectores el cambio climático. Ello precisa que los análisis se realicen de forma integrada (energía, transporte aéreo y turismo) y considerando tendencias globales.

Un objetivo secundario de la investigación es verificar la idoneidad de la utilización de métodos cualitativos en una cuestión que, según se ha contrastado durante la investigación del marco teórico, es más susceptible de ser estudiada mediante métodos cuantitativos, basados en el análisis de variables, económico-sociales y geo-demográficas.

II. METODOLOGÍA

La metodología seleccionada para la investigación ha venido determinada en gran parte por el análisis del marco teórico, que ha permitido detectar la oportunidad

de realizar una nueva aportación a la cuestión de la sostenibilidad combinada de transporte aéreo y turismo mediante la utilización de métodos cualitativos, contrastables con los cuantitativos.

2.1. Metodología pseudo-cuantitativa: revisión de autores, de datos estadísticos y previsiones

En este estudio se ha realizado una búsqueda bibliográfica de autores que ya han profundizado en la materia o en alguno de sus aspectos. Se ha revisado la información más actual disponible en informes y previsiones de *stakeholders* relevantes, tanto institucionales como empresas privadas. A partir del análisis de todo lo anterior se ha elaborado un entendimiento pseudo-cuantitativo de la sostenibilidad del tándem transporte aéreo-turismo basado en el análisis de estos datos. Más concretamente, las fuentes de información analizadas son artículos académicos y libros de autores expertos en la materia junto con estadísticas y estudios realizados por agentes institucionales y privados de los sectores de la energía, el transporte aéreo y el turismo. También se ha revisado legislación y normativa nacional, de la Unión Europea, Gobierno de Estados Unidos y de la Organización de la Aviación Civil Internacional (OACI-ICAO).

Utilizando dichas fuentes:

- Se analiza la evolución histórica del transporte aéreo, prestando especial atención al desarrollo de la demanda, del consumo energético y de las mejoras de eficiencia.
- Se verifica la creciente importancia del consumo energético del transporte aéreo en términos absolutos y relativos, y se relaciona el patrón de consumo energético con las proyecciones de demanda y de mejoras tecnológicas, incluyendo la utilización de biocombustibles.
- Se analiza la evolución de las reservas energéticas, y su sostenibilidad en relación a las proyecciones de consumo y del desarrollo de energías renovables. Se revisan las iniciativas legislativas para el desarrollo de las mismas.
- En consecuencia, se valora la sostenibilidad del transporte aéreo con el esquema de negocio actual discutiendo los posibles impactos en la demanda,

en especial en su sector más elástico al precio, que es el turista. Dicha valoración permite comparar la inmediatez de una posible crisis energética con la de la crisis climática.

2.2. Metodología cualitativa

Reconociendo la complejidad de la cuestión y la necesidad de enmarcarla en un contexto técnico social tremendamente evolutivo, se considera de vital importancia el poder realizar una valoración de las percepciones, sentimientos y motivaciones de los profesionales y ejecutivos (sean del sector privado o del institucional) de los sectores de la energía, el transporte aéreo y el turismo respecto a su sostenibilidad energética y medioambiental. Los posibles escenarios futuros que se puedan considerar resultarán tanto más plausibles cuanto mayor sea la adhesión o creencia en los mismos de los profesionales que toman decisiones y trabajan por su consecución. Con este fin se han utilizado en la investigación diferentes métodos cualitativos, siendo uno de los objetivos secundarios de la misma la realización de una comparación de los resultados obtenidos por diferentes métodos. A lo largo del primer semestre de 2017 se realizaron entrevistas en profundidad a expertos de la aeronáutica, la energía y el turismo, utilizando diferentes medios (presenciales o por correo), formatos (individual o grupal) y niveles de estructuración (no estructuradas, o semi-estructuradas con cuestionarios de partida diferentes según el sector al que pertenecía el entrevistado). También se han realizado ejercicios de observación participante asistiendo a congresos y analizando las intervenciones e interrelaciones de los ponentes. Las tablas adjuntas resumen los ejercicios de observación participante y entrevistas en profundidad realizados. Los entrevistados se identifican por sus iniciales, y se utilizarán las mismas a lo largo del artículo para hacer referencia a sus respectivas entrevistas.

Tabla 1: Lista de entrevistas en profundidad (se usarán las iniciales del entrevistado para referencias a la entrevista a lo largo del artículo).

Entrevistado	Sector	Estructura de la entrevista	Individual / Grupal	Presencial /e-mail
GA, profesor de universidad experto en transporte aéreo	Transporte Aéreo	Semiestructurada	Individual	Presencial
RC, vicepresidente de empresa fabricante de aeronaves	Transporte Aéreo	Semiestructurada	Individual	e-mail
MC y MA, profesoras de universidad expertas en turismo	Turismo	Semiestructurada	Grupal	Presencial
VH, desarrollo de negocio empresa energía eólica	Energía	No estructurada	Individual	Presencial
AM, gestión de riesgos técnicos empresa energía eólica	Energía	No estructurada	Individual	Presencial
AL, director de tecnología de empresa fabricante de motores de aviación y profesor de universidad	Transporte Aéreo	No estructurada	Individual	Presencial
IG, directora de tecnología de empresa fabricante de motores de aviación	Transporte Aéreo	Semiestructurada	Individual	Presencial
GG y FJS, dirección de sostenibilidad de empresa eléctrica	Energía	Semiestructurada	Grupal	Presencial
IU, director ejecutivo de ingeniería de empresa fabricante de motores de aviación	Transporte Aéreo	No estructurada	Individual	Presencial
AV, profesor de universidad experto en energía y transporte aéreo	Energía/ Transporte Aéreo	No estructurada	Individual	Presencial
EY, desarrollo de negocio de empresa de energía eólica	Energía	Semiestructurada	Individual	Presencial

Fuente: elaboración propia.

Tabla 2: resumen de entrevistas en profundidad.

SECTOR			ESTRUCTURA		INDIV/GRUPAL		PRESEN / E-MAIL	
Tte. Aer.	Energía	Turismo	No estruc.	Semi-estruc.	Indiv.	Grupal	Presen.	e-mail
6	5	1	6	5	9	2	10	1

Fuente: elaboración propia.

Fecha de recepción: 7/04/2019 Fecha de aceptación: 17/01/2020

Este trabajo se publica bajo una licencia [Creative Commons Attribution License Reconocimiento 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Tabla 3: resumen de ejercicios de observación participante (asistencia a congresos y reuniones de trabajo con reseñas de ponencias y discusiones). Se usarán las iniciales del ponente para referencias a la ponencia a lo largo del artículo.

EVENTO	PONENCIA
IV Congreso de Ingeniería Aeroespacial, sesión sobre evolución del transporte aéreo (Madrid 28-04-2017)	IM. Contribución de la Administración Española para el desarrollo global del transporte aéreo y centros de soporte en España. A cargo de Dña. IM., Directora de la AESA.
IV Congreso de Ingeniería Aeroespacial, sesión sobre evolución del transporte aéreo (Madrid 28-04-2017)	AP. El transporte aéreo, un sector que sigue reinventándose cada día. A cargo de D. AP, Director de Alianzas de Iberia y Presidente de ACETA.
IV Congreso de Ingeniería Aeroespacial, sesión sobre evolución del transporte aéreo (Madrid 28-04-2017)	JB. Formación, consultoría e impacto medioambiental. A cargo de D. JB, Director de Seguridad Aeronáutica - SENASA
IV Congreso de Ingeniería Aeroespacial, sesión sobre evolución del transporte aéreo (Madrid 28-04-2017)	Otras ponencias
Clean Sky 2 Engine Integrated Technology Demonstrator (ITD) Annual Review (Munich, 2 y 3 de junio de 2017)	Conjunto

Fuente: elaboración propia.

2.3. Triangulación

La utilización de los métodos cualitativos ha permitido realizar una triangulación con los resultados del análisis de los datos estadísticos y proyecciones de los diferentes sectores junto con el análisis de autores realizado en la definición del marco teórico, valorándose el que se alcanzan conclusiones similares por todos los métodos respecto a las bases y mecanismos que articulan los escenarios futuros de turismo y transporte aéreo.

III. ANÁLISIS Y RESULTADOS

3.1. Valoración de escenarios en base al análisis cuantitativo y revisión de autores

En la investigación se han analizado la evolución y previsiones de la demanda turística y de transporte aéreo, del consumo energético global, del consumo energético del transporte aéreo y de las emisiones del mismo con objeto de llegar a un entendimiento de la criticidad que posibles limitaciones energéticas o cuestiones

Fecha de recepción: 7/04/2019 Fecha de aceptación: 17/01/2020

Este trabajo se publica bajo una licencia [Creative Commons Attribution License Reconocimiento 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

medioambientales puedan imponer sobre el desarrollo de ambos sectores: turismo y transporte aéreo. El resultado de esos análisis es el siguiente:

1. Las instituciones y agentes del sector confían en el crecimiento sostenido del transporte aéreo. Los agentes institucionales como la International Civil Aviation Organization - ICAO (2016) y la European Commission (EC, 2013) asumen ese crecimiento y se preparan para gestionarlo y protegerlo, entendiendo su relevancia socioeconómica. Se establecen objetivos para paliar las externalidades de ese crecimiento, pero nunca se cuestiona la necesidad de acomodarlo.
2. No se considera probable en el medio plazo una situación de escasez energética global.
 - a. La International Energy Agency - IEA (2016) y la Organization of Petrol Exporting Countries-OPEC (2016) no expresan preocupación por un posible agotamiento de combustibles fósiles. Las previsiones de demanda de petróleo son crecientes en cualquiera de los escenarios.
 - b. Las energías renovables progresan a buen ritmo, consiguiendo o incluso superando los objetivos de cuota marcados institucionalmente (UE, 2018). También se espera un progresivo desplazamiento de carbón y petróleo en beneficio del gas natural, de reservas ingentes.
 - c. Salvo algunos sectores, dónde el consumo de combustibles fósiles es más crítico, como son el transporte en general y el aéreo en particular, el resto de los sectores evolucionan favorablemente hacia la utilización de energía eléctrica.
3. Respecto al consumo energético en la aviación
 - a. Las tecnologías actualmente en investigación con potencial de mejora en la eficiencia del transporte aéreo tienen un alcance muy limitado, muy inferior al crecimiento del tráfico. Los biocombustibles también presentan un potencial muy limitado.
 - b. El consumo de petróleo del transporte aéreo crecerá según todos los escenarios estudiados por las instituciones expertas del sector (OPEC, 2016). El crecimiento será aún mayor en términos relativos (del sector frente al global), por lo que el transporte aéreo cobrará cada vez más relevancia como consumidor-contaminador.

4. Respecto a las emisiones de la aviación.
 - a. El análisis energético anterior indica que, cada vez más, el transporte aéreo se va a significar como consumidor de combustibles fósiles y generador de emisiones. El mayor crecimiento de los vuelos de larga distancia empeorará las emisiones del sector, puesto que, aunque las emisiones por pasajero kilómetro transportado se reducen con la distancia del vuelo (Christensen, 2017) las tasas de crecimiento del tráfico exceden por mucho la mencionada reducción de emisiones en términos unitarios.
 - b. Si se aspira a que el sistema de transporte aéreo estabilice sus emisiones, se necesitará recurrir a esquemas de compensación que las contrarresten. Recientemente se ha acordado un esquema de comercio y compensación a nivel internacional (ICAO, 2016).
5. Respecto a la valoración general del riesgo que el cambio climático supone para el transporte aéreo y el turismo, en el informe “Climate Changes Your Business” (KPMG, 2008), tanto aviación como turismo son señalados como sectores en la zona roja del riesgo por cambio climático (riesgo de alto impacto y escasa preparación). En el informe se señala que la aviación está expuesta al riesgo que suponen las nuevas regulaciones y al deterioro de reputación, mientras que los riesgos que se ciernen sobre el turismo son de carácter físico (recursos turísticos deteriorados por el cambio climático) y también de reputación.

3.2. Valoración de escenarios en base al análisis por métodos cualitativos

La colección de opiniones y actitudes de expertos de los sectores de la energía, el transporte aéreo y el turismo ha permitido establecer una visión conectada y agregada de los escenarios futuros más plausibles de los diferentes sectores, contemplándose los siguientes resultados.

- Existe en el sector de la energía el convencimiento de que las energías renovables irán progresivamente desplazando a los combustibles fósiles (VH, EY, GG y FJS) y de que el mix energético debe considerar la contribución de las energías nucleares, al menos en el medio plazo (VH, GG, IU, AV, EY). No existe una preocupación significativa por una falta de abastecimiento de petróleo y se reconoce la mayor dificultad del transporte aéreo para su

- reconversión hacia energías renovables (todos los entrevistados). No hay preocupación por una posible crisis energética generalizada.
- En el sector del transporte aéreo se reconoce la imposibilidad de realizar un cambio de paradigma energético para las aeronaves en un amplio horizonte temporal (GA, IU, AL, AV, RC, IG), pero se asume el reto de mejorar la eficiencia del sistema y de hacerlo más sostenible conforme a las normas y acuerdos definidos por las instituciones relevantes (IM, JB), aunque se duda de su consecución (GA, AL, IU, AV). Se confía en que los demás sectores contribuyan a los retos globales de sostenibilidad suficientemente, de manera que la contribución crecientemente negativa del transporte aéreo resulte poco relevante dado su pequeño tamaño relativo (RC, GA, JB, AL). En el sector se encuentran opiniones contrapuestas sobre el potencial de los biocombustibles, con una cierta tendencia al escepticismo (GA fue el único entrevistado que manifestó confiar en los biocombustibles como solución energética para la aviación).
 - En el sector del turismo no se teme una posible crisis energética, mientras que se reconoce que la crisis medioambiental ya existe. Ante ella el sector se comporta de forma resiliente y proactiva. Se reconoce sin embargo que destinos insulares periféricos, así como el turismo intercontinental, se verían fuertemente afectados ante una crisis que afectara al transporte aéreo. Más desconfianza y temor genera la posibilidad de una crisis de seguridad (MC y MA).

IV. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. Discusión de resultados de la cuestión principal: sostenibilidad de la aviación

Conectando las visiones más generalizadas de los profesionales de los tres sectores y triangulando con los resultados del análisis cualitativo y revisión de autores se elabora un escenario de cierto optimismo:

- Positivo respecto a la disponibilidad energética global, del transporte aéreo y el turismo.
- Moderado respecto a una posible crisis medioambiental.

- Donde no parecen severamente comprometidos los escenarios de desarrollo y crecimiento de transporte aéreo y turismo.

Dicho optimismo seguirá siendo defendible si:

- Se continúan desarrollando sistemas energéticos alternativos, tanto mejorando tecnológicamente como extendiendo su aplicación.
- Se continúan mejorando la eficiencia de almacenamiento y transporte de energía.
- Se extiende el uso de la energía nuclear.
- Se continúan desarrollando transportes alternativos susceptibles de utilizar energías verdes.
- Se continúan desarrollando e implantando tecnologías de mejora de eficiencia en el sistema de transporte aéreo, aun reconociendo las mayores dificultades para hacerlo.
- Se trabaja en modificar los hábitos de los viajeros, sobre todo de los turistas, a través de una mayor educación en hábitos de sostenibilidad, tratando de racionalizar el uso del transporte aéreo ampliando las estancias vacacionales, utilizando medios alternativos menos contaminantes, reduciendo el peso transportado ...

4.2. Valoración de la utilización de la metodología cualitativa en el estudio

En lo referente al ejercicio de observación participante, la asistencia a congresos y participación en sesiones de trabajo sobre temas relacionados con la cuestión de la investigación han proporcionado una excelente oportunidad para observar actitudes y valorar posiciones de diferentes agentes de los diversos sectores en un reducido espacio de tiempo y a través de una información tremendamente sintetizada y preparada para ser comunicada y compartida. Sin embargo, la información así transmitida refleja posiciones corporativas, políticamente ajustadas, y rara vez creencias, motivaciones u opiniones personales. Se precisa realizar sobre ellas un análisis posterior para contextualizar y valorar la información expuesta. La propia redacción de las reseñas obliga a interaccionar entre la objetividad de capturar lo oído y escuchado y la subjetividad de necesitar ponerlo en valor en función del propio conocimiento del sector (Stanley, 2001).

Fecha de recepción: 7/04/2019 Fecha de aceptación: 17/01/2020

Este trabajo se publica bajo una licencia [Creative Commons Attribution License Reconocimiento 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

La cuestión investigada reviste complejidad por el hecho de que se tratan de conectar visiones de expertos de diferentes sectores. No obstante, se dan ciertas condiciones que, según S.J Taylor y Bogdan (1984), hacen recomendable la aplicación de entrevistas en profundidad: los intereses de la investigación están relativamente bien definidos (y en todas las entrevistas se expresan al comienzo de las mismas), resulta complicado acceder a las personas de otro modo (resultaría muy complejo acceder a ellos en su ámbito de trabajo como observación participante), aplican limitaciones de tiempo, la investigación depende de una gama amplia sectores y personas, y existe interés en coleccionar apreciaciones subjetivas.

Se han llevado a cabo diferentes tipos de entrevistas en profundidad en un intento de adaptarse lo mejor posible a la disponibilidad y disposición de los entrevistados. Se observan resultados diferentes según el tipo de entrevista realizado.

En las entrevistas individuales no estructuradas (IU, AL, AM, AV, VH) se siguió el modelo de entrevista cualitativa de S.J Taylor y Bogdan (1984), desarrollada como una conversación entre iguales. Este tipo de entrevista ha permitido un mejor acceso a las opiniones de los entrevistados en “estado puro”, sin estar influenciadas por las propias preguntas de una entrevista estructurada o semi-estructurada. Como resultado de las discusiones y argumentaciones no estructuradas, algunos de los entrevistados han revelado creencias personales profundas de las que se derivan las opiniones sobre la cuestión. Sirvan como ejemplo la desconfianza de AV en el modelo económico español o la entusiasta valoración de la función social del transporte aéreo que hace AL.

La realización de entrevistas semi-estructuradas (EY, IG, GA) ha permitido una colección ordenada y metódica de información sobre aspectos relativos a la cuestión de la investigación. En ocasiones, los entrevistados han podido experimentar una cierta incomodidad con algunas de las preguntas al temer que sus opiniones no estuvieran alineadas con las posiciones corporativas de sus empresas o instituciones. Por esa razón, algunos entrevistados pidieron mantenerse en el anonimato o solicitaron eliminar ciertos párrafos. Otras personas incluso se negaron a participar. Sin duda el marco más rígido de la entrevista semi-estructurada ha limitado la revelación de motivaciones más profundas, pues la guía de la entrevista orienta hacia razonamientos y discusiones estructuradas, menos propensas a la revelación de

sentimientos o creencias. En el apéndice 1 se incluyen los guiones de las entrevistas semi-estructuradas como referencia.

Una de las entrevistas (RC) hubo de realizarse por correo electrónico debido a la distancia e importante diferencia horaria con el entrevistado. Se realizaron varias entregas. Este tipo de entrevista ofrece un resultado particularmente ordenado y bien elaborado, pero lleva inevitablemente a respuestas más reflexivas y corporativas, siendo difícil la colección de pensamientos y motivaciones profundas.

Durante las entrevistas grupales (GG y FJS, MC y MA) se observó una cierta tendencia hacia la homogeneización y corporativización de las respuestas, si bien se desarrollaron de manera más ágil e interactiva dando lugar a interesantes debates y contraposición de opiniones, generándose un registro más rico. La realización de las entrevistas junto con compañeros ayudó a crear un contexto relajado con los entrevistados.

V. CONCLUSIONES E IMPLICACIONES

En este estudio se ha analizado la sostenibilidad del modelo actual del tándem turismo-transporte aéreo utilizando métodos de investigación mixtos. Las conclusiones obtenidas mediante el análisis de datos estadísticos, proyecciones y revisión de autores resultan consistentes con las derivadas de la utilización de métodos cualitativos.

Respecto a la sostenibilidad energética global, en el sector de la energía existe el convencimiento de que las energías renovables son competitivas. Su progresión, ganando cuota del mix energético es manifiesta, y las proyecciones futuras indican que esta tendencia se mantendrá. Las instituciones determinan objetivos de desarrollo para las renovables y promulgan normativa que son bien asimilados en el sector. Sin embargo, los expertos incorporan una serie de elementos críticos en su análisis de las energías renovables como la necesidad de considerar en el análisis de competitividad los costes completos (energéticos y no energéticos) del ciclo de vida del sistema o las dificultades de integración de su producción en el sistema dado lo regular e imprevisible de ésta y el retraso en el desarrollo las tecnologías de almacenamiento de energía.

Un aspecto no demasiado discutido es el potencial impacto medioambiental o social de las propias instalaciones y sistemas de energías renovables. No se detecta en el sector ningún pensamiento crítico que cuestione la propia sostenibilidad de las energías renovables. Sería recomendable investigar esta cuestión, pues las instalaciones de renovables continuarán proliferando y sus potenciales externalidades serán más susceptibles de manifestarse.

No se considera en el sector un escenario de escasez de petróleo en el medio plazo. Sin embargo, tanto en la memorias de la OPEC (2016) y la IEA (2016), como en las opiniones de muchos expertos, como en el análisis de algunos autores (Scott & Gössling, 2015) se señala la sensibilidad de los precios del petróleo a diferentes cuestiones geopolíticas como un factor muy importante en la configuración futura de turismo y transporte aéreo.

En cuanto a la sostenibilidad energética y medioambiental del transporte aéreo, no hay expectativas de un cambio de paradigma energético en la propulsión de las aeronaves que permita compensar los crecimientos de consumos y emisiones asociados a la demanda. El sector del transporte aéreo realiza un cierto acto de contricción y proyecta institucionalmente una serie de objetivos agresivos a la vez que publicita programas de desarrollo de tecnologías ambiciosísimas, algunas de credibilidad cuestionable o de impacto real muy limitado (Peeters et al., 2016). Los agentes del sector asumen los objetivos institucionales y las nuevas normativas en defensa de la sostenibilidad. Cabe preguntarse si en la definición de los objetivos institucionales concurren, además de elementos de análisis científico, creencias y compromisos sinceros en pro de la sostenibilidad. Por ello, se sugiere continuar investigando esta cuestión utilizando metodología cualitativa.

En el medio plazo, el transporte aéreo seguirá disponiendo de petróleo para operar, con un consumo creciente. Este sector será señalado por su falta de capacidad de evolucionar hacia tecnologías y operaciones con menor impacto ambiental. Nadie en esta industria cuestiona la senda de crecimiento en el medio plazo y su efecto tractor, especialmente en países en vías de desarrollo. En este contexto, la conclusión es que resulta más probable un escenario futuro de crisis medioambiental por exceso de emisiones que un escenario de crisis energética.

El sector ha reconocido la necesidad de acudir a un sistema de comercio de emisiones, que estimule la persecución de la eficiencia energética, y de compensación, admitiendo que el sector por sí sólo nunca podrá llegar a una situación de neutralidad en las emisiones. Existen corrientes críticas que desconfían de estos esquemas (Gutiérrez, 2013) por el riesgo de degenerar en negocios alienantes. Sería también conveniente investigar en profundidad la efectividad real de los mecanismos de compensación, así como sus posibles límites de capacidad.

Tras el estudio, no se anticipa que en el medio plazo el sector turístico vaya a sufrir limitaciones de crecimiento asociadas a reducciones de tráfico aéreo por problemas de escasez energética. Más significativo resulta para el sector el riesgo del cambio climático, como señalan los participantes en el foro de Davos (UNEP-UNWTO-WMO, 2008) y los expertos entrevistados. Sin embargo, dada la resiliencia y capacidad de adaptación del propio sector, tampoco se prevé que en el medio plazo el cambio climático vaya a constituirse en un factor limitante al crecimiento del turismo a nivel global agregado. Por ello, la contención del impacto de la propia actividad turística al cambio climático sólo será posible a través de cambios en el comportamiento de los turistas, desarrollo de mejoras tecnológicas y el establecimiento de marcos legislativos adecuados.

En esta investigación, se ha analizado la plausibilidad de un escenario en el que el progresivo desarrollo de las energías renovables pueda alcanzar un nivel suficiente de sustitución de producción energética por medio de combustibles fósiles, consiguiendo un sistema global sostenible energéticamente. En este escenario, se verifica que el desplazamiento del uso de hidrocarburos por energías renovables en otros sectores de la industria y el transporte, será suficiente para, al menos en el medio plazo, garantizar su disponibilidad para aquellas aplicaciones en las que su alta densidad energética fuera un requisito indispensable, como es el caso del transporte aéreo. Esto hace plausible que el actual patrón de crecimiento del turismo se mantenga, y que también lo haga el desarrollismo asociado al turismo. En este escenario cuya factibilidad se ha verificado, aviación y turismo son sectores identificados como comparativamente más perniciosos que aquellos en los que el consumo energético y las emisiones se consiguen reducir por razón del empleo de energías renovables en mayor proporción.

La utilización de metodología cualitativa en una cuestión típicamente abordada desde métodos cuantitativos resulta novedosa y por ello no está exenta de cierta complejidad. Resulta difícil realizar un análisis agregado e integrar en un cuerpo de conclusiones comunes el resultado de coleccionar opiniones, expectativas y creencias particulares por mucho que estas emanen del conocimiento profundo del sector o cuestión objeto de estudio. No obstante, el ejercicio sí ha permitido identificar una serie de conceptos, creencias y actitudes mayoritariamente aceptados.

La utilización de los métodos cualitativos ha permitido realizar una triangulación con los resultados del análisis de los datos estadísticos y proyecciones de los diferentes sectores y con el análisis de autores realizado en la definición del marco teórico, valorándose el que se alcanzan conclusiones similares por todos los métodos respecto a las bases y mecanismos que articulan los escenarios futuros, entendiendo que en cualquier caso existe un elevado grado de incertidumbre en la definición de los mismos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Airbus. (2018). *Global Market Forecast 2018-2037*.

Benito, A. y Benito, E. (2012). *Descubrir el Transporte Aéreo y el Medio Ambiente* (AENA, ed.). Madrid: AENA.

Christensen, L. (2017). Environmental Impact of Long Distance Travel. *Transportation Research Procedia*. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.05.033>

Energy Transitions Comission. (2018). *MISSION POSSIBLE. Sectorial Focus Aviation*.

JADC (2019). Joint Aviation Development Corporation. *Worldwide Market Forecast 2019-2038*.

EC. (2013). *2 million tons per year : A performing biofuels supply chain for EU aviation August 2013 Update*. (August), 1-37. Retrieved from https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/20130911_a_performing_biofuels_supply_chain.pdf

Gössling, S., Hall, C. M., Peeters, P., y Scott, D. (2010). The Future of Tourism: Can Tourism Growth and Climate Policy be Reconciled? A Climate Change Mitigation Perspective. *Tourism Recreation Research*, 35(1), 119-130. <https://doi.org/10.1080/02508281.2010.11081628>

Fecha de recepción: 7/04/2019 Fecha de aceptación: 17/01/2020

Este trabajo se publica bajo una licencia [Creative Commons Attribution License Reconocimiento 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

- Gutiérrez, J. G. (2013). ¿Reducir creciendo? La estrategia del sector aéreo para mitigar su papel en el cambio climático visto desde la soberanía alimentaria. *Actas Del Congreso Internacional América Latina: La Autonomía de Una Región*, 898-910. Retrieved from <http://hal.archives-ouvertes.fr/halshs-00875594/>
- Hernández, J. (2008). TURISMO DE MASAS Y TRANSPORTE: EL GRAN RETO DEL TURISMO DEL SIGLO XXI. *Scripta Nova REVISTA ELECTRÓNICA DE GEOGRAFÍA Y CIENCIAS SOCIALES*, XII(258). Retrieved from <http://www.ub.edu/geocrit/sn/sn-258.htm>
- IEA. (2016). *World Energy Outlook 2016*. International Energy Agency: Paris, France. <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2016>
- International Civil Aviation Organization (ICAO). (2016). *Asamblea - 39º Periodo de Sesiones*.
- KPMG. (2008). *Climate change your business- KPMG's review of the business risks and economic impacts at sector level*.
- Larsen, G. R., & Guiver, J. W. (2013). Understanding tourists' perceptions of distance: a key to reducing the environmental impacts of tourism mobility. *Journal of Sustainable Tourism*, 21(7), 968-981. <https://doi.org/10.1080/09669582.2013.819878>
- Lenzen, M., Sun, Y. Y., Faturay, F., Ting, Y. P., Geschke, A., & Malik, A. (2018). The carbon footprint of global tourism. *Nature Climate Change*, 8(6), 522-528. <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0141-x>
- OPEC. (2016). *World Oil Outlook*. Organization of the Petroleum Exporting Countries. <https://doi.org/10.1190/1.1439163>
- Peeters, P., Higham, J., Kutzner, D., Cohen, S., y Gössling, S. (2016). Are technology myths stalling aviation climate policy? *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 44(May), 30-42. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2016.02.004>
- Ram, Y., Nawijn, J., y Peeters, P. M. (2013). Happiness and limits to sustainable tourism mobility: a new conceptual model. *Journal of Sustainable Tourism*, 21(7), 1017-1035. <https://doi.org/10.1080/09669582.2013.826233>

- Scott, D., y Gössling, S. (2015). What could the next 40 years hold for global tourism? *Tourism Recreation Research*, 8281(November), 1-17.
<https://doi.org/10.1080/02508281.2015.1075739>
- Stanley, N. (2001). Diaries and Fieldnotes in the Research Process. *The Research Training Institute*, (1), 1-17.
- Taylor, S., y Bogdan, R. (1984). *Introducción a los métodos cualitativos de investigación* (Paidós, ed.). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- UNEP-UNWTO-WMO. (2008). Climate Change and Tourism : Responding to Global Challenges Advanced Summary October 2007. *Davos - Climate Change*, (October), 24.
- UE. (2018). *DIRECTIVA (UE) 2018/2001 DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 11 de diciembre de 2018 relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables (versión refundida)*. Parlamento Europeo y Consejo de la Unión.
- United States 95th Congress. (1978). *Public Law 95-504 (Aviation Deregulation Act)*. 102(4), 50.
- Young, M., Higham, J. E. S., y Reis, A. C. (2014). 'Up in the air': A conceptual critique of flying addiction. *Annals of Tourism Research*, 49, 51-64.
<https://dx.doi.org/10.1016/j.annals.2014.08.003>
- Young, M., Markham, F., Reis, A. C., y Higham, J. E. S. (2015). Flights of fantasy: A reformulation of the flyers' dilemma. *Annals of Tourism Research*, 54, 1-15.
<https://doi.org/10.1016/j.annals.2015.05.015>

APÉNDICE 1: GUIÓN DE ENTREVISTAS SEMI-ESTRUCTURADAS

1. Explicación del alcance de la investigación

Se explica al entrevistado el objetivo final de la investigación: poder valorar la sostenibilidad energética del transporte aéreo en un contexto de previsiones de fuerte crecimiento y el impacto que esto pueda tener en los patrones del mercado turístico. Se explica también que se ha optado por utilizar un método cualitativo, recogiendo las opiniones informadas de expertos en los sectores de la energía, el transporte aéreo y el turismo con objeto de realizar una valoración más allá de las estadísticas y los

Fecha de recepción: 7/04/2019 Fecha de aceptación: 17/01/2020

Este trabajo se publica bajo una licencia [Creative Commons Attribution License Reconocimiento 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

modelos numéricos. Se explica a cada entrevistado que se espera de él/ella una contribución relacionada con las expectativas de evolución de su sector de interés, aunque se les invitará a opinar sobre cualquier aspecto relevante para el estudio.

2. Preguntas sectoriales

2.1. Para los expertos del sector de la energía.

- 2.1.1. *¿Hasta qué punto se puede considerar que las energías renovables son o pueden llegar a ser competitivas con la utilización de combustibles fósiles?*
- 2.1.2. *¿En qué plazos puede llegar a desarrollarse un índice de remplazo significativo de las renovables por fósiles de manera que se consiga un equilibrio sostenible?*
- 2.1.3. *¿En qué sectores se podrá producir ese remplazo de manera efectiva y en cuáles es más complicado?*
- 2.1.4. *¿Considera que puede existir un modelo energético diferente al actual para la aviación?*
- 2.1.5. *¿Qué potencial tienen los biocombustibles?*
- 2.1.6. *¿Qué problema considera más urgente: el cambio climático derivado de las emisiones de gases invernadero o una posible crisis de los combustibles fósiles?*
- 2.1.7. *¿Cuál de los siguientes escenarios considera más probable en el medio plazo? Por favor explique por qué*
 - a) *Optimista: desarrollo de las renovables (u otras fuentes de energía no escasas) que progresivamente eliminan la dependencia de los fósiles salvo en sectores en los que su uso es crítico.*
 - b) *Intermedio: las renovables (u otras fuentes de energía no escasas) se desarrollan significativamente, pero no lo suficiente como para eliminar la dependencia de los fósiles. Como consecuencia, la economía global ralentiza su crecimiento (o se contrae), y en particular aquellos sectores más dependientes de los fósiles.*
 - c) *Pesimista: crisis energética mundial: las renovables no ofrecen un remplazo efectivo a los fósiles, que se agotan progresivamente. Retroceso global de características catastróficas.*
 - d) *Otros escenarios: describa.*

2.2. Para los expertos del sector de la aviación (transporte aéreo, industria aeronáutica, docentes)

- 2.2.1. *Las medidas que actualmente se plantean en la industria para mejora de la eficiencia energética ¿son suficientes para compensar los crecimientos de consumo derivados de los crecimientos de tráfico esperados?*

- 2.2.2. *¿Qué medidas de mejora de eficiencia energética en la aviación tienen más potencial y qué medidas tienen menos porvenir?*
- 2.2.3. *¿Cree posible un cambio en el paradigma energético de la propulsión en aviación?*
- 2.2.4. *¿Qué opinión le merecen los biocombustibles?, ¿qué potencial pueden tener para la aviación?*
- 2.2.5. *¿Considera que la aviación tiene más complicada la aplicación de energías alternativas que otros sectores?*
- 2.2.6. *¿Cuál de los siguientes escenarios considera más probable en el medio plazo? Por favor explique por qué:*
- a) *Optimista 1: la aviación es capaz de desarrollar tecnologías que permiten compatibilizar el crecimiento del tráfico con las limitaciones de disponibilidad de combustibles fósiles*
 - b) *Optimista 2: la aviación se beneficia de los avances de las energías alternativas en otros sectores, de manera que los hidrocarburos quedan liberados para el uso de la aviación retrasando una posible crisis de escasez y dando tiempo a evolucionar más lejos en otras tecnologías*
 - c) *Intermedio: la menor disponibilidad de petróleo impacta en los costes de los carburantes y por tanto en las tarifas de los vuelos, provocando una significativa contracción de la demanda que se compensa en parte por un mayor uso de otros modos y por un cambio de hábitos de los viajeros (en particular de los turistas como más sensibles al precio).*
 - d) *Pesimista 1: crisis profunda del sector aéreo, mucho más acentuada que en otros transportes y sectores.*
 - e) *Pesimista 2: crisis global generalizada*
 - f) *Otros escenarios, describa.*
- 2.2.7. *Caso de considerar posible un escenario de crisis en el transporte aéreo, ¿considera más probable que la crisis sea de origen energético o medioambiental*
- 2.3. *Para los expertos del sector del turismo.*
- 2.3.1. *¿Considera probable un escenario de escasez energética en el medio plazo que pueda afectar al sector del transporte aéreo?*
- 2.3.1.0.1. *Si este fuera el caso, ¿cuáles cree que serían las consecuencias en el sector turístico?*
- 2.3.2. *¿Considera probable un escenario de crisis medioambiental en el medio plazo que pueda afectar al sector del transporte aéreo?*
- 2.3.2.0.2. *Si este fuera el caso, ¿cuáles cree que serían las consecuencias en el sector turístico?*

- 2.3.2.0.3. *¿Serían las dificultades del sector del transporte aéreo más o menos relevantes para el turismo que el resto de consecuencias de la crisis medioambiental?*
- 2.3.3. *¿Cuál de los dos escenarios anteriores considera más probable?*
- 2.3.4. *¿Tendría el sector turístico la suficiente resiliencia para afrontar estos escenarios?
¿Cómo?*
- 2.3.5. *¿En qué plazos podría desarrollarse esa resiliencia? ¿Llevaría mucho retraso con el avance del deterioro ambiental o energético?*
- 2.3.6. *¿Qué sectores del turismo se verían más impactados por estas crisis?*
- 2.3.7. *¿Qué medidas se podrían tomar para mitigarlas?*

3. Preguntas personales sobre hábitos de sostenibilidad

- 3.1. *¿Incorpora en sus hábitos de vida criterios de sostenibilidad?*
 - 3.1.1. *¿Recicla?*
 - 3.1.2. *¿Usa transporte público de forma preferente?*
 - 3.1.3. *¿Es crítico en la selección de productos de consumo? Compra de productos locales, orgánicos, comercio justo; veto a productos provenientes de empresas sospechosas de malas prácticas*
 - 3.1.4. *¿Es la sostenibilidad un criterio a la hora de tomar decisiones referentes a sus vacaciones? Selección de destinos, actividades, alojamiento, medios de transporte ...*

4.2. ANÁLISIS DEL CAMBIO DE ESCENARIO. DEL ESCENARIO PRE-COVID AL ESCENARIO COVID. ARTÍCULO EN SUSTAINABILITY.

Tras la irrupción del COVID en el contexto global y su terrible impacto en el sector del transporte aéreo fue necesario reconducir la investigación, aunque se mantuvieron la cuestión teórica principal sobre la sostenibilidad del transporte aéreo y la sustantiva del análisis energético. Durante la fase pre-COVID de la investigación, ya se habían identificado una serie de limitaciones, dificultades y restricciones que imposibilitaban la evolución del paradigma energético actual de las aeronaves hacia otros más sostenibles, descritas en la ponencia “La rigidez del paradigma energético en el transporte aéreo” presentada en el “I Foro Internacional en Economía Circular, Eco-innovaciones y Turismo” de la UAM en octubre de 2019 (Jiménez-Crisóstomo et al., 2019):

- La situación de saturación del mercado en 2019, tanto en el tráfico como en la fabricación y pedidos de nuevas aeronaves.
- Los largos tiempos de diseño y desarrollo de nuevas aeronaves.
- Las limitaciones técnicas de las tecnologías emergentes.
- La necesidad de desarrollar y mantener altos estándares de seguridad.

Con el advenimiento del COVID cabía preguntarse si estas restricciones mantenían o reducían su aplicabilidad y si podrían aparecer nuevas restricciones.

Además, durante el segundo trimestre de 2020 aparecieron en el debate de la industria nuevas propuestas tecnológicas que ciertamente pueden suponer un cambio de paradigma en el sistema energético de la aeronave: las basadas en la utilización de hidrógeno (tanto para combustión en turbinas como para generación de electricidad a través de células de combustible) y en la utilización de combustibles sintéticos elaborados a partir de hidrógeno y dióxido de carbono secuestrado de la atmósfera o de procesos industriales.

Ambos escenarios fueron objeto de un análisis comparativo a partir de una profunda revisión de la madurez de las propuestas tecnológicas de cambio de paradigma energético, del mercado de la industria aeronáutica, del mercado del transporte aéreo y de la definición de requisitos de seguridad, previos y concurrentes con la pandemia. Dicho análisis se realizó a través de una revisión bibliográfica y metodología descrita anteriormente como pseudo-cuantitativa aplicada a los dos escenarios diferenciados.

Los resultados de este estudio se recogen en el artículo *“The Constrained Air Transport Energy Paradigm”* (Jiménez-Crisóstomo et al., 2021) publicado en *“Sustainability”* en marzo de 2021. El artículo se adjunta a continuación como contenido principal de este capítulo.

Este artículo también ofrece el núcleo de la respuesta a la segunda pregunta de investigación, Q2, (*¿Ha supuesto la crisis del COVID-19 un cambio sustancial en las expectativas de reducción de emisiones del transporte aéreo en el medio plazo?*) y progresa de forma casi concluyente en la respuesta a la pregunta Q3 (*Las nuevas propuestas tecnológicas que se debaten en el sector del transporte aéreo para mejora de eficiencia y reducción de emisiones, ¿son susceptibles de ser desarrolladas e implementadas en el medio plazo de forma que se consiga una reducción significativa de las emisiones en el transporte aéreo?*). La respuesta a estas preguntas permitirá la confirmación de la tesis principal (la aviación necesita apoyarse en los sistemas de comercio y compensación de emisiones para contener las mismas) como se indica en las conclusiones del artículo. El capítulo 4.3. aportará un refrendo metodológico definitivo a las respuestas a Q2 y Q3 y a la conformación de la tesis.

Como se confirmará en el artículo, la respuesta a Q2 es un inequívoco no, pues a pesar del brutal cambio de escenario que supuso el COVID, las rigideces que dificultaban el cambio de paradigma energético de la aviación o bien se mantienen o bien se han transformado en su naturaleza, pero siguen siendo limitantes. Por otra parte, las nuevas propuestas tecnológicas que se destacan en primavera de 2020 también están sujetas a problemas de baja madurez tecnológica y falta de infraestructuras de soporte y abastecimiento. Sirva la tabla 4.1. adjunta, extraída del

propio artículo, como resumen ejecutivo del análisis del cambio de escenario que soporta la respuesta a la pregunta de investigación Q2.

Tabla 4.1. Comparativa de las restricciones para el cambio de paradigma energético de la aviación en el escenario pre-COVID-19 y en el escenario 2020. Las restricciones evolucionadas se marcan en negrita.

	PRE COVID-19	2020
MARKET OUTLOOK	Constant growth in air transport demand & supply.	Demand recession and financial scarcity followed by slow/uncertain recovery. Supply adjusting behind. High percentage of fleet parked.
	Production lines saturated to honour long orders backlog.	Orders backlog stretched in time: less orders, less deliveries (cancellations and postponements).
	Long aircraft operating lives.	Early aircraft retirements (not replaced).
NEW AIRCRAFT DEVELOPMENT TIMES	Earliest introduction time around 10 years from now. Could include new engine architectures, but no energy paradigm change.	
	Significant introduction of A/C with energy paradigm change beyond two decades.	
TECHNOLOGY STRATEGY MATURATION NEEDS	Uncertainty in lead times increased due to new market conditions, financial distress and not yet defined technology roadmaps.	
	New engine architectures in demonstration phase.	
	Electrical and hybrid propulsion at early technology maturation phase.	Hydrogen and synthetic fuel at very early technology maturation phase.
TECHNOLOGY LIMITATIONS	New engine architectures provide a limited efficiency improvement (25-30% compared to 2000 levels).	
	Electric and hybrid limited to general aviation, some chance for regional.	
	Biofuels cost and feedstock size and resources consumption.	
		Hydrogen systems weight, infrastructure and safety.
SAFETY/CERTIFICATION	Working on electrical/hybrid certification base.	
		First electrical aircraft (general aviation) certified by EASA.
		No existing certification base for hydrogen aircraft.

El análisis que se hace en el artículo de las nuevas tecnologías debatidas en el transporte aéreo para reducir las emisiones y de su capacidad de conseguirlo en el medio plazo, muestra que la respuesta a la pregunta Q3 es también un no. En este caso cabe preguntarse si, a pesar de haber tratado de realizar el análisis de forma científica, no se podría estar introduciendo cierta subjetividad en el mismo. Por ello

tendrá gran importancia confirmar las respuestas a las preguntas Q2 y Q3 aportando un recurso metodológico adicional, como se describe en el capítulo 4.3.

Las respuestas negativas a las preguntas Q2 y Q3, aún pendientes de refrendo final en el capítulo 4.3., contribuyen fundamentalmente a asentar la tesis de la investigación, pues tras haber respondido a Q1 que no cabe esperar una situación de carestía de combustibles derivados del petróleo y tras verificar en Q2 y Q3 que la expectativa de un cambio de paradigma energético que propicie la reducción de emisiones está lejos, y que el COVID no ha supuesto un cambio significativo en las expectativas de reducción de emisiones, se confirma que la aviación necesitará externalizar a otros sectores la reducción de sus emisiones.



The Constrained Air Transport Energy Paradigm in 2021

Abel Jiménez- Crisóstomo ¹, Luis Rubio-Andrada ², María Soledad Celemín-Pedroche ^{3,*} and María Escat-Cortés³



Citation: Jiménez-Crisóstomo, A.; Rubio-Andrada, L.; Celemín-Pedroche, M.S.; Escat-Cortés, M. The Constrained Air Transport Energy Paradigm in 2021.

Sustainability **2021**, *13*, 2830. <https://doi.org/10.3390/su13052830>

Academic Editor: Luis Delgado

Received: 31 December 2020

Accepted: 2 March 2021

Published: 5 March 2021

Publisher's Note: MDPI stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



Copyright: © 2021 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

- 1 Department of Economic Structure and Development Economics, Autonomous University of Madrid, 28049 Madrid, Spain; abel.jimenez@uam.es
 - 2 Department of Applied Economics, Autonomous University of Madrid, 28049 Madrid, Spain; luis.rubio@uam.es
 - 3 Department of Business Organization, Autonomous University of Madrid, 28049 Madrid, Spain; maria.escat@uam.es
- * Correspondence: marisol.celemin@uam.es

Abstract: The increasing relevance of air transport as a contributor to climate change requires the development of emissions reduction technologies in a socio-economic and cultural context, where demand and air traffic have traditionally held sustained growth rates. However, the irruption of COVID-19 in 2020 has had an enormous negative impact on air travel demand and traffic volumes. Coincidentally, during 2020, new technology proposals for emissions reduction based on use of hydrogen and synthetic fuels have emerged from the aviation stake holders. By following a novel approach connecting the analysis of expectations of technology developments and their deployment into the fleet to market constraints, this study discusses how, even considering the new technology proposals and even if the COVID-19 has led to a completely different scenario in tourism and aviation, the air transport energy paradigm will remain unchanged in the upcoming decades as a consequence of market constraints, aircraft complexity, compliance with safety requirements, and extended life cycles. In this frame, aviation needs to keep on pursuing the abatement of its emissions while managing social expectations in a realistic manner and leaning on compensation schemes to achieve emissions contention while new technologies become serviceable in the longer term.

Keywords: sustainability; energy; air transport; climate change; emissions trade systems; COVID-19

1. Introduction

In fall 2019, sustained growth of air traffic was an undisputed assumption that was considered in all scientific studies about aviation sustainability [1–6]. At that time, the authors of this article analyzed the technological, market and safety constraints that prevented a radical change in the air transport energy paradigm. Evolution towards new energy paradigms consistent with a sustainable economic development while limiting climate change and other externalities is a strategic goal for policy makers, governments, and public administrations [7]. Said evolution is

factual for most economic sectors [8,9] and is also pursued in air transport through multiple technical initiatives: electrical aircraft, hybrid propulsion, development of biofuels, etc. [10]. Moreover, energy efficiency is of paramount importance for air transport, as the fuel bill represents the main cost to airlines, averaging 23.7% of their operating expenses during 2019 [11]. Improvements in energy efficiency have therefore a two-fold positive effect in the sector, simultaneously enhancing its sustainability and competitiveness.

CO₂ aviation emissions in 2019 ranged between slightly over 2% according to the International Aviation Transport Association (IATA) [12] and 2.8% according to the International Energy Association (IEA) [13], with the sector accounting for an overall 3.5% of the full anthropogenic climate impact [14].

The aviation sector's commitment to the Sustainable Development Goals (SDG) is explicitly expressed by the International Organization of Civil Aviation (ICAO) and it also explicitly refers to initiatives to reduce fuel consumption, the use of alternative fuels, improvement of operations, and deployment of market-based schemes, ultimately oriented at containing and reducing emissions in support of SDG 13 (take urgent action to combat climate change and its impacts) as well as other SDGs [15]. According to EUROCONTROL [16], awareness of the impacts of climate change in the sector is growing among its stakeholders, and the majority of them are already taking actions to adapt. Within its environmental strategy objectives, ICAO also aims at understanding and abating the impacts of noise and emissions that affect local air quality and health by developing environmental standards and recommended operational practices, which contributes to SDG 3 (ensure healthy lives and promote well-being for all at all ages) [15].

Irruption of COVID-19 during 2020 has led to a brutal reduction of air traffic [17,18] and has also affected aircraft production [19,20]. COVID-19 effects in aviation are being analyzed by academia. Airlines are attempting to minimize the erosion of long-developed market capabilities, route networks, and prior relationship of trust with customers [21]. Airlines need help to survive in the short term without discarding commitments toward decarbonization and a sustainable global economy [22]. Abate et al. [23] see an opportunity in conditioning government support to the adoption of operational models and technologies aiming at achieving social and environmental goals.

Gössling [24] identifies COVID 19 as a chance to rethink global air transport by challenging the current assumptions on which the sector operates (volume of growth, state aids, and unresolved environmental impacts), where a reduced supply would be an opportunity for airlines to increase profitability while yielding a more resilient aviation system.

Coincidentally, during 2020, aviation stake-holders, both institutional and corporate, have come up with new technology proposals for emissions reduction based on the use of hydrogen and synthetic fuels [25,26] backed up by European Union policy strategies on hydrogen economy development (a hydrogen strategy for climate-neutral Europe, [27], published in July 2020) as well as sustainable and smart mobility (Sustainable and Smart Mobility Strategy—putting European transport on track for the future, [28], published in December 2020).

In this complex frame, questions arise on whether the same constraints limiting the change in the aviation energy paradigm identified and analyzed in fall 2019 are still applicable in this new scenario subject to the impacts of COVID-19 and where new technology proposals have been postulated, and what the likelihood is of a revolutionary paradigm change in the upcoming decades.

The proposal in this paper is to respond to said questions analyzing the pre-COVID-19 and 2020 situations following a scenario study approach. In part 1, the pre-COVID19 scenario of sustained traffic growth and aircraft demand is assessed considering the technology proposals under discussion at the time. In part 2, an analysis will be done assessing how COVID-19 traffic downturn and uncertain market recovery together with the irruption of new technology proposals have changed the original scenario. In part 3, final conclusions will be captured, showing that in the new scenario, some of the original constrains have been relaxed, some other remain applicable, and some new others have been identified that keep limiting the ability to achieve a revolutionary change in the energy paradigm of air transport. Therefore, mid-term expectations and recommendations with regards to air transport sustainability do not fundamentally change, irrespective of the very different scenarios.

2. PART 1. Pre-COVID-19 Scenario, Fall 2019

2.1. Air Transport Demand Evolution and Projections

During the 60s and 70s, technical improvements in aircraft and infrastructure enabled air transport development to become a “mass production” system. Hernández [5] identifies social improvement elements like personal income growth, incorporation of women to the labor market, generalization of paid holidays, higher availability of leisure time, and increased longevity as key elements concurring with those technical improvements that allowed for the rapid growth of long distance tourism.

Upon the “Deregulation Act” in USA [29], air transport started a deregulation process evolving towards a free competition market. Business models were transformed, leading to a progressive and steady reduction in costs and prices. Low cost carriers proliferated, becoming key in granting access to air transport to the global public.

The Japan Aviation Development Corporation, JADC, World-Wide Market Forecast 2019–2038 [30] analyzes the motivations of international travellers in 2017, finding that 82% travel for leisure or visits to friends and relatives.

Scott and Gössling [31] identify a good correlation between tourism development and international air traffic arrivals. Based on that, Gössling, Hall, Peeters, and Scott [3] analyze tourism growth tendencies and identify three main vectors for the future: growing demand, long haul growth (expected to triple between 1995 and 2020), and shorter and more frequent holidays.

Gössling, Hall, Peeters, and Scott [3] discuss how the symbiotic growth of air transport and tourism is an indisputable paradigm in both sectors, and how there is no country intending to set limits to the number of visitors. Emission reduction measures rely exclusively on technology improvements. No strategies are envisaged to promote changes in tourists’ behavior or set limits to travel demand. Gössling and Cohen [32] also remark that emerging societal structures involve more travel (visiting relatives and friends, health and religion driven), which is not necessarily perceived as discretionary.

Ram, Nawijn, and Peeters [33] analyze travellers’ motivations, and identify the search of happiness through changes and novelties, which is catalyzed by the perception of creating distance from their routine. This leads to travellers’ consciously unsustainable behavior, covering bigger distances during their holidays. Higham et al. [34] conclude that voluntary approaches, such as voluntary carbon off-setting, are

viewed with widespread scepticism and will not be sufficient to induce a change in air travel practices so to achieve radical emissions reduction.

Larsen and Guiver [35] analyze how physical distance itself constitutes a psychological value to the traveller, as it represents getting away from their daily lives.

Air transport and tourism stakeholders agree on a scenario of traffic growth in the upcoming decades. Thus, annual air traffic is expected to double in the next fifteen years following the same pattern of the last 30 years [36]. Moreover, according to EUROCONTROL, operations and airport congestion are seen as one of the main aviation challenges for the next decades [16].

2.2. Air Transport Supply. Future Aircraft Demand Projections

The growing traffic context demands high aircraft production rates and improvements on operation efficiency to allow for airlines survival in a highly competitive environment with declining yield rates.

According to data from JADC [30], most of the air transport supply (measured in available seat kilometers—ASKs) is covered by airliners exceeding 120 seats (narrow- and wide-body jets).

During the last years, the aeronautical industry has followed a strategy of improving existing airliners as the A320—NEO (new engine option), family (EASA type certified in November 2015), and the B737 MAX (EASA type certified in March 2017). Aircraft manufacturers have avoided developing totally new aircraft with disruptive technologies and higher technical risk. In May 2019, Boeing orders on existing models accounted for 5764 aircraft, including 4550 units of B737-MAX, a model currently waiting for recovering its airworthiness approval, were revoked after the Lion Air accident in October 2018 and Ethiopian Airlines' in March 2019. Its competitor, Airbus, had in May 2019 an order booked of 7207 aircraft.

With current production rates close to the maximum productive capacity of their plants and their supply chain, this implies that in the next 10 to 12 years the production capacity would be fully occupied manufacturing existing models.

Boeing's market projections in 2019 [37] reflect new aircraft deliveries up to 2038 in 44,040 units (41,800 if regional aircraft are excluded). Airbus predictions in their 2019 Global Market Forecast [36] are slightly more conservative, quoting

37,390 aircraft to be delivered in the same period. Considering either of those predictions and the standing orders in May 2019, and considering current production rates, it can be observed that approximately one fourth to one third of new commercial aircraft entering into service in the next 20 years have already been ordered. Current production rates would hardly cover half of the predicted demand, so would need to be increased.

At the end of 2038, a significant number of aircraft already in service will remain operative (10,600 according to Airbus and 6620 as per Boeing predictions). The pre-existing fleet has a significant inertia to stay. Average aircraft operating lives have been very stable since 1993: around 20 years for widebodies and slightly higher for single-aislers, with freighters lasting an average of 30 years [37]. Analyzing data of existing aircraft and expected survival rates after 20 years, lives would need to be extended to 23.5 years according to Boeing data and to almost 30 according to Airbus'.

Technology enhancements supporting the next generation of aircraft will be based in new more efficient engine architectures, but still based in a combustion and reaction energy paradigm, such as UltraFan® or Propfan. Assuming optimistically entry into service of the first aircraft product featuring this technology in 2028 and making the ultra-optimistic assumption of all new aircraft (all segments, all manufacturers) produced in the second half of the prediction period featuring the new technology, at the end of the 20 years, only half of the new produced aircraft and approximately 40% of the total fleet would benefit from it. The UltraFan® technology is expected to yield a 25% specific fuel consumption reduction [38] with respect to 2000 levels (less than 1% per year). The alternative Propfan could yield up to a 30% specific fuel consumption improvement [39], but the integration with the aircraft will require longer technology maturation times. There are currently no expectations of Propfan applications entering into service in the next decade.

Development of new aircrafts relying on new technologies implies long-uncertain development times. Figures 1 and 2 show the development chronograms of the most recent brand-new design aircraft: Boeing B787 and Airbus A350.

Aircraft manufacturers carry out numerous concept design iterations while holding discussions with customers to determine the product specification [40]. Meanwhile, the manufacturers start to strategically align their key systems and parts suppliers. This is an iterative process of uncertain conclusion that takes years if not

decades. Even after a formal product launch, significant changes to the specification and the concept design may happen as a result of changes in customer requirements or technical difficulties arising during the design and development.

Usually, the new application is given a preliminary name when the project is formally launched, and the funding is committed. Eight years were elapsed between Boeing Dreamliner “baptism” in 2003 and 787 entry into service in 2011. Ten years was the time span between A350 programme launch in 2005 and its service start in early 2015.

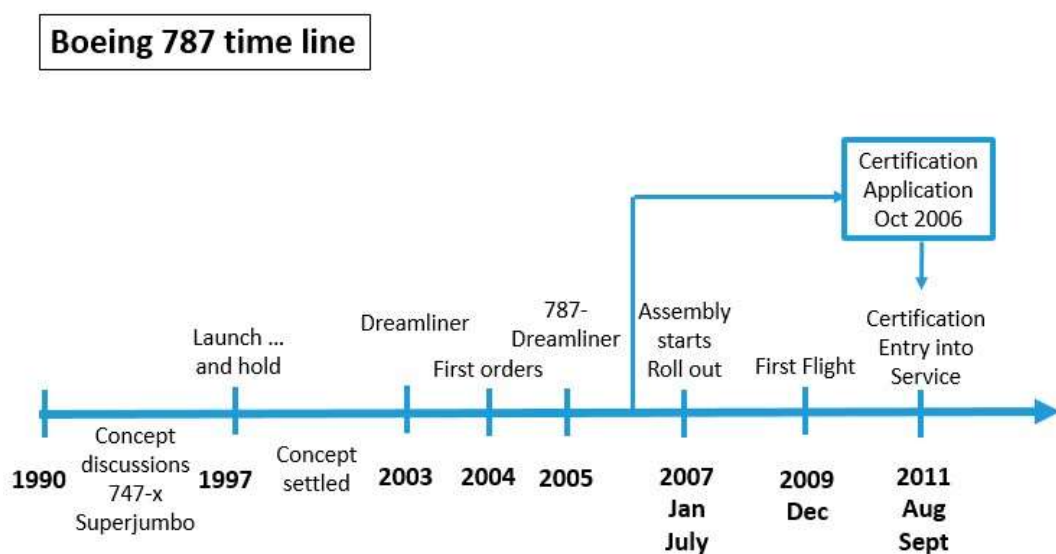


Figure 1. Boeing B787 development timeline.

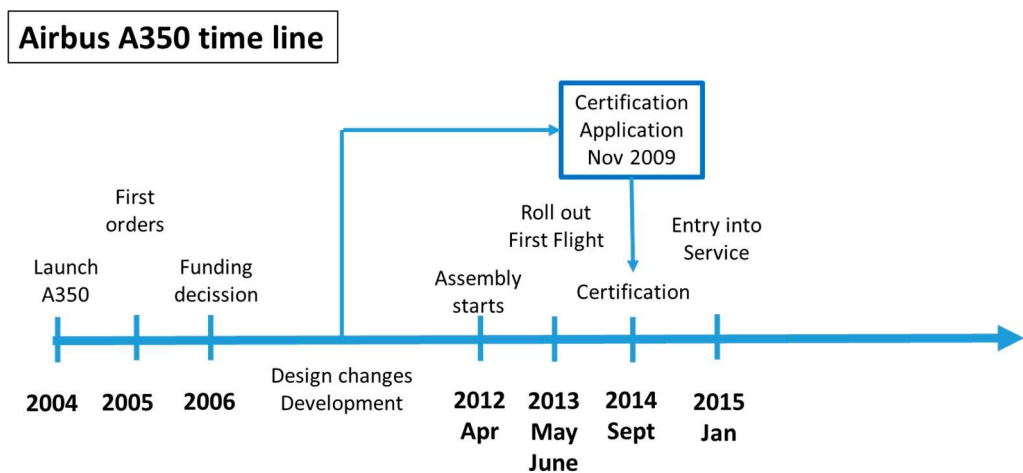


Figure 2. Airbus A350 development timeline.

In September 2019, the only “informally nominated” aircraft project susceptible of incorporation of new technologies was the Boeing 797, a midsize 250–270 passenger wide body that Boeing planned originally to get into service in 2025. However, the program was not formally launched nor funded beyond concept studies.

Another relevant aspect affecting the difficulty of taking a new aircraft design into service is the certification process and lead-time. Approximately five years are required to achieve aircraft type certification according to a well settled certification base. Application of revolutionary new technologies would require definition of a new regulatory body for a product where there is no previous in-service experience proving the safety of the new design and compliance criteria. This would extend new technology aircraft certification times, as the certification criteria will be developed lagging behind the maturation of those technologies. The number of technologies that concur in aircraft development, their different regeneration times, some of them extremely long—such as the engine, and the strict safety regulations lead to a low industry clockspeed [41].

It is therefore extremely difficult to predict scenarios of introduction of new sustainability oriented technologies in aviation. Even under very optimistic assumptions, the high inertia and stiffness of the aircraft market does not allow envisaging a scenario of significant fuel consumption and emissions reduction in the commercial aircraft fleet for the next 20 years.

2.3. Current Technology Developments. Expectations for Aviation Energy Consumption and Emissions Reduction.

Since 1960, aircraft technology developments have allowed for a reduction in energy intensity measured in megajoules per available seat kilometre of approximately 70% [42]. However, this tendency is becoming asymptotic as achieving marginal improvements in efficiency becomes more and more difficult. According to OPEC 2016 World Oil Outlook [43], aviation oil demand in 2015 was 5.8 million daily barrels, accounting for a 6% of global oil demand. Despite all aviation system efficiency improvements, the projected aviation oil consumption for 2030 was 7.5 million of daily barrels and 8.6 million in 2040. Aviation oil demand relative to global demand will evolve from a 6.2% in 2015 to a 7.9% in 2040.

Improvements in system efficiency can be achieved at three levels:

1. Operations and air traffic control. Nations have traditionally been very zealous to keep tight control on the air traffic in their airspace. This fact has limited along the years the progress towards more efficiently integrated multinational systems. EUROCONTROL is a pan-European, civil–military organization dedicated to supporting European aviation in air traffic management. EUROCONTROL promoted the SESAR (Single European Sky ATM Research) Joint Undertaking initiative [44], whose objectives are to triple the current European Air Space capacity, improve system safety by a factor of 10, reduce by 10% the environmental impact of each flight, and reduce air traffic management (ATM) costs by 50%. SESAR’s goals are not by themselves consistent with an aviation sustainability intent. Although the 10% reduction in environmental impact per flight suggests a commitment to an environmentally friendly aviation, these improvements would be by far exceeded by the impacts derived from tripling of the airspace capacity and the increase in air traffic demand motivated by the prices decrease consequence of the 50% reduction in air traffic management costs.
2. Aircraft improvements. Aircraft aerodynamic design is subject to continuous improvements granted by new design methodologies. However, in the last decades, these improvements are becoming marginal. Better aircraft efficiency is also achieved by reducing weight. Most recent generation aircraft (B787 and A350) achieved relevant weight reductions by a wide utilization of composite materials. B787 also pioneered replacement of pneumatic and hydraulic electrical systems [45,46], cutting some weight at the cost of new safety risks [47] and significant certification difficulties [48]. These evolutionary technologies provide modest marginal improvements in overall efficiency. More revolutionary aircraft concepts have been historically explored and are still subject to investigation:
 - (a) Blended wing bodies (BWB): the traditional aircraft configuration consisting of center cylindrical non aerodynamic fuselage lifted by aerodynamically shaped wings is far from being the optimum aerodynamic concept. There is a significant aerodynamic advantage in integrating wings and fuselage in a single lifting, reduced drag body. Potential fuel consumption savings can reach up to 27% [49]. The main technical

challenges of the concept are the difficulty of controlling the aircraft and the big central volume, which introduces complexity in the pressurization system and complicates compliance with emergency evacuation certification requirements. Customer perceptions potentially leading to concept rejection are also a concern, since the BWB can only feature a limited number of windows and because of the very large movements that the passengers close to the wing tips will experience [50].

- (b) Ekranoplanes: this aircraft concept relies on the so-called ground effect to generate higher lift per wing surface area, therefore increasing aircraft aerodynamic efficiency [51]. By flying very low over flat surfaces (water or snowed plains), the wings and ground form a fluid channel, increasing air flow pressure and, consequently, lift. Therefore, for a given wing surface, higher aircraft loads can be transported. Its efficient operation is therefore limited to environments and conditions where the ground flatness can be guaranteed, which invalidates this solution for a widespread commercial application. Additionally, the ekranoplanes suffer from important stability problems [51]. During the Cold War, the Soviet Union developed several ekranoplanes under military specifications. Boeing has also studied the concept [52]. Studies have been carried out that preliminarily identify potential exploitation niches for ekranoplanes, but confirm the difficulties of becoming a significant commercial traffic volume handler [53,54]. All the technologies discussed so far in this section, except the ekranoplane, were qualified by Peeters, Higham, Kutzner, Cohen, and Gössling [6] as technology myths, as at some point in time they have been described by industry and media as definitive solutions for aviation sustainability when, in reality, their viability is questionable and/or their sustainability impact is very limited.

3. Improvements in aircraft propulsion systems. Propulsion is the aviation discipline more intrinsically related to aviation environmental impact. Engine industry continuously works on turbomachinery enhancements, improving aerodynamics and the use of lighter materials capable of holding higher temperatures and stresses [50]. Historically, those enhancements have allowed for an average 1% efficiency improvement annually. Higher efficiency improvements require a

fundamental architectural change in the engine, but even with that, the average annual improvement of 1% is not expected to be exceeded, as the overall efficiency increase would have to be distributed along the time required to develop such architectural changes and their entry into service. There are currently two new engine architecture concepts at technology demonstration phase:

- (a) Propfan. This is an intermediate concept in between the propeller engine (turboprop) and the turbofan. It is particularly efficient for climb and descent, so it provides optimum performance for short and medium range flights. The Propfan presents huge technology challenges: very high noise levels, difficulties of integration with the aircraft, high vibrations, and high maintenance costs. The Propfan was already studied in the eighties by Pratt and Whitney and General Electric, but the investigation was abandoned upon a drop in oil prices [39]. Propfan technology is being developed in European Programs Clean Sky 1 and 2 [39]. However, there is currently no commercial aircraft program identified intending to apply this technology.
- (b) Turbofan with reduction gearbox and high bypass ratio. The introduction of a reduction gear box allows for optimization of the speed ratio between the front fan and its driving turbine, permitting the increase of fan size and yielding a higher propulsive efficiency. The main technical challenge is the reduction gear box itself, particularly for high thrust engines, where power transmitted could reach up to a hundred thousand horsepower. The concept was already developed by Pratt and Whitney for a mid-size engine in the Airbus A320 NEO (named Geared Turbo Fan—GTF) and has already been in service since 2016, more than 20 years after the concept development was started [55]. Rolls-Royce, within the Clean Sky 2 program, is developing an equivalent concept for large aircraft (Airbus A350 size), the UltraFan® [38]. Several ground test demonstrators will be run to finally install an engine on a flying test bed. The program aims at achieving the bulk of technology and architecture demonstration in 2023. The UltraFan® technology challenge is consistent with an expectation of entry into service within the next 10 years.

- (c) Electric propulsion. Electric motors are highly efficient, do not produce GHG or air polluting gases, and generate significantly lower noise levels than jet engines. Utilization of renewable energies in the aircraft requires a higher degree of systems electrification and use of batteries for energy storage. Current state of the art batteries offer a much lower energy intensity than kerosene, requiring 18 times the volume and weighting between 60 and 70 times more [56]. These ratios make a full electrical aircraft hardly viable, and its application can only be envisaged for short range, very low payload applications. Additionally, the integration of the propulsion electrical system in the aircraft implies dramatic changes in aircraft architecture. Aircraft capacity reduction induced by electrification and use of batteries can be analyzed through the payload-range diagrams. For a 162-passenger configuration, a Boeing 737–800 yields a range of 3000 nautical miles [57]. By simply replacing fuel weight by batteries, and assuming aircraft performances remain the same, applying the aircraft range equations for electrical aircraft derived by Hepperle [56], the resulting B737–800 range would be 73 nautical miles. In reality, such an aircraft would hardly be able to take off, as the equations are only valid for operations where most of the energy consumption happens during a long cruise leg, so the consumption during the other phases is considered negligible. The energy allowing for a cruise flight of 73 miles would not be enough to perform a take-off and climb to cruise level. Replacement of payload by batteries to get extra range would yield very little benefit and would require a different aircraft design, contrasting with the flexibility of the traditional fuel aircraft, where payload can be traded by fuel by simply limiting aircraft loading or introducing cabin configuration changes. This simple example illustrates the unviability of pure electrical aircraft for typical commercial airliners. Hepperle [56] studied the viability of regional aircraft (Do 328 turboprop) powered by batteries to conclude that current energy intensity levels (around 180 Wh/kg) would need to be factored by more than 10 (2000 Wh/kg) to nearly match the current aircraft production capacity. It is not likely that this could happen in the next 20 years while simultaneously integrating that technology in a safe and certifiable aircraft.

The viability niche of electrical propulsion in aviation is closer to personal and urban transportation, with small payloads and ranges.

- (d) Hybrid propulsion partially mitigates the problem of battery weight by distributing the system energy capacity among fuel feeding, a gas turbine, and batteries. Fuel is burnt in the gas turbine that drives an electric generator, which provides electricity for batteries loading. Batteries feed the electric motors that provide aircraft propulsion. During take-off and climb, the electric motors consume battery electricity exceeding the generator charging capacity. Battery load is recovered during cruise. Hybrid propulsion extends the viability range (in terms of payload—range combinations) of pure electrical propulsion [56]. However, its higher degree of complexity requires longer development times. Airbus and Rolls-Royce are partnering up in developing this technology in the E-Fan X program [58].

4. Alternative fuels. Benito and Benito [59] reviewed the different fuels that have been considered in aviation alternatively to kerosene. Investigations have been carried out about hydrogen applications and even small nuclear reactors. Both concepts are highly energy efficient but are not viable in the mid-term due to safety, logistic, and storing concerns. Biofuels are the most viable alternative to kerosene. They offer three main advantages:

- Regeneration capacity.
- CO₂ emissions during production process and final combustion are partially compensated during their vegetal life.
- Drop-in capacity: biofuels can be fed into the existing aircraft fuel systems and engines, although the mixing ratio shall be controlled and traced.

First generation of biofuels was obtained from traditional crops, many of them for human feed: sugar cane, corn, palm, and soy. Use of alimentary crops was a matter of criticism; therefore, a second generation of biofuels based on lignocellulosic and non-alimentary vegetal oils (jatropha or cameline) was developed. Criticism still remained, as these crops could displace alimentary species from croplands [60]. Benito and Benito [59] remark that the extension of cropping land required to produce biofuels for full aviation coverage will be four times the surface of Spain.

A third generation of biofuels is produced from algae cropping, avoiding competition with alimentary cropping lands. Algae grow rapidly, consuming high amounts of CO₂ and producing higher quantities of oil than land crops. They grow in fresh and salty water, and even in wastewater (rich in carbon content).

Biofuels development is hindered by their production costs, ranging from seven to 11 times that of kerosene [61]. Productions today are evolving from laboratory size facilities to small production plants.

The European Union, in their Biofuel Flight Path program [62], fixed an objective to utilize 2 million tons of biofuels in aviation in 2020. Compared to the aviation oil consumption projection of 6.3 million barrels, it turns out that biofuels would only cover 0.6% of the global annual aviation consumption.

In conclusion, high biofuels costs and limited production capacity do not allow for a massive replacement of traditional fuels but can offer a partial mitigation of aviation emissions.

2.4. Aviation Emissions Trade and Compensation Schemes.

The aviation community has developed attempts to implement emissions trade and compensation systems leaning on transversal compensation systems. The international character of aviation is a handicap for the implementation of said systems, as they need be applied globally to be fully efficient and not to create competition asymmetries.

Since 2010, the International Civil Aviation Organization (ICAO) has pursued implementation of a Market Based Measurement (MBM) scheme for international aviation seeking concurrence with United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) objective of achieving stabilization of greenhouse gas (GHG) concentrations in the atmosphere and compliance with the mandate from Kyoto Protocol (1997) to reduce aviation greenhouse gases emissions (see ICAO general assembly resolutions A37-19 [63] from 2010 and A38-18 [64] from 2013).

It was during general assembly 39, in October 2016, that resolution A39-3 [65], was issued, initiating the implementation of a global plan of compensation and trade of carbon emission rights for the international aviation. The Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation (CORSIA) was intended to be effective starting 2021 and was subscribed to by 66 nations covering 86.5% of

international traffic. CORSIA implementation follows a phased approach, evolving from voluntary to compulsory adherence and considering some particular exceptions.

Resolution A39-3 [65] also defines the rules applicable to emissions measurement and register, as well as governance mechanisms. It also states that emissions units generated from mechanisms established under the UNFCCC and the Paris Agreement are eligible for use in CORSIA.

During 2019, the first emissions measurements were carried out, aiming at setting the reference scenario for 2020 and initiating the control phase in 2021.

While providing a powerful mechanism for compensation of emissions, the predicted impact in airlines costs according to ICAO [66] ranges between 0.2 to 0.6 per cent of total revenues from international aviation in 2025, and 0.5 to 1.4 per cent of total revenues from international aviation in 2035. Moreover, the expected impact in ticket prices is not expected to exceed a 0.3% increase [67], so the estimated impact in demand levels is deemed to be negligible.

2.5. Conclusions of Part 1.

Air traffic growth predictions assumed by private and institutional agents are based on historical data and in deep analysis of supply and demand patterns.

Tourism accounts for most of the air traffic demand. Authors like Hall [4], Ram, Nawijn, and Peeters [24] and Larsen and Guiver [35] recommend a change in demand patterns or even to impose limits on the supply side in an attempt to contain global air traffic growth and its externalities. This recommendation has recently entered into the social (flight shame—Gössling et al. [68]) and political debates (limitations to internal flights, application of green taxes on aviation, etc.). However, it is unlikely that in the mid-term air traffic demand growth will be significantly contained, since it is accepted and accounted for in future planning, by not only aviation and tourism agents, but by economic, institutional, and political stakeholders in general.

Supply will need to adapt to the growing demand, and the industry will have to produce aircraft at higher rates while improving their efficiency in order to reduce operational costs. Industry ability to introduce revolutionary aircraft changes aiming at GHG emissions reduction in this context is very limited.

In the next 20 years, only a modest part of the fleet growth will benefit from the advanced engine architectures, which will yield an improvement of fuel consumption of 25% to 30% relative to 2000 levels. It is therefore urgent that the technology demonstrators supporting these architectures are concluded and that the private–public collaboration frame is further developed to support their introduction into service in the shortest possible time frame.

Electric and hybrid technology application in aviation will require a significantly longer development time and will be limited to payload–range combinations that will not exceed those of regional aircraft. Early involvement of certification authorities is required in order to define the applicable certification frame.

Aircraft operations and traffic management improvements also have a limited potential for emissions reductions, likewise biofuels.

Aviation will, in the mid-term, enjoy availability of oil-based fuels. Consumption will grow with traffic and will drive the sector into a relatively more noticeable oil consumer and emissions generator role.

Agents of aviation and tourism will manage expectations about aviation emissions in a more realistic way, stressing the socio-economic importance of air transport.

The aspiration of air transport stabilizing its emissions needs to rely on compensation and trade schemes that allow the externalization of their compensation. This fact has been acknowledged by the aviation industry a long time ago, but only recently has the ICAO managed to define CORSIA, which is not yet in its executive phase.

3. PART 2. 2020 Scenario: COVID-19 and New Technology Proposals.

In part 2, the authors analyze the effects of COVID-19 on the air transport market and how these have led to a new/alternative scenario with changes in air traffic demand and aircraft production predictions. Coincidentally, along spring and fall 2020, aviation stake holders have unveiled new technology development strategies that, together with the COVID-19 impact, form a new scenario, which is assessed by comparison to the original pre-COVID-19 one.

3.1. Impacts of COVID-19 on Air Transport Demand. Expectations for Recovery

COVID-19 has caused an unprecedented crisis in air transport. Its effects started to be noticeable from the beginning of 2020. According to ICAO [18], overall traffic decline in 2020 will range between 53% and 59%. Figure 3 shows the deep decline in passenger numbers and capacity offered, starting in February 2020, bottoming down in April–May 2020 (total flights accounted for 29% and 28%, respectively, with respect to 2019 levels), and slightly rebounding in June 2020.

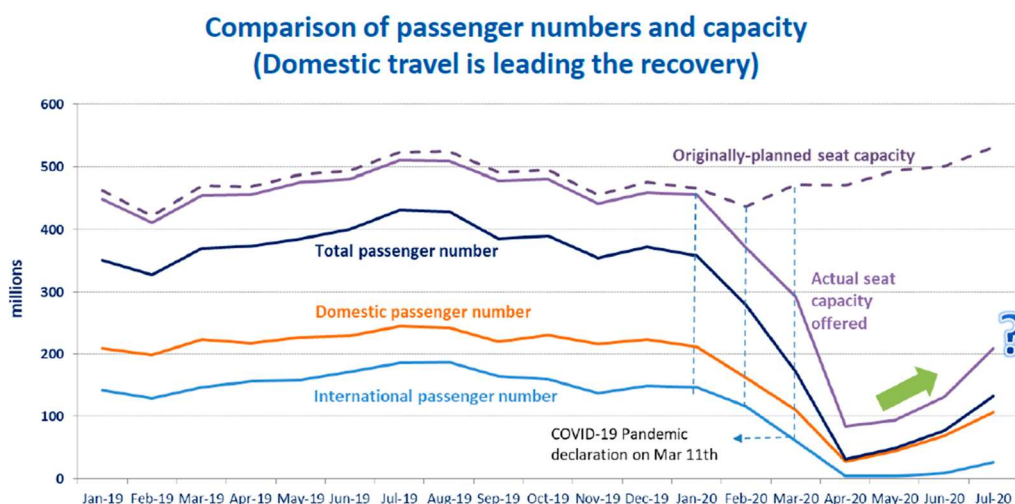


Figure 3. Drastic capacity and demand drop in 2020 due to COVID-19. Source: “Effects of Novel Coronavirus (COVID-19) on Civil Aviation: Economic Impact Analysis.” [18]. Reproduced with permission from ICAO.

Traffic recovery is uncertain, depending on:

- Evolution of the disease: expansion, intensity, and duration.
- Travel restrictions and bans imposed by governments.
- Traveler perceptions of risks associated to air travelling (infection or getting stranded at destination).
- Health and safety prevention measures adopted by the air transport stakeholders.
 - Market structural changes. Extension of the second wave of the pandemic during fall 2020 is likely to add to the number of airlines that went bankrupt during the first wave [69,70]. Airports Council International (ACI) warned in October 2020 of 193 European airports (mainly regional) facing insolvency in the following months [71]. As a consequence of the pandemic, governments are supporting their aviation sector under different schemes, including nationalization or state equity in some cases [23].

International traffic has been more severely affected than domestic, and its recovery is predicted to be slower. Domestic traffic's higher resilience is explained, because more than half of the world domestic traffic originates in China (first nation tackling COVID-19) and North America (the US experienced a quick recovery after April).

Regarding international traffic, since the pandemic started, planned operations have been subject to progressive withdrawals, creating a growing gap with respect to actual ones. In April 2020, global international passenger capacity experienced an estimated 94% reduction.

Private corporations need to define the right sizing to allow survival through the recession and a competitive position to afford traffic recovery afterwards. Scenario planning is the most adequate tool for this situation. ICAO [18] has simulated two potential recovery scenarios with two recovery paths each, none of which consider a full recovery by the end of 2021. Industry stakeholders' expectations [72,73] are that returning to 2019 traffic levels may happen in 2023 or 2024. The Air Transport Action Group (ATAG) considers in its WAYPOINT 2050 report [14] three alternative scenarios, where the central one would yield a traffic compound annual growth rate (CAGR) of 3% between 2020 and 2050, yielding a 16% decrease in expected 2050 traffic with respect to their pre-COVID predictions. Low and high scenarios range from a 2.7% CGAR (protectionism deepened scenario) and a 3.3 CAGR (return to globalization scenario). In spite of the uncertainty, the recovery of the traffic growth trail is a widely accepted scenario within the sector. Boeing [74] predicts a 4% CAGR for the 2020–2039 period, while the Japan Aircraft Development Corporation (JADC) assumes a 4% growth rate once an initial “asymptotic recovery” period towards the steady growth trail is completed [75]. Domestic and short-haul markets are forecast to recover more rapidly than international flights [74,75] and airlines have been consequently adapting their networks to this frame [76,77].

While recovery is completed, corporations are fighting for their economic survival, so the social debate on air transport sustainability has moved to the background of the scene. However, governments and civil society are identifying this crisis as an opportunity for providing a push to aviation sustainability. Since corporations are in need of public support to survive, some governments will grant these aids conditioned to embracing sustainability commitments [78,79].

3.2. Air Transport Supply and Future Aircraft Demand Projections in the Wake of COVID-19

The uncertainty in the future market scenario makes it extremely difficult to produce consolidated aircraft production and fleet predictions.

Boeing and Airbus traditionally publish their long term (20 years) market forecasts in summer (late June for Boeing Commercial Market Outlook—CMO and September for Airbus Global Market Forecast—GMF). In 2020, Boeing just managed to publish a sketchy CMO [74] in October 2020, and there are no signs of Airbus 2020 GMF.

Analyzing the order books of both companies in July 2020, Airbus accounted for 7539 aircraft ordered and yet to be delivered. Since 2020 started, 369 orders have been issued and 67 orders have been cancelled, yielding a net 302 new orders. Aircraft deliveries in this period are limited to 245 [80]. Compared to the May 2019 situation depicted in part 1, it can be observed that despite the relative low number of orders and the numerous cancellations, the orders backlog has increased from 7207 to 7539. This is explained by the very low number of deliveries, 245 for seven months. Airbus is negotiating with customers' postponement of aircraft deliveries in an attempt to avoid cancellations [81]. Airbus is also curtailing their production rates and downsizing their staff [20].

Boeing unfilled orders in July 2020 account for 5185 aircraft (4496 if ASC 606 accounting standard criteria are applied). The 2020 year to date gross orders are limited to 59, and the year to date deliveries account for 74 aircraft. Boeing's orders backlog has experienced a significant drop with respect to 5764 aircraft orders in May 2019. This is due to the combination of COVID-19 effects and the inability to conclude B737-MAX recertification and re-entry into service [82] that led to numerous cancellations (366 in 2020). B737-MAX orders have decreased from 4550 in May 2019 to 4127 in July 2020 [83].

The aircraft production scenario has changed very significantly since fall 2019. In consequence:

- The existing orders delivery schedule will expand in time. The part 1 prediction of 10 to 12 years of full occupation of production capabilities to cover the orders backlog in May 2019 is now going to be extended, as the airlines will negotiate

postponement of deliveries or even cancel their orders, and as the production rates are already significantly reduced.

- Active aircraft operating lives will be extended. Although the global operating fleet downsize has accelerated the retirement of older and less efficient aircraft [73] and so reduced the average age of the operating fleet, this younger fleet will be operated with lower intensity, therefore requiring longer amortization times. There will be no pressure for early replacements.
- The current delivery rates would hardly satisfy the 2019 predicted renewal rates, thus leaving no room for growth unless the lives of the existing fleets are extended.

The 2019 analysis in part 1 showed how delivery commitments in existing order books and a saturated production capacity were significant constraints to the introduction of revolutionary changes in the air transport energy paradigm. In the new COVID-19 affected scenario, the constraint of the delivery commitments is still applicable and may imply an even longer time span for delivery of the existing orders with aircraft of existing technology. On the other hand, production capacity is not saturated any longer. However, this does not imply that spare engineering and manufacturing resources will be available for affording lengthy and costly technology development and demonstration processes. On the contrary, financial struggle caused by demand plunge is forcing aeronautics manufacturers to undertake cost reduction measures and capacity downsizing that are hampering their ability to proceed with research projects and to launch new aircraft products. Additionally, the uncertainty of the future market implies a severe difficulty for aircraft manufacturers to make decisions about which new products should be launched, in what timeframe, and which technologies should be incorporated. Moreover, the uncertainty raises doubts about market capability to host and achieve a significant deployment in the fleet of a new product.

Manufacturers are seeking institutional support to financially survive the crisis in demand while keeping the capabilities to engage with the recovery in 2021. Expectations for an earlier recovery of domestic and short haul markets are already dialed in manufacturers predictions for fleet renewal and growth, enlarging the traditional difference between expected narrow-body and wide-body production rates [74,75].

Institutional support is also required to keep progressing on the technology development programmes aiming at improving aircraft sustainability and efficiency, maintaining the expectation of a significant deployment of aircraft with enhanced propulsion systems (UltraFan® and potentially Propfan at a later stage) in the midterm. In a limited traffic growth scenario, the efficiency improvements offered by these architectures become more relevant and might be enough to achieve fleet emissions' neutral growth.

3.3. Technology Development Strategies Evolution in 2020

Chapter 4 of part 1 discussed the technology developments with potential for aviation system energy consumption reduction. Parallel to COVID-19, some significant events and strategy changes have occurred, affecting the plans to develop said technologies.

1. Air traffic control. In their European Networks Operations Plan. 2020 Recovery Plan, EUROCONTROL [84] calculates the impossibility to derive a full year traffic forecast as well as consistent and specific air traffic improvement goals. A generic intent to improve overall performance by minimizing air space utilization constraints, allowing for optimization of trajectories, is declared and applied, allowing for distance flown savings up to 26,000 NM per day. Recommendations to use advance navigation capabilities and continuous descent operations are also issued.
2. Aircraft improvements. The pressure to achieve marginal aerodynamic, system, and weight improvements still stands. New discussions about changes in aircraft architecture have been triggered by the surging interest in hydrogen powered aviation that will be discussed later. In September 2020, Airbus has revealed three zero emissions concepts relying on hydrogen combustion, one of them being a blended wing body [26].
3. Improvements in aircraft propulsion systems. The debate about the most adequate revolutionary propulsion system has significantly changed its direction since fall 2019.
 - (a) Propfan. After running some engine demonstration tests started in 2017 in the frame of Clean Sky 1 (open rotor concept), subsequent aircraft integration viability analyses have been carried out within the Clean Sky 2 program, aiming at their conclusion in 2020 [85]. However, there is not

currently a program decision to introduce the open rotor in a flight demonstrator.

- (b) Turbofan with reduction gearbox and high bypass ratio. Development of the UltraFan[®] engine technology demonstrator led by Rolls Royce has continued during 2020 within Clean Sky 2. Manufacturing of the first engine parts have started, and design is intended to be frozen in 2020 [85] to run the first ground test demonstrator in 2021. Simultaneously, engine–aircraft integration definition is being progressed, and readiness for flight test in Rolls Royce B747-400 flying test bed is being worked out. Therefore, despite the global financial and economic trouble, the UltraFan[®] program progresses firmly. Since engine–aircraft integration within Clean Sky 2 is done partnering up with Airbus, opportunities to introduce UltraFan[®] engine technology in potential

new Airbus developments are maximized. Additionally, in January 2020, Boeing announced a clean-sheet re-evaluation of the B-797 project, which will allow for UltraFan[®] technology maturation before program launch. These events further confirm part 1 conclusion regarding feasibility of UltraFan[®] engine technology application in a significant part of the fleet in the next decades.

- (c) Electrical and hybrid propulsion. In June 2020, EASA issued the first Type Certificate to a fully electrical aircraft: the Pipistrel VELIS Electro [86]. This is a general aviation two-seater with a payload of 172 kg and an endurance of 50 min. In April 2020, Airbus and Rolls-Royce took the decision to bring the E-Fan X hybrid propulsion demonstrator, launched in 2017, to an end. Both manufacturers reckon that the demonstrator has generated key knowledge about real potential and limitations of hybrid electric propulsion as well as for setting the basis for a regulatory framework. These events reinforce the conclusions reached in part 1 regarding the limitations in the applicability of electric or hybrid propulsion to commercial airliners and their suitability for personal/general aviation applications.

4. Alternative fuels.

In December 2019, the European Union presented “The European Green Deal” [87], resetting “the Commission’s commitment to tackling climate and

environmental-related challenges that is this generation's defining task." It is a new growth strategy where economic growth is decoupled from resource use and where the goal is set to produce zero greenhouse gases emissions in 2050. This comprehensive strategy includes policies for clean energy, clean industry embracing circular economy, building and construction, smart mobility, food industry, preservation of ecosystems, and air pollution. The Green Deal has created the frame to identify synergies and integrated strategies among different sectors. In early July 2020, the European Union presented "A hydrogen strategy for a climate-neutral Europe" [27], where hydrogen is identified as a key element to achieve the European Green Deal goals, as it can be used as feedstock, fuel, or energy carrier/storage, and has many applications across the industry, transport, power, and building sectors. Investment in hydrogen is considered critical for recovery from the COVID-19 crisis. The report identifies hydrogen as a potential long-term option to decarbonize aviation.

Simultaneously, McKinsey and Company published the study "Hydrogen-powered aviation" [25] procured by the Clean Sky 2 and Fuel Cells and Hydrogen 2 (FCH2) Joint Undertakings under the H2020 Framework Program. The study advocates for hydrogen to be a major part of the future propulsion technology mix. Both fuel cell based or liquid hydrogen (LH2) combustion turbines solutions (or even hybrid) are considered suitable, depending on aircraft size and range. This is a fundamental change in the decarbonization strategy of European aviation stakeholders, moving the focus from electric and hybrid electric propulsion strategies to hydrogen-based technologies. However, further investigation on aircraft systems electrification is needed in order to integrate it with LH2 fuel cells.

Use of hydrogen in aviation has been explored in the past. Sürer and Arat [88] reviewed the attempts of hydrogen use in aviation along history. Since 1956, multiple demonstrators have been developed and flown. All direct combustion demonstration programs were no further progressed into production developments. Hydrogen fuel cellbased demonstration applications have been limited to unmanned or very small aircraft.

The McKinsey study [25] concludes on the feasibility of LH2 aircraft, with estimated entry into service in 2030–2035, for short range applications (165 passenger—2000 km range), achieving a 100% decarbonization and 75% climate impact reduction. This aircraft would feature a combined fuel cell system driving

electrical motors for cruise operation and direct LH2 burning turbines for take-off and climb. A significant deployment of LH2 aircraft in the world fleet in 2050 timeframe requires first achieving sufficient progress in the aircraft technology enablers and developing an integrated ecosystem to ensure LH2 production and distribution. The main technology challenges are in the required energy density of LH2 tanks (need to double current state of art from 6 to 12 kWh/kg), in the required power density of fuel cell systems (need to multiply current values by a factor of 2–3 to achieve 2 kW/kg), and in cryogenic fuel system safety, reliability, and durability. The strategy to pursue use of LH2 in commercial airliners has been further confirmed by Airbus announcements presenting up to four different hydrogen based aircraft concepts [26,89] and by the European Commission in the “Sustainable and Smart Mobility Strategy” [28] published in December 2020.

Gaining confidence in new technologies to finally bring them into service solutions requires making them progress through the technology readiness ladder, fulfilling a sequence of phased maturity levels (technology readiness levels—TRLs), following a NASA methodology [90]. Developing and maturing new technologies has been identified as a relevant schedule risk in complex systems development [91]. The lack of technology maturity or technology uncertainty corresponding to low technology readiness levels implies a higher schedule slippage risk in systems development, close to 100% of the original schedule for complex projects. When new aircraft programs are to be launched, the technologies used should have already attained high technology readiness levels. Otherwise, the uncertainty of low readiness technologies will hinder program schedule. Combining this with the discussion about new aircraft programs duration in part 1, where it was concluded that a brand new aircraft design with high technology maturity levels at program start takes between nine and 15 years to develop, it is extremely unlikely that in a 15 year timeframe there will be a certified, ready to entry into service hydrogen airliner suitable for being significantly deployed in the world fleet.

The McKinsey report [25] also analyzes the viability of green synthetic fuels compared to the LH2 alternatives, concluding that synthetic fuels can provide better performances than hydrogen solutions for large/long range aircraft. The focus on drop-in fuels alternative to kerosene is moving from biofuels to synthetic fuels. Synthetic fuel production is between two and three times more energy intensive than

hydrogen, so the long-term expectation is that synthetic fuel will exceed in 32% current kerosene-based costs for available seat kilometer, for only 25% for LH2.

Within this frame, the European Union is setting up the Future European Partnership on Clean Aviation Under Horizon Europe [92], a Joint Undertaking providing continuity to Clean Sky 2 work while strongly encouraging and promoting innovation in disruptive technologies for hybrid electric regional, ultra-efficient short, and medium range and hydrogen powered aircraft. Its goal is to develop enabling technologies up to 2030 for revolutionary aircraft concepts entering into service in 2035 to 2040. The strategic research and innovation agenda (SRIA) [93] on which it is based describes the milestones to progress through the technology readiness, ultimately requiring flight demonstration to integrate solutions at real scale and address compliance with safety and operability requirements to achieve TRL6 (demonstration under real type operational conditions at real scale). The SRIA acknowledges the very low TRL level starting point in some LH2 enabling technologies, both for on-board application and infrastructure related. This implies a severe schedule risk to achieve the intended targets in time. Financial scarcity risk will be partially mitigated by provision of additional funds from the Next Generation EU recovery plan to research and innovation activities through the Horizon Europe program [94]. However, low TRL levels of emerging technologies, together with a yet not defined and fully funded multisectorial roadmap and the current financial distress of aeronautic companies will extend technology and even aircraft development lead times, introducing uncertainty in the time scales for extended availability of efficient emissions reduction solutions.

3.4. Aviation Emissions Trade and Compensation Systems in 2020.

During the 40th General Assembly in October 2019, ICAO issued resolution A4019 [95], defining the mechanism for adjusting the CORSIA scheme design to evolving circumstances.

In June 2020 the ICAO Council agreed to provide a clear safeguard to the CORSIA. CORSIA baseline emission targets were initially intended to be calculated based on an average of 2019 and 2020 emissions. The dramatic drop in 2020 traffic would consequently reduce the baseline level, potentially imposing an economic burden for airlines on their way to recovery during CORSIA pilot phase in 2021 to

2023. It was therefore agreed to use the value of 2019 emissions for 2020 emissions. Further revision of CORSIA is expected during the 2022 assembly.

It is not expected that compliance with CORSIA will imply any difficulty on the way to traffic recovery, as this will remain lower than the baseline 2019 levels for the whole pilot phase.

CORSIA adjustment mechanisms allow for its fair adaption to market conditions such as those derived from the current pandemic, where the no emissions growth target is naturally achieved by the traffic decay.

4. PART 3. Comparison of Scenarios and Final Conclusions.

4.1. Comparison of Scenarios: Pre-COVID-19 vs. 2020 (COVID-19 Effect and New Technology Proposals)

Although the COVID-19 crisis has dramatically impacted air traffic demand and future predictions, putting on hold the well settled assumptions of sustained traffic growth for the next decades, the commitment of the sector to become more sustainable, and, in particular to reduce the greenhouse gas emissions to mitigate climate impact, still remains. Moreover, institutional support to operators and manufacturers is in many instances conditioned to development and adoption of climate impact contention technologies. Private entities need public support to embrace this opportunity, as their own resources will necessarily be used to cope with financial challenges derived from revenue plunge.

Drop in air traffic demand has also affected aircraft production and delivery rates. A wake of cancellations and delivery postponements is forcing aircraft and systems manufacturers to downsize their production capacity. Even if pressure in production is relaxed, financial trouble will hinder manufacturers' capacity to embark on new products and technology developments in an uncertain market that might have difficulties absorbing them.

Therefore, despite the institutional support, for both pre-COVID-19 and 2020 scenarios, market conditions do not favor the transition to a revolutionary aviation energy paradigm change. In the pre-COVID-19/sustained growth in demand scenario, the market constraint was in the combination of long aircraft order books, long operating lives, saturated production capacity, and long product development

times. In the 2020 scenario, with deep and long demand decay and uncertain recovery, the market constraint changes, but does not move away. Even if order books are shrinking, the delivery times are expanding, and production capacity is being adjusted to the required production rates. Moreover, financial trouble becomes an additional constraint.

From the technology development standpoint, in the 2020 scenario, high confidence remains in the development of new propulsion platforms with classical combustion and reaction principles in the mid-term, namely the UltraFan®.

Regarding more revolutionary changes, European industry and institutional focus is evolving from electrical and hybrid technology propulsion in the pre-COVID-19 scenario to liquid hydrogen (LH2). This is the result of progress made in the understanding of electric and hybrid real capabilities and a consequence of the synergies identified with other non-aviation European research initiatives focused on the use of hydrogen. Even if the technology focus has changed, in both scenarios the technologies under investigation are very far away from demonstrating their viability for an airliner service introduction and for a significant deployment in the world fleet to support a relevant reduction of emissions. Moreover, on top of aircraft changes, a complete redefinition of the aviation eco-system would be required (infrastructure, logistics, operations, etc.).

Although evolved, the constraints for an energy paradigm change in aviation are still very significant. Figure 4 offers a comparison of the applicable constraints between the pre-COVID 19 and the 2020 scenarios. Said constraints are related to:

- Market outlook
- Development times for new aircraft models
- Technology strategy maturation needs
- Technology limitations
- Safety and certification

	PRE COVID-19	2020
MARKET OUTLOOK	Constant growth in air transport demand & supply.	Demand recession and financial scarcity followed by slow/uncertain recovery. Supply adjusting behind. High percentage of fleet parked.
	Production lines saturated to honour long orders backlog.	Orders backlog stretched in time: less orders, less deliveries (cancellations and postponements).
	Long aircraft operating lives.	Early aircraft retirements (not replaced).
NEW AIRCRAFT DEVELOPMENT TIMES	Earliest introduction time around 10 years from now. Could include new engine architectures, but no energy paradigm change.	
	Significant introduction of A/C with energy paradigm change beyond two decades.	
TECHNOLOGY STRATEGY MATURATION NEEDS	Uncertainty in lead times increased due to new market conditions, financial distress and not yet defined technology roadmaps.	
	New engine architectures in demonstration phase.	
	Electrical and hybrid propulsion at early technology maturation phase.	
		Hydrogen and synthetic fuel at very early technology maturation phase.
TECHNOLOGY LIMITATIONS	New engine architectures provide a limited efficiency improvement (25-30% compared to 2000 levels).	
	Electric and hybrid limited to general aviation, some chance for regional.	
	Biofuels cost and feedstock size and resources consumption.	
		Hydrogen systems weight, infrastructure and safety.
		Synfuel cost and infrastructure
SAFETY/CERTIFICATION	Working on electrical/hybrid certification base.	
		First electrical aircraft (general aviation) certified by EASA.
		No existing certification base for hydrogen aircraft.

Figure 4. Comparison of aviation energy paradigm change constraints in the PRE-COVID-19 and 2020 Scenarios. 2020 evolved or new elements marked in bold.

The major evolutions in 2020, after COVID, are related to demand recession and financial scarcity, uncertainty in market recovery, production capacity adjustments, orders backlog stretched in time, hydrogen aircraft and synfuel technology proposals, and the first electric aircraft certification, as can be seen in bold font.

4.2. Final Conclusions.

This paper examines the constraints limiting the ability of the air transport sector to implement radical changes on the aviation energy paradigm aiming at enhancing its sustainability. Two scenarios have been assessed: a traditional

scenario of continuous traffic growth (pre-COVID-19) and a COVID-19 impacted scenario (2020) with a deep sink in demand and uncertain recovery. In both scenarios, severe constraints apply that prevent a radical change in the aviation energy paradigm for the next decades. Aircraft development times, compliance with safety and certification requirements, and technology maturation times remain basically the same for both scenarios, irrespective of the new technology proposals that have publicly flourished during 2020. The new technology proposals face different technical challenges that require further maturation to guarantee feasibility of the aircraft concepts that they support, as well as a simultaneous development of infrastructure and logistics. The constraint most significantly different between both scenarios is that of the market structure: from the pre-COVID-19/sustained growth demanding full dedication and long-term commitment of saturated production and engineering capabilities to a new COVID-19 affected scenario of business downturn, financial scarcity, and uncertain yet long recovery.

Irrespective of the scenario, technology improvements as well as policy changes aiming at improving aviation sustainability should be pursued. Even if the traffic decay has reduced aviation environmental impacts very significantly, the sector needs to get prepared for an eventual recovery and remain committed to abating its emissions by reduction and compensation.

Introduction of new engine architectures allowing for 20–25% fuel consumption reduction should be expedited by bringing their demonstration programs to a conclusion. A robust private–public collaboration frame needs to be developed to support their introduction into service in the shortest possible time frame.

Longer term technologies enabling more radical concept changes need to be progressed through their maturation process in order to determine the real scope of application of aircraft products relying on them. Early definition of research policies and plans as well as early involvement of certification authorities are musts in this process. Agents of aviation and tourism shall manage expectations about aviation emissions in a realistic way, stressing the socio-economic importance of air transport.

Internalization of social and environmental costs is an undeniable responsibility of the sector that, given the technology constraints, requires relying on

external compensation. Programs like CORSIA need to expedite their scope spread while ensuring a thorough mechanism to qualify tradeable emission units.

New technology proposals from the industry, based on hydrogen powered aircraft, require not only progressing in a technology maturity path as complex as electrical or hybrid technology, but also the concurrence of technology developments in the energy sector as well as the development of infrastructure and logistic systems beyond the aviation sector. The concurrence of all these multi-sector developments will necessarily have to rely on a not yet proven alignment of policies from governments and institutions, including funding schemes, and will in any case require decades to provide a suitable operating frame. Therefore, even if traffic decrease due to COVID-19 implies a break in aviation emissions growth, when 2019 traffic level is recovered as predicted by sector analysts between 2023 to 2025, emissions will recover the rising trend as well, unless aviation grasps the opportunities whose maturation is realistically feasible in that timeframe so that any traffic growth beyond that point happens with no emissions increment. This shall necessarily rely on implementation and scope extension of emissions compensation and trading schemes such as ETS and CORSIA and in bringing into service aircraft technologies at high maturity level such as new engine architectures.

Personal motivations and commitment from the air transport stakeholders to pursue longer term technology developments towards sustainable energy paradigms as well as their confidence in their success will be a fundamental factor in the development of future scenarios, while it is an issue that has been little explored. Jiménez [96] discussed this topic in a time frame when hydrogen propulsion for commercial aircraft and synthetic aviation fuels were barely debated in the sector.

It is worth emphasizing that the aviation sector's management of the pandemic could be framed within the humanitarian supply chain (Habib and Sarkar, 2017) [97]. This chain consists of four phases: (i) mitigation, which includes actions taken to reduce the severity of a disaster; (ii) preparedness, which consists of activities that increase a community's ability to respond in the event of a disaster; (iii) response, which addresses the immediate threats following a disaster; and (iv) recovery, which consists of restoring infrastructure to return the community to a near-normal state. Surely aeronautical companies should consider an integrated, multi-criteria decision-making methodology model for managing the response phase in an environment of uncertainty.

Further research should be pursued to explore the real adherence of sector stakeholders to sustainability institutional policies and goals as well as their degree of personal motivation, commitment, and belief to pursue the new industry technology proposals.

Author Contributions: Conceptualization: A.J.-C. and L.R.-A.; methodology: A.J.-C.; investigation: A.J.-C., M.S.C.-P., and M.E.-C.; resources: A.J.-C. and L.R.-A.; data curation: A.J.-C., L.R.-A., and M.E.-C.; writing—original draft preparation: A.J.-C.; writing—review and editing: A.J.-C., M.S.C.-P., and L.R.-A.; visualization: A.J.-C., M.S.C.-P., and M.E.-C.; supervision: M.S.C.-P. and L.R.-A. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: This research received no external funding.

Institutional Review Board Statement: Not applicable.

Informed Consent Statement: Not applicable.

Data Availability Statement: Data sharing not applicable.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest.

References

1. Christensen, L. Environmental Impact of Long Distance Travel. *Transp. Res. Procedia* **2016**, *14*, 850–859. [[CrossRef](#)]
2. Gutiérrez, J.G. Reducir creciendo? La Estrategia del Sector Aéreo Para Mitigar su Papel en el Cambio Climático Visto desde la Soberanía Alimentaria. In *International América Lat. La Auton. Una Región. Proceedings of the XV Encuentro de Latinoamericanistas Españoles*; Trama Editorial; CEEIB: New York, NY, USA, 2013; pp. 898–910. Available online: <http://hal.archives-ouvertes.fr/halshs-00875594/> (accessed on 30 November 2020).
3. Gössling, S.; Hall, C.M.; Peeters, P.; Scott, D. The Future of Tourism: Can Tourism Growth and Climate Policy be Reconciled? A Climate Change Mitigation Perspective. *Tour. Recreat. Res.* **2010**, *35*, 119–130. [[CrossRef](#)]
4. Hall, M. Changing Paradigms and the Global Change. From Sustainable to Steady-State Tourism. *Tour. Recreat. Res.* **2010**, *35*, 131–143. [[CrossRef](#)]
5. Hernández, J. Turismo de masas y transporte: El gran reto del turismo del siglo xxi. *Scr. Nov. Rev. Electr. Geogr. Cienc. Soc.* **2008**, *12*, 258. Available online: <http://www.ub.edu/geocrit/sn/sn-258.htm> (accessed on 30 November 2020).
6. Peeters, P.; Higham, J.; Kutzner, D.; Cohen, S.; Gössling, S. Are technology myths stalling aviation climate policy? *Transp. Res. Part D Transp. Environ.* **2016**, *44*, 30–42. [[CrossRef](#)]
7. Popescu, G.H.; Mieila, M.; Nica, E.; Andrei, J.V. The emergence of the effects and determinants of the energy paradigm changes on European Union economy. *Renew. Sustain. Energy Rev.* **2018**, *81*, 768–774. [[CrossRef](#)]
8. Saygin, H.; Çetin, F. New Energy Paradigm and Renewable Energy: Turkey's Vision. *Turkey's New Geopolit. Energy Summer* **2010**, *12*, 107–128. Available online: <https://www.insightturkey.com/articles/new-energy-paradigm-and-renewable-energy-turkeyvision> (accessed on 11 October 2020).
9. Ruth, M.F.; Kroposki, B. Energy Systems Integration: An Evolving Energy Paradigm. *Electr. J.* **2014**, *27*, 36–47. [[CrossRef](#)]
10. ICAO. ICAO Environmental Report 2016, Aviation and Climate Change. 2016. Available online: <https://www.icao.int/environmental-protection/pages/env2016.aspx> (accessed on 30 January 2021).
11. IATA. Fuel Fact Sheet. IATA 2019. No. December 2019, p. 1. Available online: https://www.iata.org/pressroom/facts_figures/fact_sheets/Documents/fact-sheet-fuel.pdf (accessed on 30 January 2021).
12. IATA. Aviation and Climate Change—Fact Sheet. 2019. Available online: <https://www.iata.org/en/iata-repository/pressroom/fact-sheets/fact-sheet-climate-change/> (accessed on 30 January 2021).

13. IEA. Aviation 2020 Tracking Report 2020. Available online: <https://www.iea.org/reports/aviation#resources> (accessed on 30 January 2021).
14. ATAG Air Transport Action Group. Waypoint 2050. Balancing Growth in Connectivity with a Comprehensive Global Air Transport Response to the Climate Emergency. 2020. Available online: <https://aviationbenefits.org/environmental-efficiency/ climate-action/waypoint-2050/> (accessed on 30 January 2021).
15. ICAO. ICAO and the United Nations Sustainable Development Goals. ICAO AVIATION DEVELOPMENT, 2020. Available online: <https://www.icao.int/about-icao/aviation-development/Pages/SDG.aspx> (accessed on 29 November 2020).
16. Eurocontrol. European Aviation in 2040. Challenges of Growth. 2018. Available online: <https://www.eurocontrol.int/ publication/challenges-growth-2018> (accessed on 29 November 2020).
17. Japan Aircraft Development Corporation. Positioning of JADC 's Demand Forecast Over COVID-19. 2020. Available online: http://www.jadc.jp/files/topics/159_ext_01_en_0.pdf (accessed on 30 July 2020).
18. International Civil Aviation Organization (ICAO). Effects of Novel Coronavirus (COVID-19) on Civil Aviation: Economic Impact Analysis Air Transport Bureau Contents. 2020. Available online: https://www.icao.int/sustainability/Documents/COVID-19 /ICAO_Coronavirus_Econ_Impact.pdf (accessed on 29 November 2020).
19. Boeing. Boeing CEO Updates Employees on Quarterly Results and Market Realities. *Boeing Media Press Releases*. 29 July 2020. Available online: <https://boeing.mediaroom.com/news-releases-statements?item=130713> (accessed on 25 November 2020).
20. Airbus. Airbus Plans to Further Adapt to COVID-19 Environment. *Airbus Media*. 30 June 2020. Available online: <https://www.airbus.com/newsroom/press-releases/en/2020/06/airbus-plans-to-further-adapt-to-covid19-environment.html> (accessed on 25 November 2020).
21. Amankwah-Amoah, J. Note: Mayday, Mayday, Mayday! Responding to environmental shocks: Insights on global airlines' responses to COVID-19. *Transp. Res. Part. E Logist. Transp. Rev.* **2020**, *143*, 102098. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
22. Amankwah-Amoah, J. Stepping up and stepping out of COVID-19: New challenges for environmental sustainability policies in the global airline industry. *J. Clean. Prod.* **2020**, *271*, 123000. [[CrossRef](#)]
23. Abate, M.; Christidis, P.; Purwanto, A.J. Government support to airlines in the aftermath of the COVID-19 pandemic. *J. Air Transp. Manag.* **2020**, *89*, 101931. [[CrossRef](#)]
24. Gössling, S. Risks, resilience, and pathways to sustainable aviation: A COVID-19 perspective. *J. Air Transp. Manag.* **2020**, *89*, 101933. [[CrossRef](#)]
25. McKinsey & Company. *Hydrogen-Powered Aviation; Clean Sky 2 JU & FCH JU. Publications Office of the European Union, Luxembourg*; McKinsey & Company: Chicago, IL, USA, 2020. [[CrossRef](#)]
26. Airbus. Airbus Reveals New Zero-Emission Concept Aircraft. Airbus, 2020. Available online: <https://www.airbus.com/ newsroom/press-releases/en/2020/09/airbus-reveals-new-zeroemission-concept-aircraft.html> (accessed on 25 October 2020).
27. Martynov, A.; Sushama, L.; Laprise, R. Simulation of temperate freezing lakes by one-dimensional lake models: Performance assessment for interactive coupling with regional climate models. *Boreal Environ. Res.* **2010**, *15*, 143–164. [[CrossRef](#)]
28. European Commission. Sustainable and Smart Mobility Strategy—Putting European Transport on Track for the Future— Communication, 2020. Available online: <https://ec.europa.eu/info/law/better-regulation/have-your-say/initiatives/12438Sustainable-and-Smart-Mobility-Strategy> (accessed on 25 October 2020).
29. United States 95th Congress. Public Law 95-504 (Aviation Deregulation Act). 1978. Available online: <https://www.govinfo.gov/ content/pkg/STATUTE-92/pdf/STATUTE-92-Pg1705.pdf#page=1> (accessed on 20 October 2020).
30. Japan Aircraft Development Corporation. Worldwide Market Forecast 2019–2038, 2019. Available online: http://www.jadc.jp/ files/topics/157_ext_01_en_0.pdf (accessed on 3 September 2020).
31. Scott, D.; Gössling, S. What could the next 40 years hold for global tourism? *Tour. Recreat. Res.* **2015**, *40*, 269–285. [[CrossRef](#)]
32. Gössling, S.; Cohen, S. Why sustainable transport policies will fail: EU climate policy in the light of transport taboos. *J. Transp. Geogr.* **2014**, *39*, 197–207. [[CrossRef](#)]
33. Ram, Y.; Nawijn, J.; Peeters, P.M. Happiness and limits to sustainable tourism mobility: A new conceptual model. *J. Sustain. Tour.* **2013**, *21*, 1017–1035. [[CrossRef](#)]
34. Higham, J.E.S.; Cohen, S.A.; Cavaliere, C.T.; Reis, A.C.; Finkler, W. Climate change, tourist air travel and radical emissions reduction. *J. Clean. Prod.* **2016**, *111*, 336–347. [[CrossRef](#)]
35. Larsen, G.R.; Guiver, J.W. Understanding tourists' perceptions of distance: A key to reducing the environmental impacts of tourism mobility. *J. Sustain. Tour.* **2013**, *21*, 968–981. [[CrossRef](#)]

36. Airbus. Global Market Forecast 2018–2037, 2018. Available online: <https://www.airbus.com/aircraft/market/global-marketforecast.html> (accessed on 30 July 2020).
37. Boeing Commercial Aviation. Boeing Commercial Market Outlook 2019–2038, 2019. Available online: <https://invest-indiarevamp-static-files.s3.ap-south-1.amazonaws.com/s3fs-public/2019-12/cmo-sept-2019-report-final.pdf> (accessed on 30 July 2020).
38. Rolls Royce. Future Products—Rolls-Royce, Rolls Royce Website, 2020. Available online: <https://www.rolls-royce.com/productsand-services/civil-aerospace/future-products.aspx#/> (accessed on 25 October 2020).
39. Maoui, G. *Innovation Takes Off. Clean Sky*; Le Cherche Midi: Paris, France, 2016.
40. Badánik, B.; Götz, K. Aircraft manufacturers marketing warfare. In Proceedings of the MATEC Web of Conferences, Česká Budeřovice, Czech Republic, 6–7 November 2018; Volume 236, p. 01006.
41. Guyon, I.; Amine, R.; Tamayo, S.; Fontane, F. Analysis of the opportunities of industry 4.0 in the aeronautical sector. In Proceedings of the IMCIC 2019 10th International the Multi-Conference Complexity, Informatics Cybern, Orlando, FL, USA, 12–15 March 2019; Volume 2, pp. 62–67.
42. UNEP-UNWTO-WMO. Climate Change and Tourism: Responding to Global Challenges Advanced Summary October 2007, 2007. Available online: <https://www.unclearn.org/wp-content/uploads/library/summ.pdf> (accessed on 30 August 2020).
43. OPEC. World Oil Outlook. 2016. Available online: https://www.opec.org/opec_web/static_files_project/media/downloads/publications/WOO%202016.pdf (accessed on 30 August 2020).
44. SESAR Joint Undertaking, SESAR Joint Undertaking|Objectives. Available online: <https://www.sesarju.eu/approach/objectives> (accessed on 25 November 2020).
45. Sinnett, M. Saving Fuel and Enhancing Operational Efficiencies. 2007. Available online: https://www.boeing.com/commercial/aeromagazine/articles/qtr_4_07/article_02_1.html (accessed on 30 July 2020).
46. Zhang, J.; Zhou, Z.; Zhang, F.; Tan, Y.; Yi, R. Molding process and properties of continuous carbon fiber three-dimensional printing. *Adv. Mech. Eng.* **2019**, *11*. [CrossRef]
47. National Transportation Safety Board. *Aircraft Incident Report Auxiliary Power Unit Battery Fire Japan Airlines Boeing 787-8; JA829J*; National Transportation Safety Board: Boston, MA, USA, 2013.
48. National Transportation Safety Board. NTSB Issues Recommendations on Certification of Lithium-Ion Batteries and Emerging Technologies|Airways Magazine. 2014. Available online: <https://airwaysmag.com/airlines/ntsb-issues-recommendations-oncertification-of-lithium-ion-batteries-and-emerging-technologies/> (accessed on 25 October 2020).
49. Liebeck, R.H. Design of the Blended Wing Body Subsonic Transport. *J. Aircr.* **2004**, *41*, 10–25. [CrossRef]
50. International Energy Agency. Transport Energy and CO2: Moving towards Sustainability. 2009. Available online: <https://www.iea.org/news/transport-energy-and-co2-moving-toward-sustainability> (accessed on 15 August 2020).
51. Wiriadidjaja, S.; Zhahir, A.; Mohamad, Z.H.; Razali, S.; Puaat, A.A.; Ahmad, M.T. Wing-in-ground-effect craft: A case study in aerodynamics. *Int. J. Eng. Technol.* **2018**, *7*, 5–9. [CrossRef]
52. Cole, W. The Pelican: A Big Bird for the Long Haul. Boeing Frontiers Online. 2002. Available online: https://www.boeing.com/news/frontiers/archive/2002/september/i_pw.html (accessed on 5 September 2020).
53. Yin, C.M.; Wiriadidjaja, S.; Majid, D.L.A.H.A.; Romli, F.I.; Shakrine, A.; Rafie, M.; Zhahir, A. Review on the cost and performance of a WIGE craft: A commercialization prospective. *ARPJ. Eng. Appl. Sci.* **2015**, *10*, 10027–10033.
54. Pagowski, Z.T.; Szafran, K. Ground effect' Inter-Modal Fast Sea Transport. *Trans. Nav. Int. J. Mar. Navig. Saf. Sea Transp.* **2014**, *8*, 317–320. [CrossRef]
55. Mewhinney, M. NASA Testing New, Powerful 'Ducted Fan' Engine for Civil Jets. NASA, Ames Research Center, 1993. Available online: <https://www.nasa.gov/home/hqnews/1993/93-103.txt> (accessed on 15 September 2020).
56. Hepperle, M. Electric Flight—Potential and Limitations. In Proceedings of the Conference: AVT-209 Workshop on Energy Efficient Technologies and Concepts Operation, Lisbon, Portugal, 22–24 October 2012; pp. 1–30.
57. Boeing. Boeing 737 Airplane Characteristics for Airport Planning. Document Number D6-58325-6 Rev. A *Boeing Commercial Aircraft* **2020** p. 307. Available online: http://www.dept.aoe.vt.edu/~mason/Mason_f/B737.pdf (accessed on 25 October 2020).
58. Airbus. Airbus, Rolls-Royce, and Siemens team up for electric future Partnership launches E-Fan X hybrid-electric flight demonstrator. *Airbus Media*. 28 November 2017. Available online:

- <https://www.airbus.com/newsroom/press-releases/en/2017/11/airbus--rolls-royce--and-siemens-team-up-for-electric-future-par.html> (accessed on 25 October 2020).
59. Benito, A.; Benito, E. *Descubrir el Transporte Aéreo y el Medio Ambiente*; AENA: Madrid, Spain, 2012; ISBN 9788415616559.
 60. Gascón Gutiérrez, J. Aproximaciones sociológicas y antropológicas al fenómeno del turismo. In *Turismo, Cultura y Sociedad*; Universitat Oberta de Catalunya UOC: Barcelona, Spain, 2014; pp. 31–34.
 61. García, A. Uso de biocombustibles en la aviación comercial. *ACTA Autores Cient. Técn. Acad.* **2010**, *58*, 105–112.
 62. European Commission. 2 Million Tons Per Year: A Performing Biofuels Supply Chain for EU Aviation August 2013 Update, 2013. Available online: https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/20130911_a_performing_biofuels_supply_chain.pdf (accessed on 25 October 2020).
 63. International Civil Aviation Organization (ICAO). Asamblea—37° Período De Sesiones. 2010. Available online: https://www.icao.int/Meetings/AMC/Assembly37/Documents/ProvisionalEdition/a37_res_prov_es.pdf (accessed on 29 November 2020).
 64. International Civil Aviation Organization (ICAO). Asamblea—38° Período De Sesiones. 2013, p. 128. Available online: https://www.icao.int/Meetings/a38/Documents/10024_es.pdf (accessed on 29 November 2020).
 65. International Civil Aviation Organization (ICAO). Asamblea—39° Período de Sesiones. 2016. Available online: https://www.icao.int/Meetings/a39/Documents/10082_es.pdf (accessed on 29 November 2020).
 66. ICAO. What Would Be the Impact of Joining CORSIA? ICAO ENVIRONMENT, 2020. Available online: https://www.icao.int/environmental-protection/pages/a39_corsia_faq3.aspx (accessed on 29 November 2020).
 67. van Velzen, A.; de Bruyn, S.; Bachaus, A. Costs of EU ETS and CORSIA for European Aviation. 2019. Available online: <https://www.ce.nl/publicaties/download/2961> (accessed on 20 September 2020).
 68. Gössling, S.; Humpe, A.; Bausch, T. Does 'flight shame' affect social norms? Changing perspectives on the desirability of air travel in Germany. *J. Clean. Prod.* **2020**, *266*. [CrossRef]
 69. Bloom, L.B.; You won't Believe How Many Airlines Haven't Survived Coronavirus. How Does It Affect You? ForbesWomen. Available online: <https://www.forbes.com/sites/laurabegleybloom/2020/06/27/airlines-coronavirus-travel-bankruptcy/?sh=e56e3495f696> (accessed on 28 November 2020).
 70. IATA. Looming Cash Crisis Threatens Airlines. Press Release 79. Available online: <https://www.iata.org/en/pressroom/pr/2020-10-06-01/> (accessed on 28 November 2020).
 71. ACI Airports Council International. Almost 200 European Airports Facing Insolvency in Coming Months. ACI Europe. Available online: <https://www.aci-europe.org/media-room/279-almost-200-european-airports-facing-insolvency-in-coming-months.html> (accessed on 5 December 2020).
 72. Flottau, J.; Massy-Beresford, H.; Schofield, A.; Goldstein, B. Airline Industry Starts High-Risk Relaunch. Aviation Week. 2020. Available online: <https://www.britishaviationgroup.co.uk/news/airline-industry-starts-high-risk-relaunch/> (accessed on 5 December 2020).
 73. Petchenik, I. How Airlines have Managed Their Fleet Mix during the COVID-19 Pandemic|FlightRadar24 Blog. FlightRadar24. 26 June 2020. Available online: <https://www.flightradar24.com/blog/how-airlines-have-managed-their-fleet-mix-during-the-covid-19-pandemic/> (accessed on 5 December 2020).
 74. Boeing Commercial Aviation. Boeing Commercial Market Outlook 2020–2039, 2020. Available online: https://www.boeing.com/resources/boeingdotcom/market/assets/downloads/2020_CMO_PDF_Download.pdf (accessed on 5 December 2020).
 75. Japan Aircraft Development Corporation. Worldwide Market Forecast, 2020. Available online: <http://www.jadc.or.jp/wmf13.pdf> (accessed on 5 December 2020).
 76. Blancmont, T. Vueling annonce le lancement de trois lignes domestiques en France. *Air J.* 2020. Available online: <https://www.air-journal.fr/2020-09-22-vueling-annonce-le-lancement-de-trois-lignes-domestiques-en-france-5222842.html> (accessed on 1 December 2020).
 77. Calvo, L. Volotea Solo cae un 23 por Ciento en el Tercer Trimestre de 2020. Flynews. Available online: <https://fly-news.es/aviacion-comercial/volotea-solo-cae-23-ciento-tercer-trimestre-2020/> (accessed on 1 December 2020).
 78. de Best, R. Bail or bust for Europe's airlines. June 26, 2020. *Stat. Infographics.* 2020. Available online: <https://www.statista.com/chart/22121/airline-bailouts-in-europe/> (accessed on 25 November 2020).
 79. Lyle, C. Beyond ICAO's CORSIA: Towards a More Climatically Effective Strategy for Mitigation of Civil Aviation Emissions. *Clim. Law* **2018**, *8*, 1–2. [CrossRef]

80. Airbus. Orders July 2020. Airbus Commercial Aircraft. Downloaded 18 August 2020. Available online: <https://www.airbus.com/aircraft/market/orders-deliveries.html> (accessed on 25 November 2020).
81. Wert, J. Airbus delivered 14 airplanes in April as airlines revise orders. International Flight Network. *International Flight Network*. 7 May 2020. Available online: <https://www.ifn.news/posts/airbus-delivered-14-airplanes-in-april-as-airlines-revise-orders/> (accessed on 25 October 2020).
82. Oestergaard, J.K. *Airbus and Boeing Report June 2020 Commercial Aircraft Orders and Deliveries—Defense Security Monitor*; Defense & Security Monitor, Forecast International: Newtown, CT, USA, 2020. Available online: <https://dsm.forecastinternational.com/wordpress/2020/07/16/airbus-and-boeing-report-june-2020-commercial-aircraft-orders-and-deliveries/> (accessed on 25 October 2020).
83. Boeing. Boeing Orders and Deliveries July 2020. Downloaded 19th Aug 2020. Boeing Commercial Aviation, 2020. Available online: <https://www.boeing.com/commercial/##/orders-deliveries> (accessed on 25 October 2020).
84. EUROCONTROL. European Network Operations Plan 2020 Recovery Plan, 2020. Available online: <https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/publication/files/european-network-operations-plan-2016-2020.pdf> (accessed on 25 October 2020).
85. Clean Sky 2 Joint Undertaking. Clean Sky 2 Joint Undertaking Bi-Annual Work Plan and Budget 2020–2021, 2019. Available online: <https://www.cleansky.eu/sites/default/files/inline-files/CS-GB-2019-11-21%20WP%20Budget%202020-21.pdf> (accessed on 25 September 2020). [CrossRef]
86. EASA. Type-Certificate Data Sheet No. EASA.A.573 for Type Virus SW 121, 2020. Available online: https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/tcds_easa.a.573_is.5_0.pdf (accessed on 25 October 2020).
87. European Commission. The European Green Deal, 2019. Available online: https://ec.europa.eu/info/publications/communication-european-green-deal_en (accessed on 22 August 2020).
88. Sürer, H.T.; Arat, M.G. State of Art of Hydrogen Usage as a Fuel on Aviation. January, 2018. Available online: https://www.researchgate.net/publication/322056332_State_of_art_of_hydrogen_usage_as_a_fuel_on_aviation (accessed on 1 June 2020). [CrossRef]
89. Airbus. These Pods Could Provide a Blueprint for Future Hydrogen Aircraft. *Airbus Media*. 15 December 2020. Available online: <https://www.airbus.com/newsroom/stories/hydrogen-pod-configuration.html> (accessed on 28 December 2020).
90. Mankins, J.C. Technology Readiness Levels. In *NASA White Paper*; Office of Space Access and Technology: Washington, DC, USA, 1995.
91. Dubos, G.F.; Saleh, J.H.; Braun, R. Technology Readiness Level, Schedule Risk and Slippage in Spacecraft Design: Data Analysis and Modeling. In *Proceedings of the AIAA SPACE 2007 Conference & Exposition 2007*, Long Beach, CA, USA, 18–20 September 2007. [CrossRef]
92. European Commission. Call for Expressions of Ideas/Potential Members for the Future European Partnership on Clean Aviation under Horizon Europe 2020. Available online: https://ec.europa.eu/info/news/new-call-ideas-clean-aviation-partnerships-20-20-aug-26_en (accessed on 28 December 2020).
93. SRIA Preparatory Group. Strategic Research and Innovation Agenda. The Proposed European Partnership for Clean Aviation. 2020. Available online: https://www.clean-aviation.eu/files/Clean_Aviation_SRIA_R1_for_public_consultation.pdf (accessed on 28 December 2020).
94. EUROPEAN COMMISSION. EU'S Next Long-Term Budget & NextGenerationEU: Key Facts and Figures, 2020. Available online: https://ec.europa.eu/info/sites/info/files/about_the_european_commission/eu_budget/mff_factsheet_agreement_en_web_20.11.pdf (accessed on 28 December 2020).
95. ICAO. ICAO Resolution A40-19. Consolidated Statement of Continuing ICAO Policies and Practices Related to Environmental Protection—Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation (CORSA), 2019. Available online: https://www.icao.int/environmental-protection/Documents/Assembly/Resolution_A40-19_CORSA.pdf (accessed on 24 August 2020).
96. Jiménez, A. Análisis de la sostenibilidad energética del transporte aéreo y su impacto en el turismo. *Investig. Turísticas* 2020, 20, 31. [CrossRef]
97. Habib, M.S.; Sarkar, B. An integrated location-allocation model for temporary disaster debris management under an uncertain environment. *Sustainability* 2017, 9, 716. [CrossRef]

4.3. ANÁLISIS EN PROFUNDIDAD DEL ESCENARIO COVID. ARTÍCULO DE ESIC-DIGITAL ECONOMY AND INNOVATION JOURNAL.

En el artículo que sirve de referencia al capítulo 4.2 de comparación de los escenarios COVID y pre-COVID, se reconoce que un elemento fundamental para poder valorar la plausibilidad de que las tecnologías de cambio sobre el paradigma energético de la aviación lleguen a desarrollarse con éxito será el grado de motivación, creencia y compromiso que los actores del sector tengan para con ellas. De igual manera, se reconoce la necesidad de explorar el nivel de adherencia de dichos agentes con las políticas y objetivos institucionales en el desarrollo de esas tecnologías y la reducción de las emisiones del sector.

Por ello, en el capítulo 4.3. se ha pretendido explorar esos aspectos mediante una combinación de metodologías cualitativa, recurriendo de nuevo a entrevistas en profundidad, y cuantitativa, realizando una encuesta a profesionales y académicos fundamentalmente de los ámbitos de la industria aeronáutica, el transporte aéreo y la energía. Las entrevistas en profundidad han sido realizadas a expertos que ya habían sido entrevistados antes de la pandemia con objeto de contrastar si se habían producido cambios significativos en sus posiciones.

Los resultados de esta investigación se recogen en el artículo *“Analysis of Air Transport Stake Holders Perceptions and Motivations about Long Term Innovations Towards Sustainable Aviation Energy Paradigms”* aprobado para su publicación en el Digital Economy and Innovation ESIC Journal (DEIEJ), que se adjunta a continuación y conforma el contenido principal de este capítulo 4.3.

Las entrevistas realizadas durante la pandemia, en primavera y verano de 2021 se recogen en el ANEXO 2.

Este capítulo constituye el refrendo metodológico a las respuestas negativas a las preguntas Q2 (*¿Ha supuesto la crisis del COVID-19 un cambio sustancial en las expectativas de reducción de emisiones del transporte aéreo en el medio plazo?*) y Q3

(Las nuevas propuestas tecnológicas que se debaten en el sector del transporte aéreo para mejora de eficiencia y reducción de emisiones, ¿son susceptibles de ser desarrolladas e implementadas en el medio plazo de forma que se consiga una reducción significativa de las emisiones en el transporte aéreo?). Ambas son preguntas complejas, y pese a que se ha tratado de responderlas científicamente fundamentalmente en el capítulo 4.2., soportando la respuesta con un artículo publicado en Sustainability (JCR-Q2), cabía cuestionarse si no se habría incurrido en cierto sesgo interpretativo. Por ello, con objeto de dotar de mayor consistencia y credibilidad a las respuestas se decidió acometer una última triangulación metodológica apoyándose en métodos cuantitativos y cualitativos. Además, como ya se ha mencionado anteriormente, el conocimiento de las expectativas y motivaciones de los agentes del sector del transporte aéreo y la energía respecto a la plausibilidad y efectividad de los cambios tecnológicos y/o legislativos son cuestiones fundamentales para la evolución de los mismos.

Las preguntas Q2 y Q3 no se han formulado de forma directa, ni en el guion de preguntas para las entrevistas en profundidad semiestructuradas, ni en la encuesta para el análisis cuantitativo. Esta es una decisión consciente que tiene por objeto evitar cualquier sesgo ideológico, derivado de prejuicios o vectorizado por posiciones corporativas, especialmente en las respuestas a Q3.

A pesar de las dificultades intrínsecas para agregar los resultados de las entrevistas en profundidad y para triangularlos con los de la encuesta, las conclusiones a las que se llega en el estudio son claras, refrendando las respuestas negativas a las preguntas Q2 y Q3 y confirmando una vez más la tesis de la investigación de que el transporte aéreo necesita apoyarse en los sistemas de compensación y comercio de emisiones para contener las mismas en el medio plazo.

Analysis of Air Transport Stake Holders Perceptions and Motivations about Long Term Innovations Towards Sustainable Aviation Energy Paradigms.

Abel Jiménez-Crisóstomo ¹, Luis Rubio-Andrada ², María Soledad Celemín-Pedroche ³

¹ Department of Economic Structure and Development Economics, Autonomous University of Madrid, 28049 Madrid, Spain; abel.jimenez@uam.es

² Department of Applied Economics, Autonomous University of Madrid, 28049 Madrid, Spain; luis.rubio@uam.es

³ Department of Business Organization, Autonomous University of Madrid, 28049 Madrid, Spain; marisol.celemin@uam.es

Abstract

Aviation sustainability and GHG emissions reduction have recently become both relevant academic and social trending topics. Air transport intensive energy use together with its constant pre-pandemic growing vector and the technical difficulties to evolve towards non-carbon-based energy paradigms conform a “concerning frame” that has attracted the attention of governments, institutions, media, scholars, civil society and, of course, air transport stake holders.

Aviation emission reduction initiatives comprise aircraft technology (materials, aerodynamics, architecture, use of hydrogen, electrification, digitalization, fuel cells, batteries, hybridization) and operation improvements (continuous descent approach, single engine taxi, optimized routes, reduced loitering ...), tax schemes (on fuel, on carbon emissions, on frequent flyers ...), emissions compensation and trading systems (like CORSIA and ETS), efficient infrastructures (green airport concept), and sustainable aviation fuels (both biofuels from different feedstocks and processes and synthetic power to liquid). All of them have been subject of extensive analysis in academic literature. However, some aspects that have been almost neglected in this analysis are the personal motivation and commitment from air transport stakeholders to pursue longer term technology developments towards sustainable energy paradigms and their confidence in their success, as well as the real adherence of sector stakeholders to published sustainability institutional policies and goals. The change of scenario induced by the COVID-19 in the air transport sector is also very relevant to this matter. This paper explores those aspects by using a novel methodology where interviews were done to experts from the aviation and energy sectors prior to the pandemic (2017-2018) and during the pandemic (summer 2021) in order to explore the evolution of their perceptions and motivations regarding aviation sustainability and emissions reduction, with special emphasis in the expectations regarding aviation energy paradigm change. Additionally, those interviews were used to derive a survey

that has been run among professionals of the aviation and energy sectors to collect data feeding a quantitative analysis that allowed for triangulation with the qualitative analysis of the interviews.

The main conclusions are that aviation professionals keep relying on air traffic recovery and growth despite the COVID crisis. They are also conscious of the difficulties of the sector to enact the application of technologies and policies so to achieve significant emissions reductions, that will require decades to be effective. However, there is not consensus when choosing the technologies and policies with the highest potential, although some tendencies have been identified: whilst enthusiasm about aircraft electrification has decayed, a higher degree of reliance is put in new engine architectures. Fiscal measures are either poorly valued (taxes) or not well understood (emissions trading and compensation schemes).

The recommendations are that aviation should: leverage the consensus around new engine architectures to achieve tangible emissions reductions or contention in the mid-term; make more efforts to improve and explain emissions trading and compensation schemes; keep developing new technologies to unveil their real scope and potential; and manage social expectations realistically, stressing its social and economic sustainability dimensions while continuing with the efforts to improve environmentally.

Keyword: aviation innovation; sustainability; energy; air transport; climate change; emissions trade systems; digitalization COVID-19

1. Introduction.

Along the last 6 or 7 decades and up to the first quarter of 2020, air transport had experienced a continuous development sustained by two indisputable paradigms:

- The sustained growth demand, driven by the also indisputable motivation of the public to travel in their search for happiness through changes and novelties (Ram et al., 2013).
- The use of gas turbines for jet propulsion, relying on high energy density fossil fuels as the main energy source (Hernández, 2008).

Social and academic discussions about aviation sustainability had for years questioned the viability of maintaining those two paradigms, and potential alternatives have been analysed (Christensen, 2016; Gascón Gutiérrez, 2013; Gössling et al., 2010; Gössling & Cohen, 2014; Hall, 2010; Paul Peeters et al., 2016). But factually, they remained “unaltered” until the spring of 2020, where two simultaneous and, in principle, unrelated events took place:

- Irruption of the COVID-19 pandemic in the global scene, causing a brutal decrease of air traffic (International Civil Aviation Organization (ICAO), 2020; Japan Aircraft Development Corporation, 2020a), momentarily killing the first (growth) paradigm and creating incertitude about its future development.
- Flourishing of new technology proposals for aviation energy paradigm change in the frame of an acceleration of governmental, institutional and sectorial sustainability commitments, in particular related to emissions reduction (or even their deletion), thus creating an exacerbated need to challenge the second (energy) paradigm as well as finding the right policies towards a sustainable aviation (Amankwah-Amoah, 2020a; Gössling, 2020).

In late 2020 and early 2021 Jiménez-Crisóstomo et al. (2021) analysed whether the same constraints that were sustaining the jet engine fed by fossil fuel energy paradigm preventing its change in the pre-COVID scenario were still applicable in the pandemic scenario and/or whether there were new constraints. Irrespectively of their conclusions, they pointed out the importance to explore the beliefs of aviation, energy and tourism stake holders in the new pandemic scenario (and as much as possible in contrast to pre-pandemic views) with regards to attaining relevant air transport paradigm changes enabling a significant aviation GHG reduction in the mid-term. This paper aims at characterising said views by a mix of qualitative (comparison of pre and during pandemic in depth interviews with experts) and a quantitative (descriptive analysis of the results from a survey run

through aviation, energy and tourism stake holders), which is a fundamental methodology novelty, moreover in the air transport field. Ultimately, specific recommendations are drawn in view of the analysis of results.

2. Theoretical background.

In spite of the limited contribution of aviation to global GHG emissions (between 2 and 3% depending on the source, and with an overall effect of 3,5% of the human caused climate change according to ATAG Air Transport Action Group (2020), air transport is socially perceived as non-sustainable activity as a consequence of its high energy intensity. There is nowadays a proliferation of comparisons among different transportation modes, shaming aviation for its high energy consumption in relative terms (see for example Dalla et al. (2017)). Since this is an unavoidable physics constraint (flight requires lifting elements moving at high speeds, and required power goes with the cube of speed), the only chance for aviation to become emissions friendly, on top of achieving higher efficiencies all across the system, is in either in evolving its energy paradigm or in compensating its emissions transversally to other sectors by means of emissions compensation and trading systems.

Efficiency improvements are continuously pursued by all stake holders since they yield not only environmental benefits, but increased business profitability. But after decades of system enhancement, the remaining scope for improvement without paradigm changes is limited.

Although a useful tool, many academics have expressed concerns on trading and compensation systems having a very limited effect in emissions reduction (Gössling et al., 2021), as well as on the uncertainty about its future extent of application (Maertens et al., 2019), (Scheelhaase et al., 2018), (Efthymiou & Papatheodorou, 2019)).

The alternatives currently discussed in the industry to evolve on the traditional aircraft energy paradigm (fossil fuel combustion jet engine) are:

- SAF (Sustainable Aviation Fuels), being either:
 - o Biofuels from diverse feedstocks (Benito & Benito, 2012): alimentary species (such as palm or corn), dedicated species (such as jathropa and cameline), algae, solid municipal waste, vegetable waste ...
 - o Synthetic fuels (McKinsey & Company, 2020): elaborated from green hydrogen combined with “cleanly” sequestered CO₂.
- Aircraft propulsion electrification and hybridization.

- Hydrogen based propulsion:
 - By electric motors using fuel cells (Sürer, M.G., Arat, 2018).
 - By hydrogen burning gas turbines (Corchero & Montañés, 2003).

The SAF options are, in principle, compatible with current aircraft and engine architectures, while electrification and hydrogen require significant architectural changes.

The propulsion industry is also pursuing new revolutionary architectural concepts such as the UltraFan[®] (Haselbach, 2019) and the Propfan (Maoui, 2016), with moderate impact in aircraft design in the case of the UltraFan[®] and a more severe impact on aircraft architecture for the Propfan, although maintaining the combustion gas turbine paradigm in both cases.

Jiménez-Crisóstomo et al. (2021) discussed the current applicable limitations for the different technical proposals as well as provided an overview of their maturity. The perceptions from stake holders subject to prospection in the current paper will be in fact highly dependent on their degree of knowledge of said limitations and maturity. However, by no means is this research intended to test stake-holders knowledge in these key issues, neither to educate them in any way.

Regarding the use of qualitative methods in aviation sustainability research, in depth interviews with sectorial leaders is a tool widely used for producing sectorial reports and projections (i.e., McKinsey & Company, 2020; ATAG Air Transport Action Group, 2020), but it has been seldom used by academics. Gössling & Scott (2018) explored the understanding of the tourism sector with regards to the decarbonization challenge by interviewing 17 senior tourism leaders examining their perspectives in terms of “belief systems” as well as forms of agnogenesis. They concluded that, even though there was consensus among tourism leaders in recognizing that climate is already changing, they had disparate views on how the problem should be tackled. Moreover, they detected that some of the tourism leaders had perspectives not supported by scientific evidence, which represents a major barrier for the tourism sector to embrace low-carbon commitments. Focusing more specifically in aviation impacts, Leamon et al (2019) analysed the effects of climate change in commercial airlines as well as the potential actions that airlines could take (individually or as a sector) to resolve them by analysing existing literature and interviewing airline and tangential industry executives, to conclude that airlines are already suffering the effects of climate change while they are also working on measures to mitigate their impact, with a specific mention to adherence to CORSIA (Carbon Offsetting and

Reduction Scheme for International Aviation programme from the International Civil Aviation Organization). However, the question on whether those efforts will be sufficient to achieve a low-carbon industry in 2050 remains open.

3. Research method.

The academic literature review on aviation sustainability reveals that researchers have almost neglected the analysis of the personal motivation and commitment from air transport stakeholders to pursue longer term technology developments towards sustainable energy paradigms and their confidence in their success as well as the real adherence of sector stakeholders to published sustainability institutional policies and goals. Understanding said motivations and adherence is fundamental to assess the credibility of the different scenarios proposed and discussed by aviation private and institutional stakeholders. Due to the complexity of the issue and the need to frame it in an evolving context, the proposal in this research consists of a mixed quantitative-qualitative methodology that allows for triangulation of results.

3.1. The qualitative method.

In depth interviews with experts from the air transport, energy and tourism sectors were performed prior to the pandemic (in 2017 and early 2020, in the frame of an earlier research) and during the pandemic (summer 2021), which allows for comparing stakeholders' perceptions under those substantially different scenarios.

3.1.1. Interviews methodology.

Interviews are a suitable tool for this research as the conditions described by (Taylor & Bogdan, 1984) for its application are met: the goal is well defined, there is a fundamental interest in capturing subjective perceptions, it is difficult to access to the interviewees in their sectorial role by participant observation (although not impossible; refer to Jiménez Crisóstomo (2020) discussion about participant observation through attendance to seminars, congresses and open workshops), the research depends on a wide range of sectors and stakeholders, and time limitations apply (in part due to the evolving nature of the subject). For the pre-pandemic interviews a range of interview types was deployed (non-structured vs

semi-structured; individual vs group; live conversation vs e-mail written responses) as one of the goals of that earlier research was precisely to compare the suitability of the different types as well as the participant observation for this matter (Jiménez-Crisóstomo, 2020). Relevant conclusions were derived regarding a higher tendency to produce “corporate vectored answers” when interviews were semi-structured, in group and by e-mail.

For the in-pandemic research a semi-structured interview approach has been adopted to allow for an easier comparison with the pre-pandemic set and to ease its connection with the survey supporting the quantitative analysis. A few questions were added with respect to the original set in order to consider relevant events occurred along the time span, namely:

- Irruption of “flight shame” in the social scene (Gössling et al., 2020).
- Irruption of hydrogen based technologies for aircraft propulsion in the aviation sustainability debate (EUROPEAN COMMISSION, 2020a).
- Irruption of synthetic fuels in the aviation sustainability debate (McKinsey & Company, 2020).
- Flourishing and spread of digitalization technologies and policies, as well as application of industry 4.0 principles to the aeronautical industry (Guyon et al., 2019) and the consequent debate about its impact in sustainability (Bonilla et al., 2018).
- Certainly, COVID-19.

Needs to be noted that the original interview guide was mainly focused on understanding perceptions regarding aviation sustainability from an energy standpoint. However, the research team decided to maintain the original questions in spite of the wider scope of the current research (looking into overall aviation sustainability) to allow for an easier comparison of the answers and knowing that the interviewees would offer their views in environmental aspects of aviation as well.

The reports of the interviews were written and offered to the interviewees for review and comments before final issue, ensuring their testimony was rightfully captured.

The interview guide is included in APPENDIX 1, with the in-pandemic added questions marked in red.

3.1.2. Interviews base.

Eight individuals were interviewed twice, prior and during the pandemic, and a comparison of their testimonies was performed aiming at detecting and assessing changes

in perceptions about expectations regarding the potential of the different technology proposals and their degree of deployment – efficiency in mitigating aviation emissions.

Interviewees were chosen based on accessibility and representativity criteria. All of them are professionals with a wide and proven experience in the aeronautic and energy sectors, or academics in those fields, with many instances of individuals with experience in multiple fields. Furthermore, the authors are fully confident in the suitability of the interviewees for the research since their background and professional trajectory is not only known, but has been historically witnessed. The eight interviewees cover experience, at senior, even executive level in top multinational companies and universities (refer to table 1 for a summary of interviewees experience by individual) in the following fields:

- Aeroengines research and design & make companies, as well as international engine consortiums.
- Aircraft research and design & make companies, including engineering as well as business development, with participants from two main competitors.
- Aeronautical systems engineering and design & make companies.
- Senior academics with professional background in aeronautics and energy.
- Renewable energy, both development and consultancy companies. Participants with this profile had also background in aeronautics.

In depth interviews with experts from the aviation, energy and tourism sectors were carried out in 2017, reported and analysed by Jiménez Crisóstomo (2020). At the time, prior to the pandemic and to the irruption of new technology proposals for aviation sustainability, the experts concluded that renewables and nuclear energy would carry on gaining share over fossil fuels, but that, at the same time, it was impossible to materialize a change in the aviation energy paradigm in the mid-term. However, the energy and aviation experts remained positive with regards to aviation development and growth, since the improvements in other sectors would guarantee the availability of fossil fuels for aviation as well as the required global emissions attrition, while the aviation industry would keep working on alternative technology solutions that could be made available in the longer term. Tourism experts concluded that climate change will significantly affect tourism patterns and distribution but would probably not have a significant impact at aggregated levels, and that an aviation crisis would take an important toll on tourism to insular states and destinations as well as on intercontinental travel.

The interviews base was further extended in 2018 and 2019, yielding similar views and conclusions.

In summer 2021 a second round of interviews has been carried out with the aim to compare the evolution in the perceptions of experts from the aviation and energy sectors upon the change of scenario induced by COVID-19 and the new technology proposals. Table 1 details the interviews supporting this extension of the study.

Table 1: list of interviews to experts from the energy and the aeronautical sectors pre- pandemic and during pandemic. Initials do not correspond to real names for the sake of keeping participants anonymous.

Interviewee	Sector	Pre-pandemic interview month-year/type	Pandemic interview month-year/type
SD, vicepresident at an aircraft manufacturing company	Aeronautical Industry	06-2017/Semi-structured	08-2021/Semi-structured
WI, senior business development at a renewable energy company, with prior experience in gas turbines and engines	Energy/ Aeronautical Industry	04-2017/Non-structured	08-2021/Semi-structured
BM, engineering director at an aeronautic design and manufacturing company	Aeronautical Industry/ Academia	05-2017/Non-structured	07-2021/Semi-structured
JH, senior manager at an aeronautical international consortium	Aeronautical Industry/ Air Transport	05-2017/Semi-structured	07-2021/Semi-structured
JV, director at an aeronautical systems company	Aeronautical Industry	05-2017/Non-structured	07-2021/Semi-structured
BW, university professor with extensive background in the energy and aeronautical industry	Energy/ Aeronautical Industry/ Academia	05-2017/Non-structured	07-2021/Semi-structured
BN, executive director at an engineering services company	Aeronautical Industry/ Air Transport/ Energy	11-2018/Semi-structured	07-2021/Semi-structured
KS, senior specialist in aircraft systems and entrepreneur in renewable energies	Aeronautical Industry/ Air Transport/ Energy	03-2019/Semi-structured	08-2021/Semi-structured

3.2. The quantitative method.

3.2.1. Questionnaire development.

For the quantitative analysis, a questionnaire has been elaborated considering the methodology and recommendations from the UNWTO (Perez et al., 2008) and as per the following process:

- Previous research allowed the authors to exhaustively pre-identify technologies, policies and socioeconomic circumstances relevant to the aviation sustainability, therefore capturing those in a draft questionnaire.
- Completion of a first set of 3 interviews allowed for further refinement of the questionnaire enlightened by the answers from the experts.
- The questionnaire was tested by inviting the attendees to the course “Avances y desarrollo del sector aeronáutico y aeroespacial. VII Edición” (Universidad de Verano de Teruel) to fill it in while one of the authors of this research was lecturing on “The future of aeronautic propulsion” (Universidad de Verano de Teruel, 2021). The test was fully satisfactory, with respondents (up to 12) answering all the questions soundfully, highlighting no issues in their understanding or interpretation. A subsequent test was done by offering the questionnaire to the fourth interviewee, and again, the result was fully satisfactory.

The final questionnaire can be found in APPENDIX 2. It is composed of 28 questions covering 5 conceptual blocks (not coincidental with the questionnaire structure):

- Sociodemographic.
- Exploration of individual degree of concern and attitudes towards sustainability.
- Assessment of technologies and policies for aviation emissions reduction.
- Assessment of the effect of transversal factors for aviation emissions reduction, including COVID 19.
- Summary of expectations about aviation sustainability.

3.2.2. Survey completion and final sample.

The survey was elaborated using Survey Monkey and electronically submitted to professionals from the air transport, energy and tourism sectors. Respondents were asked

to further distribute to their colleagues and acquaintances within those sectors, which helped to collect a wider response base at the expense of losing some visibility of the relevance of the respondent (knowledge about the matter, decision making capability). Collection of responses took place during July and August 2021, in a context framed by COVID-19 and its induced effects: infection waves, economic recession, travel restrictions, financially troubled airlines and manufacturers, etc.

A total of 150 answers were collected as a result of a prospect for responses in diverse forums (professional associations, academic communities, personal acquaintances, former and present business partners ...) and using different means (printed questionnaires, e-mail distribution, Whatsapp groups, posts in social media such as LinkedIn and Facebook).

4. Comparative analysis of the pre-pandemic and pandemic scenarios.

4.1. Background.

Jiménez-Crisóstomo et al. (2021) analyse and discuss the different constraints limiting the ability of the air transport sector to progress in the introduction of new technologies capable of achieving a substantial reduction of GHG emissions. Said analysis takes into account market conditions (from the demand as well as aircraft supply stand points), new aircraft development times, technology maturation lead times, applicable technology state of the art and limitations, as well safety and certification requirements); and it is performed in two substantially different scenarios:

- The pre-pandemic scenario of continuous air traffic growth, supported by saturated aircraft build lines and component manufacturing suppliers, where the technology development debate is centred in new engine architectures, aircraft electrification and hybridization and the use of biofuels.
- The pandemic scenario, started in March 2020, of demand recession, financial scarcity, uncertain recovery prospects, aircraft orders cancellations and postponements, early aircraft retirements; where new technology proposals in support of aviation sustainability flourish such as the hydrogen powered aircraft (either by means of fuel

cells or by direct combustion into a gas turbine) and the synthetic fuels produced relying on renewable energy consumption.

The conclusions of the study remarked that, even if there are very significant differences between both scenarios, in both cases the expectations for achieving a relevant reduction of aviation emissions in the mid-term (2040) remain modest; and identified the changes in engine architectures as well as the emissions trade and compensation schemes as the mechanism with higher, yet modest, potential effect in aviation emissions control in the mid-term. The study also highlighted the need to further “*explore the real adherence of sector stakeholders to sustainability institutional policies and goals as well as their degree of personal motivation, commitment, and belief to pursue the new industry technology proposals*”.

The present research is a first step of said exploration, aiming at contrasting whether the overall perception of the stake holders is consistent with the conclusions derived from the Jimenez-Crisóstomo et al study.

4.2. In depth interviews analysis.

The in-depth interviews performed before the pandemics have been compared with those carried out in summer 2021 for each individual looking for identifying whether interviewees’ perceptions about air transport sustainability perceptions had evolved or remained fundamentally the same.

BN

- BN remains sceptical regarding the causality of GHG emissions growth in climate change. However, he also keeps his statement about the CO₂ emission index being an extremely useful KPI (Key Performance Indicator) that provides valuable information about the efficiency of policies and technology developments in reducing production of other harmful pollutants as well as consumption of valuable resources. In spite of the scenario change, he still perceives the scenario “optimistic 2” (refer to appendix 1, in scenario “optimistic 2” aviation benefits from progress in alternative energies use in other sectors, releasing the pressure on fossil fuels use and thus postponing any potential crisis, keeping them available for aviation, allowing for aviation to further evolve in

longer term technologies) as the most likely. Moreover, he keeps his view of aviation having a very limited impact in global GHG emissions and his support to nuclear plants as a source of clean energy.

- BN also remains sceptical about the potential of the current technology proposals for aviation emissions reduction. In spite of being the only interviewee that gave some credit to hydrogen powered aircraft during the pre-pandemic interview, his view in summer 2021 is that hydrogen better suits land transportation and energy production; with its application to aviation being limited to small aircraft and requiring very long development times for both aircraft and supporting infrastructures. Moreover, he does not see any of the other technologies as viable in the mid-term for a wide deployment in the overall aviation industry. He gives some credit to some electric applications (like Lillium, see **Nathen** et al., (2021)) with very limited payload and range, constituting a new product rather than an alternative one. No matter the limitations, he supports the investment in exploring new technology pathways understanding that some solutions may end up being discarded and some other simply required longer development times.
- While trusting in a rapid traffic recovery (quicker for short and medium range, slower for long range) in the wake of COVID-19, he believes that business travel will not recover to the pre-pandemic levels and expressed some concern that negative perceptions about aviation driven by politically biased groups may derive into legislation and fiscal measures drastically limiting the general population ability to travel and castrating the invaluable social, cultural and economic benefits of travelling.
- He relies on digitalization as a key driver for aviation sustainability, since it will allow for more efficient aircraft production and operations.

JV

- In summer 2021, JV repeats most of his messages from 2017. In particular, he reiterates the need for extended technology development times in aviation due to the extremely strict safety requirements and insists in the idea of the industry sending excessively positive messages about aviation sustainability expectations in many instances with political purposes. He keeps on seeing higher potential for the use of alternative energies in other sectors (rather than in aviation) and puts significant reliance on nuclear power.
- JV also favours scenario “optimistic 2” as the most likely for the future of air transport. In fact, he has developed a more optimistic perception compared to 2017, as he believes

that the air transport industry is really reactive and sensitive to social demands, as well as to the fact that fuel consumption reduction is not only an environmental goal, but also economic. He has evolved to clearly expressing little faith in electric aviation and identifying a higher potential in SAF (Sustainable Aviation Fuels) and hydrogen-based propulsion.

- Regarding digitalization, JV reckons that it will help to achieve efficiency improvements in aviation, but will not be a key element so as to enhance an energy paradigm change.
- JV trusts passenger motivation and the wish to recover the lost time will push a rapid recovery of air traffic (that will not be full for business travel). However, the time scales of the pandemic are not really understood and introduce a great level of uncertainty; and will certainly impact on the costs and prices.

BM

- BM continues perceiving the difficulties to apply alternative energies to aviation as significantly higher compared to other sectors and the impact of aviation in global emissions as really minor. Consequently, he maintains his adherence to scenario “optimistic 2” as the most likely to the future of aviation.
- However, he has significantly changed his views regarding the viability and potential of the different technology proposals for containing aviation emissions:
 - His reliance in electric and hybrid-electric systems for global emissions reduction has gone down.
 - He now favours SAF (Sustainable Aviation Fuels), expressing a higher confidence in synthetic fuels potential compared to biofuels.
 - He relies on combustion gas turbines as the only viable solution for most of the air travel. Making them sustainable would require operating them either with SAF or hydrogen in the longer term.
 - He has improved his perception about Propfan as a feasible solution.
- BM does not see digitalization as a key factor in aviation sustainability, although it reckons it can help to achieve more efficient aircraft operations and manufacturing.
- As COVID-19 effects decrease, BM expects a quick traffic recovery keeping the traditional correlation with GDP growth. However, he reckons that some socio-politic

movements may lead to instating taxes and demand limiting laws having a negative impact in the demand.

BW

- BW keeps remarking the technical goodness of fossil fuel engines in terms of energy density, power and compacity compared to other alternative energy systems, therefore their extreme advantage for aviation applications. He also insists in nuclear energy being the most suitable for achieving a significant increase of energy availability with a more limited consumption of resources. In any case, he maintains his view from 2017 that, unavoidably, limitations in resources will lead to a change in lifestyle as the population keeps growing as it also does its aspirational well-being.
- BW state that a paradigm change in aviation propulsion, such as hydrogen powered aircraft, will take 1 or 2 generations (25 to 50 years). He expresses no reliance in bio or synthetic fuels since their production imply a gigantic consumption of resources.
- In BW's view, digitalization will help improving aeronautic systems efficiency, but will not be key in changing paradigms. Flight is about aerodynamics and propulsion, not IT.
- BW believes that scenario "optimistic 2" is the more likely, but also reckons that in the longer term, it will evolve towards the "intermediate" (higher air transport prices causing an attrition in demand).
- He stresses his deep distrust in current politicians' continuous attempts to impose a non-viable reality by means of irrational laws.

JH

- In summer 2021, JH remains positive with regards to the ability of the aviation sector to achieve a contention of its emissions. Moreover, she perceives the COVID-19 traffic reduction as an opportunity to gain time for technology development.
- JH keeps relying on electrification as the main pathway to aircraft emissions reduction, pointing out that it is already a reality for small aircraft. She also expresses being deceived by the poor evolution of biofuels since the original interview in 2017.
- She heavily relies in the "enhancing effect" of digitalization, allowing for quicker turnaround times in aircraft design and technology developments.
- She favours scenario "optimistic 2".

- Her expectations are that traffic will recover in 2-3 years, with business travel suffering a permanent reduction. Although she recognizes that social movements such as flight-shame will have an impact in government action and measures, she trusts that, globally, passenger motivations will not change neither it will traffic.

KS

- KS keeps on having very limited confidence in the potential of hybrid and electric propulsion systems for aircraft application, and also remains very concerned about the long lead times that the definition of certification requirements for new technologies and aircraft architectures could take and the absence of life cycle cost analysis when decision makers define technology development rout-maps.
- He is still convinced that the future air transport scenario will feature a certain degree of demand attrition as a consequence of the internalization (one way or another) of environmental costs.
- KS has embraced, although with some reserves, the sustainable synthetic fuels as a technically viable solution for aviation sustainability, although recognizing that their impact in demand and market neither the scalability of production are not well understood yet. He judges that their introduction in air transport is by far much easier than hydrogen-based platforms, since these require significant aircraft architectural changes as well a simultaneous development of the supporting infrastructures.
- KS has evolved from a preference for the “intermediate” scenario in 2019 to a “optimistic 2” scenario in summer 2021, noting that it may easily evolve towards “intermediate”.
- In the last years he is developing a growing concern on lack of rationality and analysis in imposed policies leading to unattainable commitments from the industry (air transport as well as other sectors) related to emissions reduction goals.

So, in summary, most of the experts (BW, JV, BM, KS, BN, JH ...) from the energy and aeronautic sectors concur with scenario “optimistic 2” (aviation benefits from progress in alternative energies use in other sectors, releasing the pressure on fossil fuels use and thus postponing any potential crisis, keeping them available for aviation, allowing for aviation to further evolve in longer term technologies) as the most likely for the mid-term future of aviation, with many of them considering nuclear power (BW, JV, BN) as a key element to cleanly replace fossil fuels to cover energy demands in sectors other than

aviation. This is consistent with their views expressed in 2017 to 2019 interviews, although in summer 2021 some of them (BN, KS, BW, BM) have developed a relevant concern on said scenario potentially evolving to “intermediate” (reduced fossil fuels availability impacts on fuel costs and thus in air ticket prices, causing an important attrition in air transport demand) as a consequence of poorly defined policies rather than due to a real scarcity of fossil fuels.

Their assessment of the new circumstances concurring in the 2021 scenario is also very consistent. There is no reliance on the new technology proposals getting a significant development and fleet deployment in the mid-term. Reliance on electric or hybrid-electric solutions for achieving a significant reduction of aviation emissions remains low (only JH keeps her perception of high potential) and has in fact decayed for some experts (JV, BM, KS), although most of them reckon their suitability for new products and services covering low payloads and short ranges in interurban applications (BN, JH), but having an insignificant impact in overall aviation GHG emissions.

Most of the experts support keeping investigating all technology options to understand their real scope of application and limitations (JV, BN, KS), and reckon that some technologies will require longer development times due to their higher impact on aircraft architecture and to the need to simultaneously develop infrastructures, production scales and logistics in support of their operation. In that sense KS and BM perceive synthetic/sustainable fuels as a reasonable alternative for the mid-term since its impact in aircraft systems and architecture is very limited. On the other hand, BW really rejects the viability of the synthetic fuels based on the gigantic consumption of energy required for their production. None of the experts expressed confidence in biofuels.

The experts do not deny the viability of hydrogen-based propulsion, but reckon that their development can only happen in the long term (1 or 2 generations – 25 to 50 years for BW).

All experts from the aeronautic industry feel unfairly accused by society of heavily contributing to GHG emissions and climate change, while, in reality, aviation contribution to global emissions is relatively very small.

The perception of digitalization as a relevant factor to improve manufacturing and operations efficiency is generalized, although most of the experts believe it is not a key enabler for aviation sustainability or for an energy paradigm change (except for JH).

Views of the recovery of air traffic in the aftermath of COVID-19 are also significantly consistent, with an overall conviction that traveller motivations will drive the

recovery, overcoming the potential negative impact of social movements like flight-shame, but with a permanent not full recovery effect for business travel.

Most of the interviewees had little or even no knowledge about the emissions trading and compensation schemes, although some (KS) reckoned a good potential based on the fact that they imply an internalization of the aviation external effects.

5. Analysis of current expectations for the future through the results from an extended survey among aviation professionals.

With the aim to explore the real expectations from aviation, energy and tourism stakeholders the survey in appendix 2 was run among participants from the three sectors during July and August 2021, in a context framed by COVID-19 and its induced effects: infection waves, economic recession, travel restrictions, financially troubled airlines and manufacturers, etc.

150 answers have been collected, which is considered sufficient to perform a descriptive analysis, although in some cases the research team had to give up on characterizing results according to some socio demographic variables as a consequence of not having wide enough samples for some classes. In any case, the survey remains open with the expectation to collect a wider response range in the upcoming weeks.

Table 2 summarizes the sociodemographic characteristics of the sample.

Table 2: sample sociodemographic distribution as per different characteristics.

CHARACTERISTIC	Frequency	%Total
AGE	150	100
From 20 to 30 years.	6	4
From 21 to 30 years.	13	8,7
From 31 to 40 years.	31	20,7
From 41 to 50 years.	36	24
From 51 to 60 years.	53	35,3
From 61 to 70 years.	7	4,7
More than 70 years.	4	2,7
GENDER	150	100
Male	112	74,7
Female	34	22,7
I prefer not to answer	3	2
Invalid	1	0,7

OCCUPATION SECTOR	150	100
Air Transport	50	33,3
Aeronautical Industry	58	38,7
Energy	3	2
Tourism	3	2
Academia	20	13,3
Other	16	10,7
ACADEMIC BACKGROUND	150	100
Engineer/Scientists	102	68
Business & Economics	34	22,7
Other Social Sciences	6	4
Other studies	6	4
Invalid answer	2	1,3
WORK PROFILE	150	100
Technical (either workshop or office)	76	50,7
Management	58	38,7
Sales	6	4
Other	9	6
Invalid answer	1	0,7

More than 87% of the respondents are over 30 years old, which allows to assume that the respondents accumulate a significant professional experience and knowledge in their sectors.

There is a very significant difference between the number of female and male respondents. This is most probably due to the intrinsic existing gender employment differences in the aeronautic sector. For example, EUROSTAT data (EUROSTAT, 2021) about air transport employment in Spain (country where most of the respondent are original from) in 2019 show a 58.9%-41.1% male-female distribution. This difference is further exacerbated when focusing on senior roles (which is likely to be the case for many respondents as per their age and experience). For example, when examining the distribution of senior executive roles in the airline industry by gender, it is found that only 14% are women (STATISTA, 2021). There are initiatives in the sector to promote women employment in aviation, such as “The Air Transport Gender Equality Initiative” (ICAO, 2016b) launched by ICAO in support of Resolution A39-30 “ICAO Gender Equality Programme Promoting the Participation of Women in the Global Aviation Sector” (ICAO, 2016a).

It can be observed that the vast majority of respondents correspond to the academia, air transport and aeronautical industries, so the conclusions will be mostly relevant to these

sectors. An opportunity for future work is identified in further deploying the survey to capture more responses from the tourism and energy sectors.

Table 2 shows that there is a preponderance of technical academic backgrounds among the respondents (68%), while it is also observed that work profiles are equally balanced between technical (50,7%) and rest of profiles (management, sales and other). This result is particularly encouraging for the investigation since it implies that, on top of wide experience in their fields, many of the respondents have technical background knowledge as to reasonably build their own criteria with regards to the viability of the different aviation technical solutions under discussion. The fact that a significant number of these academic technical backgrounds have evolved into managerial positions makes them even more suitable to build a holistic view of the potential of the technology and policy proposals for aviation sustainability.

Respondents had seven different nationalities, although the vast majority corresponds to Spanish nationals (91,3%). Future studies should seek for an extension of the sample to collect more international data in order to allow for analysing the influence of nationality in the variables of interest.

5.1. Analysis of stake holders’ sensitivity to sustainability in general and to sustainability of aviation and tourism in general.

Figure 1 summarizes the results of the answers to the block related to individuals concern about sustainability and their assumption of personal sustainable behaviours.

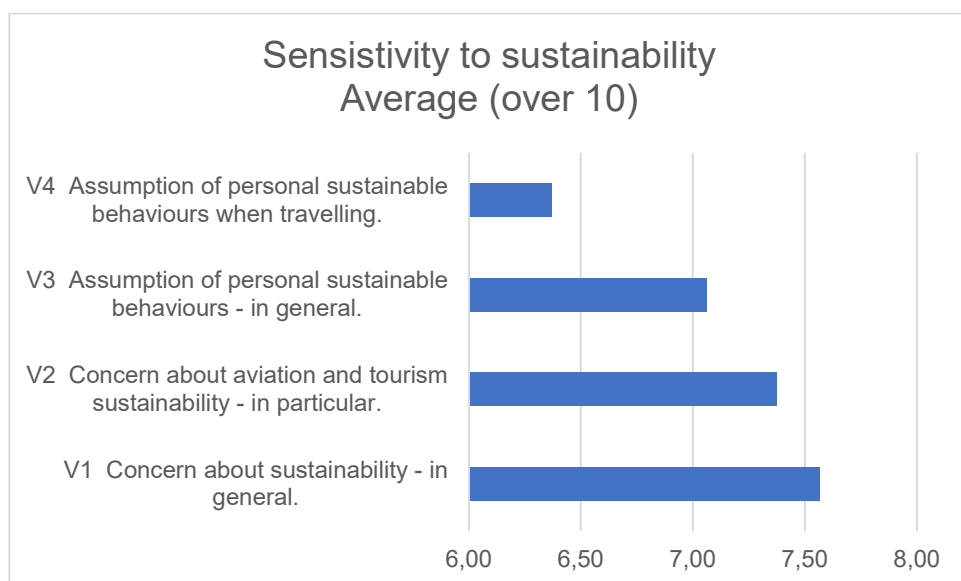


Figure 1: individuals concern on sustainability and assumption of personal sustainable behaviours.

The respondents expressed a high degree of concern about sustainability in general (average 7,57/10) and very slightly lower about aviation and tourism (average 7,37/10). However, their rank at lower levels their own assumption of personal sustainable behaviours (7,06/10), and even significantly lower when travelling (6,37/10). This is in fact consistent with previous social studies. Ram et al. (2013) describe how, travellers, in their search of happiness through changes and novelties by creating distance with their routines, run into a conscious unsustainable vacation behaviour creating a gap with their environmentally friendly everyday behaviours.

It is also remarkable that, in spite of the uniformity of nationality, education levels and professional sectors and profiles, the dispersion of the answers is significant, with standard deviations around 2 in all cases.

5.2. Analysis of reliance on technology proposals and policy measures.

Table 3 summarizes the reliance of the respondents to the different technology and policy options proposed to achieve a significant reduction of emissions in aviation.

Table 3. survey results on scoring of technology proposals and policy measures for air transport sustainability.

Scoring of technology proposals and policy measures.	Mean (over 10)	Standard Deviation
V5. Hydrogen powered aircraft.	6,78	2,46
V6. Sustainable biofuels.	6,91	2,17
V7. Sustainable synthetic fuels.	6,70	2,00
V8. Aircraft electrification.	5,52	2,76
V9. Air Traffic Control and Navigation improvements.	7,42	1,82
V10. More efficient infrastructures.	7,39	1,86
V11. Taxes on aviation (fuel, carbon).	5,29	2,74
V12. Emissions trading and compensation systems (such as CORSIA or EU ETS).	5,73	2,50
V13. New engine architectures.	7,59	1,83
V14. Radically new aircraft architectures.	6,79	2,29

All options proposed are scored higher than 5 in average, with the highest scores corresponding to new engine architectures (7,59/10), air traffic control and navigation improvements (7,42/10) and more efficient infrastructures (7,39/10). So, the respondents

have expressed greater reliance on technical improvements that, even being more limited in their expectations for emissions reduction, are achievable with a lower level of technology challenge and in shorter terms. Remarkably, those three preferred options also attain the lowest variability, with standard deviations ranging between 1,82 and 1,86.

The respondents put the lowest reliance in aviation taxes (5,29/10), aircraft electrification (5,52/10) and emissions trading and compensation systems (5,73/10). The low score of taxes in aviation can be easily explained by a natural reluctance from production agents from any sector to be subject to additional taxes, as this is always perceived as having a negative impact in demand, sales and profits; as well as imposing an additional administration burden. There is not much faith either in emissions trading and compensation systems, as these are probably perceived in a similar way than taxes. The poor score of aircraft electrification (the lowest of all technology proposals) is very consistent with the views from most of the experts interviewed. It is also relevant that these technologies and policies with the lowest average scores also hold the highest variability in responses, with standard deviations over 2,5.

Intermediate scores are attained by sustainable biofuels (6,91/10) and the new technology proposals: hydrogen powered aircraft (6,78/10), synthetic fuels (6,70/10) and radically new aircraft architectures (6,79/10).

These results are all consistent with the fact that the respondents place their expectation for a 50% aviation emissions reduction in 24 years (question V22) and that they set an expectation of a 45% emissions reduction in 2050 (question V23); as they concede a higher value to those technologies yielding more modest but certain and short-term improvements while reckoning that more significant emissions reductions will require decades.

5.3. Analysis of the relevance of the transversal factors.

Table 4 summarizes the relevance conceded by the respondents to four transversal factors potentially impacting in the development of technology proposals and policies for aviation emissions reduction: COVID-19 crisis, multisectoral coordination and integration, institutional and governmental support and digitalization.

Table 4. survey results on scoring of the importance of transversal factors for air transport sustainability.

Scoring of transversal factors	Mean (over 10)	Standard Deviation
V15. Digitalization will play a significant role in aviation sustainability.	6,87	2,11
V16. Authorities and institutions are doing enough to support the development, introduction and deployment of the most promising technologies/policies.	5,11	2,47
V17. The development, introduction and deployment of the most promising technologies and policies are dependent on the integration and coordination with other sectors.	7,39	1,71
V18. The COVID crisis has been substantial to the emergence and support of new technology proposals for aviation emissions reduction.	5,27	2,59

Jiménez-Crisóstomo et al. (2021) discussed the relevance of some of these transversal factors for both the pre-pandemic and during COVID-19 scenarios in a descriptive way. In their analysis, they pointed out that, in 2020, the COVID crisis coincidentally concurred with the emergence of new technology proposals for aviation emissions reduction based on use of hydrogen and synthetic fuels, although they did not explicitly establish any causality between them. The respondents to the survey reckon the existence of a moderate degree of causality between COVID crisis and new technology proposals with an average score of 5,27/10, with an important degree of scatter in their opinions (2,593 standard deviation). Needs to be noted that, even if there was not a specific question asking about this causality on the in-depth interviews questionnaire, some of the interviewees (BN) stated their existence.

The respondents assign a great importance to the multisectoral integration and coordination for the success of the technologies and policies for aviation emission reduction, scoring the highest, yet moderate, of the transversal factors (7,39/10) and with the lowest scatter (1,706 standard deviation).

Institutions and authorities' role in promotion of technologies and policies is scored with a "bare pass" (5,11/10), with a significant scatter (standard deviation 2,47).

Digitalization is seen by the respondents as an important but not outstanding factor aviation sustainability (average 6,87/10), with a significant scatter in results (standard deviation 2,109).

5.4. Analysis of future market recovery and sustainability expectations.

This block is covered by five dissimilar questions.

Question V19 aims at addressing whether there is in the aviation sector a concern about fuel availability, since it has been already proved that the concern about sustainability and emissions reductions does exist among the respondents. In average, the respondents scored this concern with a 5,90/10, which is quite a moderate result. However, this distribution presents one of the most scattered responses, with a standard deviation of 2,6 and a mode of 8 (18%), certainly far from the average, with 50% of the respondents scoring seven or higher, reflecting their preoccupation for a potential oil scarcity in aviation.

The expectation to achieve a 50% emissions reduction in 2050, explored in question V20, is scored with an average of 6,44/10 with a standard deviation of 2,075. So stake holders in the sector are fairly confident in the sector capability to reduce their emissions in the long run, although this is not a wide spread belief.

According to the survey (question V21), the majority of aviation stake holders trust that traffic will recover in less than 4 years (68,7%) with 95,3% quoting an expectation for recovery below 7 years. COVID crisis is expected to be a long but conjunctural one, as the traffic continuous growth paradigm described by many authors before the pandemic and never disputed by aviation institutions and private entities (Jiménez-Crisóstomo, 2020) still stands.

Responses to questions V22 about time expectations for a 50% aviation emission reduction and V23 about emission reduction expectations in 2050 have already been discussed, to conclude that the participants reckon that a significant reduction will take decades. This, combined with the expectation for a quick recovery in traffic, is perfectly consistent with the view from most of experts interviewed, that chose the scenario “optimistic 2”, as the expectation is that the traffic recovery will happen no matter that it will not go along with an emissions reduction.

6. Future research directions.

As a first step the authors intend to further extend the survey sample and perform a detail statistical analysis to get deeper understanding of the potential relations or dependencies between sociodemographic variables and those describing the perceptions and expectations regarding aviation sustainability; as well as potential relations among different perception and expectation describing variables. A clear goal of the survey expansion will be to collect a wider base of international respondents, as well as more respondents from the energy and tourism sectors.

The research so far has widely covered the analysis of perceptions and motivations from air transport and aviation industries as well as academia stake holders with regards to aviation sustainability and emissions reduction. Further research will focus on policy makers and institutional leaders as their motivations and beliefs are key for the support and development of technology proposals and policies. The authors are also considering extending the study to the general public.

7. Conclusions and recommendations.

The use of a mixed methodology combining qualitative in-depth interviews with experts in two different historic moments, together with the quantitative analysis of the results of a survey run among aviation stake holders, has proven to be a suitable method to characterise the real perceptions and expectations about aviation sustainability within the sector, and, by triangulation of both methods, to drive the following conclusions. Aviation stake holders:

- remain confident that aviation will recover 2019 traffic levels in a moderate time frame and will continue the traffic growth track, thus the need to devote efforts to reduce emissions.
- are aware of the new technology proposals in the current aviation sustainability debate, even of those more recently arisen during 2020 (fundamentally synthetic fuels and hydrogen-based powering), although those are perceived as longer-term solutions.
- are aware of the difficulties to develop and implement new breaking technologies in aviation and thus reckon that their development and deployment so to achieve significant emissions reductions will take decades.

- do not have a homogeneous and aligned view of which technologies and/or policies have a higher potential (see the analysis of the interviews and simply mind the very high dispersion in most of the scoring questions in the query). This is a very relevant result, since it implies that it will be very difficult to get the required consensus to define committed action route maps. In this context, it is even more relevant to extend the study to institutional stake holders and policy makers.
- are reluctant to aviation taxes as a measure to reduce emissions.
- have lost (from the interviews analysis) or have low faith (from the survey results) in pure aircraft electrification potential for emissions reduction.
- value the new engine architectures as the most practical way to achieve emissions reductions, even with a contained scope.
- reckon the difficulty and the need for long term inter sectorial coordination for progressing in the development and deployment of adequate technologies and policies.
- identify digitalization as a valuable tool supporting aviation path to sustainability, but not of utmost importance.
- do not know much and perceive a limited value in emissions compensation and trading systems.

In this context, the following recommendations apply:

- the existing consensus on new engine architectures potential for emissions reduction should be levered at government, institutional and industry levels to achieve tangible emission reductions in the mid-term.
- bigger efforts should be done by the responsible institutions (i.e., ICAO for CORSIA and EU for EU ETS) to explain to the sector in particular and to the society in general the mechanisms and benefits of the compensation and trading system, as aviation will necessarily need to rely on them for decades to achieve a more significant reduction of net emissions.
- all technology proposals currently under debate should be further explored to understand scientifically their viability and real ranges of application. Again, this effort needs to be supported by government, institutional and industry stake holders.
- social expectations on aviation sustainability should be managed by the sector in a realistic manner, stressing its social and economic benefits, while humbly reckoning the difficulties to minimize its environmental effects despite the enormous efforts in place.

Scenario “optimistic 2” is the most likely, and both the sector and the society need to feel comfortable with it.

Acknowledgements

We are extremely thankful to the experts that have concurred with being “in depth interviewed”, not once, but twice in a three to four years timespan. We sincerely appreciate their effort and disposition as well as their sincerity by offering their own personal views independently from corporate or sectorial communication streams.

Also, many thanks to all the participants in the survey and to those that helped to spread it in their professional networks.

References

- AAPA. (2021). *AAPA AIRLINES COMMIT TO NET ZERO CARBON EMISSIONS REDUCTION BY 2050*. Association of Asia Pacific Airlines. https://www.aapairlines.org/wp-content/uploads/2021/09/AAPA_PR_Issue12_CommitmentToNetZeroCarbonEmissionsReduction_Recovery_13Sep21.pdf
- Abate, M., Christidis, P., & Purwanto, A. J. (2020). Government support to airlines in the aftermath of the COVID-19 pandemic. *Journal of Air Transport Management*, 89(September), 101931. <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2020.101931>
- Airbus. (2019). *Global Market Forecast. Cities, Airports & Aircraft. 2019-2038*. <https://www.airbus.com/content/dam/corporate-topics/strategy/global-market-forecast/GMF-2019-2038-Airbus-Commercial-Aircraft-book.pdf>
- Amankwah-Amoah, J. (2020a). Note: Mayday, Mayday, Mayday! Responding to environmental shocks: Insights on global airlines’ responses to COVID-19. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 143(September), 102098. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2020.102098>
- Amankwah-Amoah, J. (2020b). Stepping up and stepping out of COVID-19: New challenges for environmental sustainability policies in the global airline industry. *Journal of Cleaner Production*, 271, 123000. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123000>
- ATAG Air Transport Action Group. (2020). *Waypoint 2050. Balancing growth in connectivity*

- with a comprehensive global air transport response to the climate emergency. September.*
<https://aviationbenefits.org/environmental-efficiency/climate-action/waypoint-2050/>
- Benito, A., & Benito, E. (2012). *Descubrir el Transporte Aéreo y el Medio Ambiente* (AENA (ed.)). AENA.
- Best, R. de. (2020). *Bail or bust for Europe's airlines. June 26, 2020.* Statista Infographics.
<https://www.statista.com/chart/22121/airline-bailouts-in-europe/>
- Boeing Commercial Aviation. (2019). *Boeing Commercial Market Outlook 2019-2038.*
- Boeing Commercial Aviation. (2020). *Boeing Commercial Market Outlook 2020 – 2039.*
https://www.boeing.com/resources/boeingdotcom/market/assets/downloads/2020_CMO_PDF_Download.pdf
- Bonilla, S. H., Silva, H. R. O., Terra, M., Gonçalves, R. F., & Sacomano, J. B. (2018). Industry 4.0 and Sustainability Implications: A Scenario-Based Analysis of the Impacts and Challenges. *Sustainability*. <https://doi.org/10.3390/su10103740>
- Burgess, R. . (1981). Keeping a research diary. *Cambridge Journal of Education*, 11(1), 75–83.
- Christensen, L. (2016). Environmental Impact of Long Distance Travel. *Transportation Research Procedia*, 14, 850–859. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.05.033>
- Corchero, G., & Montañés, J. L. (2003). *An approach to the use of hydrogen for commercial aircraft engines.*
- Dalla, B., Franco, D. De, Coviello, N., & Pastrone, D. (2017). Comparative specific energy consumption between air transport and high-speed rail transport: A practical assessment. *Transportation Research Part D*, 52, 227–243. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2017.02.006>
- Efthymiou, M., & Papatheodorou, A. (2019). EU Emissions Trading scheme in aviation: Policy analysis and suggestions. *Journal of Cleaner Production*, 237, 117734.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.117734>
- EUROPEAN COMMISSION. (2011). *Flightpath 2050 Europe's Vision for Aviation.*
<https://doi.org/10.2777/50266>
- EUROPEAN COMMISSION. (2019). *The European Green Deal.*
<https://doi.org/10.2307/j.ctvd1c6zh.7>
- EUROPEAN COMMISSION. (2020a). *A hydrogen strategy for a climate-neutral Europe.*
<https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- EUROPEAN COMMISSION. (2020b). Sustainable and Smart Mobility Strategy – putting European transport on track for the future - Communication. In *European Commission Communication*.
<https://ec.europa.eu/info/law/better-regulation/have-your-say/initiatives/12438-Sustainable-and-Smart-Mobility-Strategy>

- EUROPEAN COMMISSION. (2021a). *European Green Deal: Commission proposes transformation of EU economy and society to meet climate ambitions - Fit for 55*. Press Release. https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_21_3541
- EUROPEAN COMMISSION. (2021b). *Proposal for a directive amending the EU Emissions Trading System* (Vol. 3, Issue 2). https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/revision-eu-ets_with-annex_en_0.pdf
- EUROPEAN COMMISSION. (2021c). *ReFuelEU Aviation – sustainable aviation fuels. 0205*. https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/refueleu_aviation_-_sustainable_aviation_fuels.pdf
- EUROSTAT. (2021). *Air Transport Employment Statistics 2019*. <http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/submitViewTableAction.do>
- Gascón Gutiérrez, J. (2013). ¿Reducir creciendo? La estrategia del sector aéreo para mitigar su papel en el cambio climático visto desde la soberanía alimentaria. *Actas Del Congreso Internacional América Latina: La Autonomía de Una Región*, 898–910. <http://hal.archives-ouvertes.fr/halshs-00875594/>
- Gössling, S. (2019). Celebrities , air travel , and social norms. *Annals of Tourism Research*, 79(October), 102775. <https://doi.org/10.1016/j.annals.2019.102775>
- Gössling, S. (2020). Risks, resilience, and pathways to sustainable aviation: A COVID-19 perspective. *Journal of Air Transport Management*, 89(September). <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2020.101933>
- Gössling, S., & Cohen, S. (2014). Why sustainable transport policies will fail: EU climate policy in the light of transport taboos. *Journal of Transport Geography*, 39, 197–207. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2014.07.010>
- Gössling, S., Hall, C. M., Peeters, P., & Scott, D. (2010). The Future of Tourism: Can Tourism Growth and Climate Policy be Reconciled? A Climate Change Mitigation Perspective. *Tourism Recreation Research*, 35(1), 119–130. <https://doi.org/10.1080/02508281.2010.11081628>
- Gössling, S., Humpe, A., & Bausch, T. (2020). Does ‘flight shame’ affect social norms? Changing perspectives on the desirability of air travel in Germany. *Journal of Cleaner Production*, 266. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122015>
- Gössling, S., Lyle, C., & Gössling, S. (2021). Transition policies for climatically sustainable aviation Transition policies for climatically sustainable aviation. *Transport Reviews*, 0(0), 1–16. <https://doi.org/10.1080/01441647.2021.1938284>
- Gössling, S., Peeters, P., Broderick, J., & Upham, P. (2007). Voluntary carbon offsetting

- schemes for aviation: Efficiency, credibility and sustainable tourism Sustainable Tourism. *Journal of Sustainable Tourism*, 15(3). <https://doi.org/10.2167/jost758.0>
- Gössling, S., & Scott, D. (2018). The decarbonisation impasse: Global tourism leaders' views on climate change mitigation. *Journal of Sustainable Tourism*, 26(21), 1–9. https://www.researchgate.net/publication/329883149_The_decarbonisation_impasse_global_tourism_leaders_views_on_climate_change_mitigation
- Guyon, I., Amine, R., Tamayo, S., & Fontane, F. (2019). Analysis of the opportunities of industry 4.0 in the aeronautical sector. *IMCIC 2019 - 10th International Multi-Conference on Complexity, Informatics and Cybernetics, Proceedings*, 2, 62–67.
- Hall, M. (2010). Changing Paradigms and the Global Change. From Sustainable to Steady-State Tourism. *Tourism Recreation Research*, 35(2), 131–143. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Haselbach, F. (2019). Key Technologies for the next Generation of Civil Aircraft Engines. *ISABE-2019-24044*.
- Hernández, J. (2008). TURISMO DE MASAS Y TRANSPORTE: EL GRAN RETO DEL TURISMO DEL SIGLO XXI. *Scripta Nova REVISTA ELECTRÓNICA DE GEOGRAFÍA Y CIENCIAS SOCIALES*, XII(258). <http://www.ub.edu/geocrit/sn/sn-258.htm>
- Higham, J.E.S., Hanna, P., Cohen, S., Gossling, S., Hopkins, D., & Cocolas, N. (2021). Reconfiguring aviation for a climate-safe future: are airlines sending the wrong message? *Journal of Travel Research*, September. <https://doi.org/10.1177/00472875211033648>
- Higham, James E.S., Cohen, S. A., & Cavaliere, C. T. (2014). Climate Change, Discretionary Air Travel, and the “Flyers” Dilemma.” *Journal of Travel Research*, 53(4), 462–475. <https://doi.org/10.1177/0047287513500393>
- IATA. (2019). *Aviation and climate change - Fact Sheet 2. November 2020*, 1–2. <https://www.iata.org/en/iata-repository/pressroom/fact-sheets/fact-sheet--climate-change/>
- IATA. (2021). *Aviation & Climate Change Fact Sheet 2021* (Issue July). <https://www.iata.org/en/iata-repository/pressroom/fact-sheets/fact-sheet--climate-change/>
- ICAO. (2016a). *Resolutions Adopted at the 39th Session of the Assembly. October*, 1–138. http://www.icao.int/Meetings/a39/Documents/Resolutions/a39_res_prov_en.pdf
- ICAO. (2016b). *The Air Transport Gender Equality Initiative*.
- ICAO. (2020). *ICAO and the United Nations Sustainable Development Goals*. ICAO AVIATION DEVELOPMENT. <https://www.icao.int/about-icao/aviation-development/Pages/SDG.aspx>
- IEA. (2016). *World Energy Outlook 2016. International Energy Agency: Paris, France*, 28.

- https://doi.org/http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/WEB_World_EnergyOutlook2015ExecutiveSummaryEnglishFinal.pdf
- IEA. (2019). *World Energy Outlook 2019*. [https://doi.org/ISBN 978-92-64-97300-8](https://doi.org/ISBN%20978-92-64-97300-8)
- International Energy Agency. (2009). Transport Energy and CO₂: Moving towards Sustainability. In *Energy*. <https://doi.org/10.1787/9789264073173-en>
- International Civil Aviation Organization (ICAO). (2010). *Asamblea - 37º Periodo De Sesiones*.
https://www.icao.int/Meetings/AMC/Assembly37/Documents/ProvisionalEdition/a37_re_s_prov_es.pdf
- International Civil Aviation Organization (ICAO). (2016). *Asamblea - 39º Periodo de Sesiones*.
https://www.icao.int/Meetings/a39/Documents/10082_es.pdf
- International Civil Aviation Organization (ICAO). (2020). *Effects of Novel Coronavirus (COVID-19) on Civil Aviation: Economic Impact Analysis Air Transport Bureau Contents. June*.
https://www.icao.int/sustainability/Documents/COVID-19/ICAO_Coronavirus_Econ_Impact.pdf
- International Civil Aviation Organization (ICAO). (2013). *Asamblea – 38º Periodo De Sesiones*. 128. https://www.icao.int/Meetings/a38/Documents/10024_es.pdf
- International Civil Aviation Organization (ICAO). (2006). *Convention on International Civil Aviation*. 1–116. http://www.icao.int/publications/Documents/7300_9ed.pdf
- Japan Aircraft Development Corporation. (2019). *Worldwide Market Forecast 2019-2038* (Issue March).
- Japan Aircraft Development Corporation. (2020a). *Positioning of JADC 's demand forecast over COVID-19* (Issue July).
- Japan Aircraft Development Corporation. (2020b). *Worldwide Market Forecast*. In *Japan Aircraft Development Corporation*. <http://www.jadc.or.jp/wmf13.pdf>
- Jiménez-Crisóstomo, A. (2017). *Análisis de la Sostenibilidad Energética del Transporte Aéreo y su Impacto en el Turismo*. Universitat Oberta de Catalunya.
- Jiménez-Crisóstomo, A. (2020). Análisis de la sostenibilidad energética del transporte aéreo y su impacto en el turismo. *Investigaciones Turísticas*, 20, 31.
<https://doi.org/10.14198/inturi2020.20.02>
- Jiménez-Crisóstomo, A., Rubio-Andrada, L., & Celemín-Pedroche, M. S. (2019). La rigidez del paradigma energético del transporte aéreo. In Universidad Autónoma de Madrid (Ed.), *I INTERNATIONAL FORUM ON CIRCULAR ECONOMY , ECO-INNOVATIONS AND TOURISM* (pp. 259–290). ACCI ediciones (Asociación cultural y científica

- iberoamericana).
- Jiménez-Crisóstomo, A., Rubio-Andrada, L., Celemín-Pedroche, M. S., & Escat-Cortés, M. (2021). The constrained air transport energy paradigm in 2021. *Sustainability (Switzerland)*, *13*(5), 1–23. <https://doi.org/10.3390/su13052830>
- Maertens, S., Grimme, W., Scheelhaase, J., & Jung, M. (2019). Options to Continue the EU ETS for Aviation in a CORSIA-World. *Sustainability (Switzerland)*, *X*, 1–19.
- Maoui, G. (2016). *Innovation Takes Off. Clean Sky* (Le cherche midi éditeur (ed.)).
- McKinsey & Company. (2020). *Hydrogen-powered aviation* (Issue May). <https://doi.org/10.2843/766989>
- Melissa A. Leamon, Edwin J. Rincon, Nichole M. Robillard, J. J. S. (2019). Sustainable Skies: How the Airline Industry is Addressing Climate Change. In *Journal of Strategic Innovation and Sustainability* (Vol. 14, Issue 2). <https://doi.org/10.33423/jsis.v14i2.1373>
- Michaels, K. (2021). *Why Air Travel's Recovery May Be Years Away*. Aviation Week Network. 07 Sept 2021. https://aviationweek.com/air-transport/airlines-lessors/opinion-why-air-travels-recovery-may-be-years-away-0?utm_rid=CPEN1000017771206&utm_campaign=30174&utm_medium=email&elq2=43613525d4ac48a6b530343fc35a4b44
- Ley 7/2021, de 20 de mayo, de cambio climático y transición energética, Boletín Oficial del Estado 26798 (2021). <https://www.boe.es/boe/dias/2021/05/21/pdfs/BOE-A-2021-8447.pdf>
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (2020). Plan Nacional Integrado de Energía y Clima 2021-2030. In *Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, Gobierno de España*. <https://www.miteco.gob.es/es/prensa/pniec.aspx>
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (2020). *Hoja de Ruta del Hidrógeno*. https://www.miteco.gob.es/images/es/hojarutahidrogenorenovable_tcm30-525000.PDF
- Nathen, P., Bardenhagen, P., & Taylor, J. (2021). Architectural performance assessment of an electric vertical take-off and landing (e-VTOL) aircraft based on a ducted vectored thrust concept. *Lilium*, 1–35.
- NLR & SEO. (2021). *Destination 2050: A Route to Net Zero European aviation*. <https://a4e.eu/policies/sustainability/>
- OPEC. (2009). *World Oil Outlook 2009*. https://www.opec.org/opec_web/static_files_project/media/downloads/publications/WO O 2009.pdf

- OPEC. (2016). World Oil Outlook 2016. In *Organization of the Petroleum Exporting Countries*. <https://doi.org/10.1190/1.1439163>
- OPEC. (2019). *World Oil Outlook 2019*. https://www.opec.org/opec_web/static_files_project/media/downloads/publications/WO_O_2019.pdf
- OPEC. (2020). *World Oil Outlook 2020*. <https://woo.opec.org/pdf-download>
- OSD Manufacturing Technology Program. (2018). Manufacturing Readiness Level (MRL) Deskbook Versi 2.4. In *Department of Defense*. http://www.dodmrl.com/MRL_Deskbook_2018.pdf
- Pallini, T. (2021). *Even more iconic planes are disappearing from the skies earlier than planned as the coronavirus continues to wreak airline havoc*. Businessinsider.Com. <https://www.businessinsider.com/coronavirus-havoc-forces-airlines-to-retire-iconic-planes-sooner-2020-3>
- Peeters, Paul, Higham, J., Kutzner, D., Cohen, S., & Gössling, S. (2016). Are technology myths stalling aviation climate policy? *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 44(May), 30–42. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2016.02.004>
- Peeters, Pm, Middel, J., & Hoolhorts, a. (2005). Fuel efficiency of commercial aircraft: An overview of historical and future trends. *National Aerospace Laboratory NLR: Amsterdam*, November, 1–37. <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Fuel+efficiency+of+commercial+aircraft:+An+overview+of+historical+and+future+trends#4>
- Perez, A. S., Mesanat, G. G., Colaboraciones, O., González, P., & Sanchis, M. G. (2008). *Apuntes de Metodología de la Investigación en Turismo* (Organización Mundial del Turismo (ed.)). https://lacoa.weebly.com/uploads/1/0/5/0/10504504/apuntes_de_metodologia_de_la_investigacion_en_turismo.pdf
- Ram, Y., Nawijn, J., & Peeters, P. M. (2013). Happiness and limits to sustainable tourism mobility: a new conceptual model. *Journal of Sustainable Tourism*, 21(7), 1017–1035. <https://doi.org/10.1080/09669582.2013.826233>
- Ritchie, B. W., Sie, L., Gössling, S., & Dwyer, L. (2020). Effects of climate change policies on aviation carbon offsetting: a three-year panel study. *Journal of Sustainable Tourism*, 28(2), 337–360. <https://doi.org/10.1080/09669582.2019.1624762>
- Sautu, Ruth; Boniolo, Paula; Dalle, Pablo; Elbert, R. (2005). La construcción del marco teórico en la investigación social. In CLACSO (Ed.), *Manual de metodología. Construcción del*

- marco teórico, formulación de los objetivos y elección de la metodología.* (Colección).
- Schatzman, L. & Strauss, A. (1973). Chapter 6 “Strategy for Recording.” In *Field Research: Strategies for a Natural Sociology*. Englewood Cliffs: Prentice Hall.
- Scheelhaase, J., Maertens, S., Grimme, W., & Jung, M. (2018). EU ETS versus CORSIA – A critical assessment of two approaches to limit air transport’s CO₂ emissions by market-based measures. *Journal of Air Transport Management*, 67(July 2017), 55–62. <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2017.11.007>
- STATISTA. (2021). *Gender distribution of selected senior roles in the airline industry in 2020*. <https://www.statista.com/statistics/740571/airline-industry-senior-roles-by-gender/>
- Sürer, M.G., Arat, H. T. (2018). *State of art of hydrogen usage as a fuel on aviation. January*. <https://doi.org/10.26701/ems.364286>
- Taylor, S. ., & Bogdan, R. (1984). *Introducción a los métodos cualitativos de investigación* (Paidós (ed.)). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- UN General Assembly. (2015). Resolution 70/1 Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development. In *UN Resolutions A/RES/70/1*. <https://doi.org/10.1163/157180910X12665776638740>
- UNFCCC. (2015). Acuerdo de París. In *Cop21* (Vol. 21930). <http://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/spa/109s.pdf>
- UNFCCC. (2021). *Race to Zero*. United Nation Framework Convention on Climate Change. <https://racetozero.unfccc.int/join-the-race/whos-in/>
- United States 95th Congress. (1978). *Public Law 95-504 (Aviation Deregulation Act)*. 102(4), 50.
- Universidad de Verano de Teruel. (2021). *Avances y desarrollo del sector aeronáutico y aeroespacial. VII Edición*. Fundación Universitaria Antonio Gargallo. <https://fantoniogargallo.unizar.es/curso/2021/avances-y-desarrollo-del-sector-aeronautico-y-aeroespacial-vii-edicion>
- Whiriskey, K. (2021). CO₂ Reduction Resource Intensity Deployment at Scale. In International Civil Aviation Organization (ICAO) (Ed.), *ICAO - Synthetic Fuels for Aviation - 6th May 2021*. [https://www.icao.int/Meetings/Stocktaking2021/Documents/Prestocktaking webinar 3/ICAO Prestocktaking Webinar - Keith Whiriskey - Bellona Foundation.pdf](https://www.icao.int/Meetings/Stocktaking2021/Documents/Prestocktaking%20webinar%203/ICAO%20Prestocktaking%20Webinar%20-%20Keith%20Whiriskey%20-%20Bellona%20Foundation.pdf)
- Wong, K., Rudd, C., Pickering, S., & Liu, X. L. (2017). Composites recycling solutions for the aviation industry. *Science China Technological Sciences*, 60(9), 1291–1300. <https://doi.org/10.1007/s11431-016-9028-7>


- World Commission on Environment and Development. (1987). *Report of the World Commission on Environment and Development : Our Common Future*.
- World Commission on Environment and Development. (1992). *Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo. 1992*.
http://www.lacult.unesco.org/docc/1992_Declaracion_Rio_principios.pdf
- Young, M., Higham, J. E. S., & Reis, A. C. (2014). 'Up in the air': A conceptual critique of flying addiction. *Annals of Tourism Research*, 49, 51–64.
<https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.annals.2014.08.003>
- Young, M., Markham, F., Reis, A. C., & Higham, J. E. S. (2015). Flights of fantasy: A reformulation of the flyers' dilemma. *Annals of Tourism Research*, 54, 1–15.
<https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.annals.2015.05.015>

Appendix 1. Interview guide supporting the semi-structured interviews.

- The measures currently proposed by the aviation industry aiming at improving its energy efficiency, are they enough to compensate the energy consumption derived from the expected traffic growth?
- Which aviation energy efficiency improvement measures have a higher potential, and which are at the lower end?
- Do you believe that change in aviation energy paradigm is possible in the mid-term?
- What is your opinion about biofuels? What is their potential for aviation?
- **What is your opinion about synthetic fuels? What is their potential for aviation?**
- Do you believe that utilization of alternative energies is more difficult for aviation than for other sectors?
- **Do you believe that digitalization will be a key factor in aviation sustainability?**
- Which of the following potential future scenarios you believe is more likely?
 - Optimistic 1: aviation is capable of developing technologies that are capable of making traffic growth compatible with limitations in the utilization of fossil fuels.
 - Optimistic 2: aviation benefits from progress in alternative energies use in other sectors, releasing the pressure on fossil fuels use and thus postponing any potential crisis, keeping them available for aviation, allowing for aviation to further evolve in longer term technologies.
 - Intermediate: reduced fossil fuels availability impacts on fuel costs and thus in air ticket prices, causing an important attrition in air transport demand, partially deviated to alternative transportation modes and partially compensated by changes in traveller behaviour (particularly in tourists as having a higher sensitivity to prices).
 - Pessimistic 1: deep crisis in air transport, significantly worse than in any other sector.
 - Pessimistic 2: global recession.
- In case of an air transport crisis scenario, do you believe that it would be most likely caused by energy scarcity or environmental reasons?
- What is your opinion regarding emissions trading and compensation schemes in aviation?
- **How will future air transport recover in the wake of COVID-19?**

- Do you believe that the “flight shame” movement may have a significant impact in air transport demand and business models?

Appendix 2. Questionnaire supporting the survey.



Questionnaire on sustainability in air transport

Questions on the topic

Our team from the Universidad Autónoma de Madrid is performing a research in air transport sustainability. We are genuinely interested in understanding the expectations and beliefs from stake holders in the aviation, energy and tourism sectors (as well as academics from any of those fields) regarding air transport emissions reduction.

With that purpose, we would appreciate if you could support our research by taking this short survey. It will only take 10 to 12 minutes.

If you find it interesting, we will also highly appreciate if you could help us by forwarding the survey to your colleagues and acquaintances.

No need to mention that all the data are anonymous and confidential and will be statistically integrated for publication, guaranteeing individual surveys secrecy.

Thank you in advance for your invaluable support.

1. Please rate from 0 (minimum) to 10 (maximum) your personal degree of

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1. concern about sustainability - in general.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
2. concern about aviation and tourism sustainability - in particular.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
3. assumption of personal sustainable behaviours - in general.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
4. assumption of personal sustainable behaviours when travelling.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

3. What are the most relevant transversal factors enhancing aviation emissions reduction? Please rate from 0 (minimum) to 10 (maximum) your degree of belief that

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
15. digitalization will play a significant role in aviation sustainability.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
16. authorities and institutions are doing enough to support the development, introduction and deployment of the most promising technologies/policies.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
17. the development, introduction and deployment of the most promising technologies and policies are dependent on the integration and coordination with other sectors.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

4. Please rate from 0 (minimum) to 10 (maximum) your degree of belief that

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
18. the COVID crisis has been substantial to the emergence and support of new technology proposals for aviation emissions reduction.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
19. aviation could suffer of an eventual shortage of oil resources up to 2050.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
20. will become sustainable (significant emissions reduction, let's say around 50% or more) in 2050.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

5. Post COVID air traffic recovery to 2019 levels will take

- 1. Less than 2 years.
- 2. from 2 to 4 years.
- 3. from 5 to 7 years.
- 4. from 8 to 9 years.
- 5. More than 9 years.

6. How long do you think it will take for those technologies and policies to have a significant impact in emissions reduction (say 50% with respect to 2019 levels)? State a number of years.

7. What do you think is a reasonable expectation for aviation emissions reduction in 2050 (with respect to 2019 levels)? State a percentage of reduction (from 0% to 100%)

0 100



Questionnaire on sustainability in air transport

Profile of the interviewee

8. Age

- 1. Less than 21 years.
- 2. From 21 to 30 years.
- 3. From 31 to 40 years.
- 4. From 41 to 50 years.
- 5. From 51 to 60 years.
- 6. From 61 to 70 years.
- 7. More than 70 years.

Age

9. Gender

- 1. Male
- 2. Female
- 3. I prefer not to answer

Gender

10. Work

	1. Air Transport	2. Aeronautical Industry	3. Energy	4. Tourism	5. Academia	6. Other
Sector in which you work	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

11. Education

	1. Engineer/Scientists	2. Business & Economics	3. Other Social Sciences	4. Other studies
Technical/academic background	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

12. Work profile

	1. Technical (either workshop or office)	2. Management	3. Sales	4. Other
Work profile	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

13. Country of Nationality

Other (Please specify the country)

14. Company (voluntary)

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Las principales conclusiones se han ido ofreciendo en el capítulo de resultados a través de las secciones de conclusiones de los tres artículos académicos que soportan la Tesis, articulando simultáneamente las respuestas a las tres preguntas de la investigación y confirmando la propia tesis.

La primera pregunta, Q1 (*En un escenario de crecimiento sostenido de turismo y transporte aéreo, y considerando las dificultades de la aviación para cambiar radicalmente el paradigma energético de las aeronaves ¿cabe esperar en el medio plazo una crisis en ambos sectores derivada de una escasez física-real de los combustibles fósiles?*), quedó respondida, con un rotundo no, en el capítulo 4.1., donde a través del artículo “*Análisis de la sostenibilidad energética del transporte aéreo y su impacto en el turismo*” (Jiménez-Crisóstomo, 2020) y del análisis de la evolución histórica y proyecciones futuras del consumo energético global y del transporte aéreo se llega a la conclusión de que, incluso en un contexto francamente expansivo, ningún escenario energético futuro predice una escasez física de petróleo de manera que el suministro de una creciente industria del transporte aéreo pudiera verse comprometido por razón de escasez real de reservas. Sin embargo, la sensibilidad de los precios del petróleo a cuestiones geo-políticas ha sido y será un factor muy importante en la configuración del mercado del transporte aéreo y el turismo, pues el combustible es el principal coste directo de las aerolíneas, y las variaciones de su precio tienen un gran impacto en los típicamente bajos márgenes de las aerolíneas.

El incremento del consumo de petróleo en el transporte aéreo, tanto en términos absolutos como relativos (con respecto a otros sectores), hará que el sector, junto con el íntimamente ligado sector turismo, sean identificados como sectores “deudores netos” de sostenibilidad, y sean señalados por su falta de capacidad para evolucionar hacia tecnologías y operaciones con menor impacto ambiental. Por ello, una de las conclusiones de este capítulo es que resulta más probable un escenario futuro de crisis medioambiental (o al menos de afección a ambos sectores por razón de medidas de protección del medio ambiente o por razón de efectos de deterioro

medioambiental en destinos turísticos) que uno de escasez energética, confirmada tanto por métodos pseudo-cuantitativos como cualitativos.

Aunque este análisis previo a la pandemia pudiera parecer coyuntural (contexto expansivo de ambos sectores, asociado a un entorno de crecimiento económico global), en realidad es completamente estructural, pues:

- es un análisis conservador, porque responde a la peor situación posible en términos de suficiencia energética.
- el análisis histórico de la demanda de transporte aéreo realizado en el capítulo 1.1. demuestra el carácter resiliente de la misma. De igual manera, en el capítulo 4.2., se discute cómo las predicciones de recuperación de mercado tras el impacto inicial de la pandemia ofrecidas por instituciones y corporaciones del sector contemplan en todos los escenarios la vuelta a una senda de crecimiento.

En consecuencia, también se concluye en el capítulo 4.1., que el transporte aéreo necesita recurrir a sistemas de comercio de emisiones, que estimulen la persecución de la eficiencia energética, y de compensación, admitiendo que el sector por sí sólo no podrá llegar a una situación de neutralidad en emisiones, confirmando en primera instancia la tesis de la investigación.

La segunda pregunta, Q2 (*¿Ha supuesto la crisis del COVID-19 un cambio sustancial en las expectativas de reducción de emisiones del transporte aéreo en el medio plazo?*) queda fundamentalmente respondida en el capítulo 4.2. y definitivamente refrendada con una aportación metodológica adicional en el capítulo 4.3. con un “no”. El análisis comparativo de escenarios desarrollado en el capítulo 4.2 permite observar que la nueva situación de mercado derivada del COVID no favorece el desarrollo, implementación y despegue de nuevas tecnologías que posibiliten una reducción radical de las emisiones. En el escenario pre-COVID la limitación de mercado para la implantación de estas tecnologías residía en una combinación de amplios números de órdenes de aviones de tecnología actual para suministrar en la próxima década, cadenas de producción y suministro saturados con esas órdenes,

largas vidas operativas (del orden de 20 años) para amortizar los altos costes de los activos, y largos periodos de desarrollo de nuevas aeronaves (del orden de 10 años, o superiores en caso de incorporar nuevas tecnologías). Mientras que en escenario COVID, las limitaciones de mercado cambian, pero no desaparecen: la demanda de transporte aéreo cae drásticamente y su recuperación es incierta, las órdenes de aviones disminuyen y las entregas se aplazan, pero la capacidad productiva se ajusta a las nuevas expectativas de fabricación, las aerolíneas y fabricantes experimentan dificultades financieras y ven mermada (si no anulada) su capacidad de inversión. Las limitaciones asociadas a los largos tiempos de desarrollo de nuevas aeronaves (del orden de la década una vez asentada la especificación del producto) y de la necesidad de amortizarlos durante periodos de operación (del orden de 20 años) aplican de igual manera en el escenario pre-COVID y en el derivado de la pandemia.

En el capítulo 4.2. también queda respondida la tercera pregunta de investigación, Q3 (*Las nuevas propuestas tecnológicas que se debaten en el sector del transporte aéreo para mejora de eficiencia y reducción de emisiones, ¿son susceptibles de ser desarrolladas e implementadas en el medio plazo de forma que se consiga una reducción significativa de las emisiones en el transporte aéreo?*) con un “no”.

Las nuevas propuestas tecnológicas que afloran en el debate de la sostenibilidad de la aviación en primavera de 2020 (fundamentalmente el uso de hidrógeno y de combustibles sintéticos) sufren de los mismos problemas de falta de madurez y de necesidad de desarrollo simultáneo de infraestructuras y logística de apoyo que las tecnologías que se venían discutiendo anteriormente a la pandemia (electrificación e hibridación de las aeronaves), por lo que serán necesarias décadas para la maduración y entrada en servicio de forma significativa de dichas tecnologías. Además, todas estas tecnologías, a pesar de tener cierto recorrido de mejora, presentan características técnicas que limitan su aplicabilidad a aeronaves de bajos alcance y carga de pago (es el caso de las aeronaves eléctricas o híbridas, o incluso las basadas en hidrógeno) o bien implican unos costes de operación inasumibles (tal es el caso de los combustibles sintéticos) o simplemente tienen un alcance de mejora en la eficiencia y reducción de emisiones muy acotado (mejoras en los sistemas de gestión de tráfico aéreo).

Siendo la internalización de los costes sociales y medioambientales una responsabilidad indisputable del sector del transporte aéreo (y así es reconocida por este), y habiéndose demostrado que la capacidad de contener las emisiones mediante el desarrollo e implementación de nuevas tecnologías sólo podrá desarrollarse en el muy largo plazo, no queda sino confiar en la compensación externa de emisiones a través de esquemas de comercio y compensación, confirmando la tesis de la investigación:

El transporte aéreo, dada la dificultad intrínseca para cambiar el paradigma energético de las aeronaves, necesitará, en el medio y largo plazo, apoyarse sustancialmente en los sistemas de comercio y compensación de emisiones para poder contener el aumento de las mismas derivado del crecimiento futuro del tráfico.

El capítulo 4.3. ofrece un complemento metodológico afianzando las conclusiones derivadas del capítulo 4.2. respecto a las preguntas Q2, Q3 y confirmación de la tesis; además de asentarlas aportando la dimensión de las expectativas y motivaciones de los agentes del sector. Dichos agentes son conscientes de las propuestas tecnológicas que se debaten en el sector y de la dificultad para su desarrollo e implementación, pero no comparten una visión uniforme del potencial ofrecido por las diferentes tecnologías y medidas; lo cual supone una amenaza para la definición de políticas y hojas de ruta alineadas y consensuadas.

Coinciden los agentes del sector aeronáutico en un rechazo cuasi unánime a la introducción de figuras impositivas con objeto de reducir las emisiones. También resulta relevante el bajo conocimiento que los agentes del sector tienen de los programas de comercio y compensación de emisiones de la aviación internacional (el ETS de la Unión Europea y el CORSIA de OACI) y, aunque parezca en principio contradictorio con la tesis de su necesidad, perciben una efectividad y alcance limitados en su aplicación. La confirmación de la tesis a partir del capítulo 4.3. viene no tanto por la adherencia y la fe de los agentes del sector aeronáuticos en los sistemas de comercio y compensación, que en realidad se demuestra que es muy limitada y se expresa desde una posición de desconocimiento, sino como

consecuencia de que confirman las dificultades de conseguir la reducción de emisiones en el medio plazo a partir de medidas de carácter tecnológico.

A pesar de que la tesis de esta investigación apunte a la necesidad ineludible de los sistemas de compensación y comercio de emisiones, debe quedar claro que la solución a la reducción y contención de estas no es única, sino que se compondrá necesariamente de un abanico de tecnologías y medidas cuyo alcance y efecto se irá definiendo progresivamente, y con diferentes grados de afección según los segmentos y mercados. Así, por ejemplo, la aviación puramente eléctrica podrá ser de aplicación en aviación general y soportar un nuevo mercado de aerotaxis. Los aviones híbridos posiblemente se desarrollen hasta los límites inferiores de la aviación regional. La penetración de los combustibles alternativos (de origen biológico o sintético) dependerá de la creación de la demanda por definición de cuotas obligatorias y de sus costes de producción. La implantación del hidrógeno como fuente energética en aviación dependerá de la maduración tecnológica, de la resolución de los principales riesgos asociados a su uso y del desarrollo (transversal a otros sectores) de la capacidad productiva y logística.

Más allá de haber obtenido respuesta a las preguntas de la investigación, el desarrollo de la misma ha permitido realizar importantes aportaciones académicas a la cuestión de estudio, como se planteó inicialmente en la presentación del marco teórico y en la definición de objetivos:

- Partiendo de un marco teórico donde se ignoraba la posibilidad de una crisis del transporte aéreo por motivo de un escenario de escasez física de combustible, se ha valorado esta posibilidad contrastándola con la mayor urgencia y consideración presente de los problemas derivados de la afección medioambiental atribuida a las emisiones de la aviación.
- Se ha identificado y valorado la profunda dimensión transversal e intersectorial de la sostenibilidad energética del transporte aéreo.
- Se ha confirmado la idoneidad de los métodos de investigación cualitativos para el desarrollo de investigaciones relacionadas con la sostenibilidad del

transporte aéreo, si bien es cierto que se han detectado dificultades para filtrar sesgos de estrategias de comunicación corporativas al interactuar (mediante entrevistas u observación participante) con profesionales de los sectores de interés. La combinación de diferentes métodos de investigación (cuantitativos, cualitativos y pseudo-cuantitativos) ha permitido realizar triangulaciones que refuerzan significativamente la solidez y fiabilidad de los resultados de la investigación. Se valora la utilidad de los métodos cualitativos para valorar el nivel de creencia y adherencia de los agentes del sector con las diferentes propuestas de políticas y desarrollos tecnológicos para el desarrollo de una aviación sostenible.

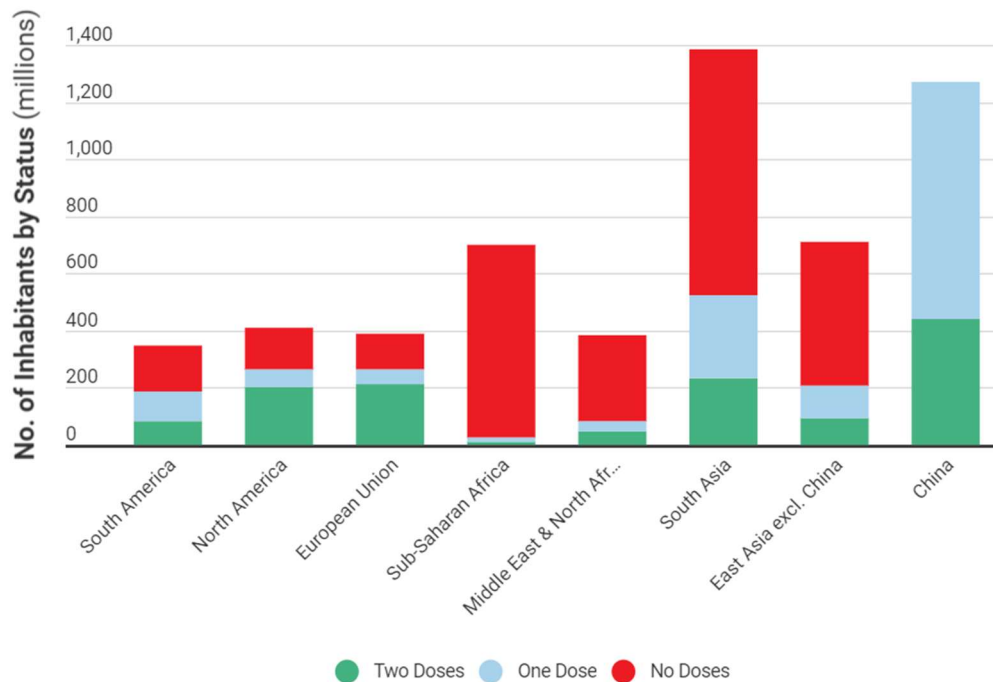
- En lo referente a la capacidad del transporte aéreo para internalizar sus emisiones, se ha confirmado la disparidad entre la visión de académicos e investigadores científicos independientes y las posiciones oficiales y públicas de las instituciones y entidades del sector.

Además de las conclusiones coleccionadas de los capítulos de resultados y de respuesta a las cuestiones de la investigación, y de las conclusiones académicas, cabe derivar algunas adicionales considerando la evolución de los acontecimientos más reciente y desde una perspectiva integral:

1. La crisis del COVID-19 ofrece a la aviación una oportunidad para retornar a los niveles de tráfico previos a la pandemia y continuar con el crecimiento del sector sin aumentar sus emisiones. Para ello es necesario recurrir a medidas y estrategias que estén ya disponibles o lo estén en el corto-medio plazo:
 - a. La caída del mercado por la pandemia mantendrá los niveles de tráfico todavía por debajo de los de 2019 durante unos años hasta que se universalice la inmunidad mediante la extensión de las campañas de vacunación de forma global, aún lejos de conseguirse como puede verse en la figura 5.1. (Michaels, 2021).

Figura 5.1. Progreso de la vacunación global en agosto de 2021.

Global Adult Population and Vaccination Status*



*As of Aug. 1, 2021

Sources: *The Economist*, Bernstein, AeroDynamic Advisory analysis

Fuente: (Michaels, 2021)

- b. Durante la pandemia se ha acelerado la renovación de la flota, retirándose las aeronaves más antiguas e ineficientes (muchas de ellas de modelos icónicos), que serán remplazadas por aeronaves de nueva generación más eficientes (del orden de un 15% en consumo específico de combustible) conforme se vayan recuperando los niveles de tráfico (Pallini, 2021). Esta dinámica deberá mantenerse durante los próximos años.
- c. La única nueva tecnología no puramente evolutiva capaz de aportar una mejora significativa en la eficiencia de las aeronaves (del orden de un 10% adicional sobre las aeronaves de última generación) en el medio plazo (con entrada en servicio a partir de 2030) son las nuevas arquitecturas de motor actualmente en fase de demostración tecnológica a nivel de ensayos de motor, buscando la madurez a nivel de TRL6 (demostración en un entorno relevante). La

introducción de estas tecnologías debe ser apoyada sin reservas a nivel público y privado, pues su beneficio está al alcance de la mano y su riesgo está ya en gran parte mitigado.

- d. La asunción de los efectos externos del transporte aéreo en los próximos años va a precisar necesariamente de esquemas de comercio y compensación de emisiones. Esquemas como el CORSIA o el EU Emission Trading System necesitan acelerar su implementación (en el caso del CORSIA), normalizarse y extender su alcance. Será inevitable que estos esquemas y otras posibles medidas fiscales orientadas a internalización de efectos medioambientales del transporte aéreo impacten en los costes y precios del mismo, con un potencial efecto en la demanda y una atenuación de los ritmos de crecimiento del tráfico.
2. Las soluciones tecnológicas más revolucionarias requieren de plazos significativamente más largos y tendrán un alcance de aplicación aún incierto que se irá definiendo progresivamente según se vaya avanzando en la mitigación de los riesgos tecnológicos actualmente identificados. Todas las soluciones tecnológicas, actualmente en discusión, precisan de un desarrollo de la electrificación ya sea directamente en la aeronave o a través de la utilización de hidrógeno o combustibles sintéticos producidos a partir de energía eléctrica, generada idealmente libre de emisiones. Consecuentemente, la demanda de electricidad habría de incrementarse de forma masiva, y no sólo para el soporte de la aviación, sino para todos los sectores que evolucionarán hacia este tipo de combustibles (con consumos mucho mayores), por lo que cabe cuestionarse si pudiera ser realmente satisfecha por energías puramente renovables. Así, por ejemplo, durante el evento de OACI dedicado a los combustibles sintéticos en mayo de 2021, Keith Whiriskey, de la fundación Bellona, insistió en que el suministro de combustibles sintéticos para la aviación no puede conseguirse con producción eléctrica marginal, y ofreció el dato de que la fabricación sintética del combustible de aviación vendido en Dinamarca requeriría 25 terawatios x hora, el 70% del consumo eléctrico actual del país (Whiriskey, 2021). En

ese contexto resulta fundamental que las leyes y políticas estén alineadas con esta realidad, no bastando que se promueva el desarrollo de las energías renovables, sino que, simultáneamente, hay que reconocer sus importantes limitaciones. En el capítulo 4.3. se señala cómo los expertos del sector del transporte aéreo y la energía están desarrollando una preocupación creciente sobre la elaboración de políticas y leyes con déficit de análisis y asunción de compromisos irrealizables. Puede ser este el caso de la reciente Ley de Cambio Climático y Transición Energética (Ley 7/2021, de 20 de Mayo, de Cambio Climático y Transición Energética, 2021) en la que se determina que, a partir de su entrada en vigor:

- a. No se admitirán nuevas solicitudes de autorización de centrales nucleares.
- b. No se admitirán nuevas solicitudes de investigación y explotación de yacimientos de hidrocarburos y se establecen limitaciones en la explotación de los ya existentes.

A modo de ejemplo, ambas medidas resultan inconsistentes tanto con escenarios de medio plazo en los que la dependencia de la aviación (y otros sectores que requieren gran intensidad energética o alta densidad energética) de los hidrocarburos es incontestable (además de creciente), como en escenarios a medio y largo plazo en que la dependencia de la energía eléctrica para la producción de combustibles alternativos no pueda ser satisfecha exclusivamente a partir de energías renovables.

Tras el análisis de las conclusiones, las principales recomendaciones derivadas de esta investigación son las siguientes:

- el consenso existente sobre el potencial para la contención de emisiones de las nuevas arquitecturas de motor y su avanzado estado de madurez tecnológica (en fases de demostración) justifican el esfuerzo para culminar su desarrollo e implementación en aeronaves en el medio plazo y así aprovechar la modesta pero accesible y real reducción de

emisiones que ofrecen. Los gobiernos, instituciones del sector y la industria deben articular la ejecución de ese esfuerzo sin dubitación.

- las instituciones responsables de la implementación de sistemas de comercio y compensación de emisiones en la aviación (fundamentalmente la UE y la OACI) necesitan redoblar los esfuerzos para divulgar su funcionamiento y explicar sus beneficios tanto a los agentes del sector como al público general, pues de forma ineludible la aviación necesitará apoyarse sólidamente en ellos para asumir su responsabilidad social de contención de las emisiones. Por ello también deben acelerar su aplicación (en el caso del CORSIA) y expandir sus alcances. Será también necesario robustecer los mecanismos de cualificación y certificación de las unidades de emisión del CORSIA.
- debe continuar la investigación de todas las iniciativas tecnológicas actualmente en estudio con objeto de determinar su viabilidad y ámbito de aplicación real, y este esfuerzo ha de ser soportado por gobiernos, instituciones del sector e industria.
- el transporte aéreo y la industria aeronáutica deben realizar una gestión humilde y razonada de las expectativas con respecto a su sostenibilidad, reforzando el mensaje de su muy positiva contribución al desarrollo social y económico, su extrema seguridad (y la minimización de externalidades sociales y económicas que esto implica en comparación con otros medios de transporte); pero reconociendo las dificultades del sector para reducir sus impacto medioambientales (principalmente a través de las emisiones) a pesar de los enormes y continuos esfuerzos realizados histórica y actualmente desde el sector. Como se muestra en los capítulos 4.1. y 4.3, el escenario futuro más plausible contempla una aviación creciente por razón de la demanda turística, que sigue apoyándose en la utilización de combustibles derivados de los hidrocarburos mientras que otros sectores consiguen progresar a mayor velocidad en sus procesos de descarbonización; los agentes de la aviación necesitan crear y comunicar los argumentos que den

credibilidad a la asunción efectiva de contener y compensar sus emisiones de manera que la sociedad y el sector convivan cómodamente. En última instancia la aviación y el turismo serán lo que la sociedad quiera que sean conforme a los criterios prevalentes en la sociedad.

- más allá del transporte aéreo, procede realizar a nivel nacional una reflexión sosegada y realista sobre la sostenibilidad del modelo energético futuro. A raíz de la actual (octubre de 2021) crisis del precio de la energía y los combustibles, se hace todavía más urgente revisar la política y planes de expansión de las energías renovables y la decisión de bloquear el desarrollo de centrales nucleares o nuevas prospecciones de hidrocarburos. Mantener por estos bloqueos una situación de alta dependencia energética lleva a la paradoja de que se importe energía generada por esos medios causando el mismo impacto medioambiental (de importancia más que discutible en el caso de las nucleares) a un coste no controlable.

CAPÍTULO 6

**LIMITACIONES DEL ESTUDIO Y FUTURAS LÍNEAS DE
INVESTIGACIÓN**

CAPÍTULO 6. LIMITACIONES DEL ESTUDIO Y FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN.

Aunque la presente investigación tenga un carácter teórico, su fin último ha de ser de carácter práctico. En el apartado de conclusiones generales y en los de cada uno de los artículos que dan soporte a la Tesis se derivan una serie de recomendaciones concretas para los agentes del sector del transporte aéreo, que, por el hecho de haberse hecho públicas en la literatura científico-académica, se espera puedan tener una cierta consideración y repercusión a través de los mecanismos característicos de esta literatura. Además, se ha realizado un cierto esfuerzo por que esta difusión se realice a través de publicaciones de diferentes ámbitos y sectores (turismo, sostenibilidad y economía digital) y en diferentes idiomas (español e inglés).

Sin embargo, el objetivo último de esta investigación es postularse para poder proyectar este conocimiento científico en recomendaciones concretas y adaptadas para cada uno de los agentes del sector que ayuden a un desarrollo sostenible del mismo y a conseguir una ubicación armónica en su contexto social, económico y ambiental.

Por otra parte, procede reconocer humildemente que durante el desarrollo de la investigación han concurrido ciertas limitaciones que habrán de ser subsanadas en futuras actividades de investigación. En particular, se han identificado las siguientes limitaciones:

- las entrevistas en profundidad se han realizado fundamentalmente a expertos y responsables de la industria aeronáutica, la energía y a académicos, con menos entrevistas a profesionales del transporte aéreo y el turismo y ausencia de entrevistas a responsables institucionales y autoridades.
- la respuesta a la encuesta (150 participantes) se considera suficiente para la realización de un primer estudio descriptivo, pero se precisará coleccionar más respuestas o realizar nuevas encuestas abarcando una

mayor variedad de colectivos suficientemente representados (por sectores, nacionalidades, funciones corporativas ...).

- el alcance de la revisión de tecnologías es limitado en su profundidad, pues la aparición de nuevas tecnologías en el panorama del transporte aéreo en primavera de 2020 limitó la capacidad de profundizar en el conjunto de las mismas dadas las limitaciones temporales de la investigación.

Con esa visión en mente, se identifican las siguientes actividades como necesarias para una mejor sustanciación de la cuestión teórica principal, pero, sobre todo, para un mejor desarrollo de estrategias concretas que ofrecer a los agentes del sector:

1. Extender el análisis de los resultados de la encuesta “Sustainability in air transport” del artículo “Analysis of Air Transport Stake Holders Perceptions and Motivations about Long Term Innovations Towards Sustainable Aviation Energy Paradigms.”, contenido principal del capítulo 4.3. En el momento de realizar el artículo se disponía de una base de 150 respuestas suficiente para realizar un análisis descriptivo. La encuesta se ha mantenido abierta con objeto de aumentar el número de respuestas y poder realizar de forma más significativa contrastes de hipótesis y análisis factoriales exploratorios.
2. Extender la exploración de percepciones, creencias y motivaciones sobre la sostenibilidad del transporte aéreo a responsables políticos e institucionales como agentes con mayor responsabilidad en el desarrollo e implementación de políticas que afectan al sector. Como paso previo habrá que realizar una importante reflexión sobre la metodología a utilizar. En el capítulo 4.1. ya se discutió cómo la utilización de la entrevista en profundidad o la observación participante (a través de asistencia a congresos y reuniones de trabajo) en el contexto de la investigación pueden sufrir de importantes sesgos por alinearse los participantes con mensajes predefinidos que respondan a estrategias corporativas y no a sus percepciones y creencias reales. Por ello, en el ejercicio de observación participante se trató de mantener una posición totalmente anónima (en el caso de los congresos), tratando de

identificar actitudes tras el análisis de los discursos. Por la misma razón, las entrevistas se realizaron siempre fuera del ámbito profesional y tratando de crear un ambiente de confianza que invitara a la reflexión sincera, alejada de clichés corporativos. Realizar un ejercicio similar con responsables políticos e institucionales será, si cabe, significativamente más difícil, pues apartarles de sus consignas políticas será imposible en el caso de comparecencias en foros públicos, y muy complicado en entrevistas en profundidad. De igual manera, se anticipa complicado el acceso a estos responsables políticos.

3. A lo largo de la investigación se ha realizado un análisis exhaustivo de las opciones tecnológicas que se discuten en el transporte aéreo y se han valorado las dificultades para su desarrollo identificando los principales elementos de riesgo técnico (el peso y volumen de las baterías, el consumo energético para la elaboración de combustibles sintéticos, el consumo de recursos naturales para la elaboración de biocombustibles, la baja densidad del hidrógeno y otros) y se ha realizado una reflexión general sobre la baja madurez de dichos desarrollos. Corresponde ahora realizar un estudio exhaustivo sobre los niveles de madurez de desarrollo tecnológico (TRL, Technology Readiness Level) de esas soluciones para poder sustantivar el riesgo de no conseguir la entrada en servicio de dichas tecnologías en los plazos declarados por la industria y para analizar la robustez de los compromisos adquiridos tanto por la industria como por las instituciones. Adicionalmente, procede analizar la madurez en las tecnologías de fabricación que soportan esas soluciones, y determinar su “Manufacturing Readiness Level” según la clasificación inicialmente definida por el “Department of Defense” de los Estados Unidos, que constituye un estándar universalmente aceptado (OSD Manufacturing Technology Program, 2018).
4. Será preciso investigar también el grado de progreso y madurez de las tecnologías transversales necesarias para la implementación de tecnologías revolucionarias en la aviación, así como de su despliegue en infraestructuras de soporte:

- i. Desarrollo y expansión de energías renovables, necesarias para la electrificación de aeronaves, pero también para la producción de hidrógeno verde y combustibles sintéticos.
 - ii. Producción y distribución de hidrógeno, tanto para su propio consumo como para la elaboración de combustibles sintéticos a partir de su síntesis con CO₂.
 - iii. Mayor electrificación de instalaciones aeroportuarias.
 - iv. Nuevas tecnologías de producción de biocombustibles e industrialización de estas.
5. Habiéndose verificado la hipótesis de la investigación de que el transporte aéreo precisará apoyarse en sistemas de compensación y comercio de emisiones para contener el crecimiento de las mismas en el medio y largo plazo, será necesario profundizar en el entendimiento de los requisitos de estos para que conseguir los objetivos esperados de ellos, así como en las oportunidades de extensión y universalización de su alcance. Numerosos estudios identifican las deficiencias y carencias de los sistemas actuales, tanto obligatorios (Gössling et al., 2021; Scheelhaase et al., 2018) como voluntarios (Gossling et al., 2007; Ritchie et al., 2020). Sin embargo, al ser absolutamente necesarios, las futuras investigaciones deberían centrarse en normalizar y universalizar su aplicación, asegurando que su recaudación se utiliza en proyectos eficientes de reducción o absorción de emisiones, con un impacto económico y social positivo en sectores y regiones adecuados.

Se valoran como especialmente importante la elaboración del mapa de madurez de las tecnologías básicas y de fabricación y la exploración de las creencias de los responsables políticos e institucionales, para, en una fase posterior poder interactuar con estos y emitir recomendaciones de orientación de las políticas basadas en una evaluación lo más científica posible de las posibilidades reales (alcance de acción y tiempo de desarrollo) de las diferentes opciones tecnológicas.

Más allá de la ambición específica de poder informar y emitir recomendaciones concretas a los agentes con capacidad de decisión sobre políticas y estrategias tanto públicas como privadas en lo relativo a la sostenibilidad del transporte aéreo, cabe también manifestar la intención de proyectar la investigación hacia la educación del público general en la misma materia. Siendo el turismo la principal motivación de los viajeros (actual e históricamente) y la que se ha mostrado más resiliente en la recuperación del sector aeronáutico tras la pandemia, es una responsabilidad social de los investigadores de la materia educar a los viajeros en el correcto entendimiento de tanto los beneficios como los impactos externos de la aviación. También en establecer las relaciones de ambos con sus propias conductas, propiciando la asunción de responsabilidades en el consumo del transporte aéreo. Será necesario pues investigar ese nivel de entendimiento, el grado de ideologización del mismo, la disposición de los viajeros a asumir su parte de la responsabilidad cambiando conductas o aceptando incrementos de precio asociados a medidas fiscales o sistemas de comercio y compensación de emisiones.

Habiendo enunciado en esta Tesis que el problema de la sostenibilidad de la aviación sólo puede entenderse y estudiarse en el contexto de la sostenibilidad global, será igualmente importante investigar cómo ubican y valoran los viajeros su consumo de transporte aéreo en el conjunto global de su contribución personal a la sostenibilidad, y en particular al Objetivo de Desarrollo Sostenible número 13, acción por el clima.

Ciertamente existen ya importantes estudios que analizan la disonancia entre la preocupación moral por la sostenibilidad de base de los viajeros y sus conductas reales en lo que se refiere al consumo de transporte o a su comportamiento durante vacaciones. Es lo que se denomina el “dilema del viajero” (“flyers dilemma”) (Higham et al., 2014; Young et al., 2014, 2015). Sin embargo, existe un importante campo de investigación por explorar en el entendimiento del efecto de la crisis del COVID-19 en estas actitudes, así como en la distribución regional de las mismas. En particular, será especialmente meritorio el entender las diferencias en las percepciones de los viajeros de países en vías de desarrollo con los de los países más desarrollados y que han desarrollado ya una mayor sensibilidad a cuestiones de sostenibilidad, también sea

dicho, desde una posición social y económica (y de bienestar general) mucho más cómoda.

Un reto posterior será el identificar e investigar en profundidad medidas que en el transporte aéreo puedan alinearse con los postulados de la Economía Circular. Al estar la presente Tesis centrada en el aspecto energético del transporte aéreo, y especialmente en el paradigma energético de las aeronaves, son pocas las oportunidades de “recirculación de recursos” aplicables, más allá de la referencia a la utilización de biocombustibles provenientes de residuos (aceites, residuos vegetales y residuos sólidos urbanos). Sin embargo, se ha identificado cómo la crisis del COVID está forzando una renovación de las flotas actuales, y cómo el despliegue de nuevas tecnologías requerirá el remplazo de aeronaves en el medio y largo plazo. Estas renovaciones deben ser objeto de un profundo estudio en cuanto a la optimización de la reutilización de equipos no obsoletos y con vida útil remanente y al reciclado de materiales de las aeronaves retiradas. Este último problema resulta particularmente complejo y relevante, pues se está avanzando hacia la primera retirada masiva de aviones fabricados con altos porcentajes de materiales compuestos, cuyo reciclaje resulta muchísimo más complejo que el de los metálicos, y cuya tecnología no está madura ni desplegada a escalas suficientes industrialmente (Wong et al., 2017).

ANEXOS

ANEXO 1: ENTREVISTAS A PROFESIONALES DE LA AVIACIÓN Y LA ENERGÍA PREVIAS A LA PANDEMIA.

SD (ent-2017): semi-estructurada, individual, por e-mail

SD es ingeniero aeronáutico y máster en “business administration”. Es vicepresidente de ventas en una empresa fabricantes de aviones, donde ha desarrollado su carrera profesional a lo largo de más de 25 años. Por problemas de desfase horario, la entrevista se realiza por e-mail (obsérvese que la reseña está en primera persona) en varias entregas entre el 19 y el 24 de junio de 2017.

Las medidas que actualmente se plantean en la industria para mejora de la eficiencia energética ¿son suficientes para compensar los crecimientos de consumo derivados de los crecimientos de tráfico esperados?

La respuesta desde mi punto de vista es si a corto y medio plazo. A largo plazo no está tan claro. Las previsiones de crecimiento de tráfico aéreo indican que la flota mundial de aviones comerciales se duplicara en los próximos 20 años hasta casi los 45000 aeronaves. Esto representa un crecimiento medio de casi un 4% al año. Actualmente, la aviación consume el 8% del total de petróleo producido anualmente. Una cantidad pequeña en comparación con otras industrias. Las previsiones de reservas de petróleo no son claras y los expertos hablan de un mínimo de reservas de 60 años asumiendo un crecimiento industrial similar al de la aviación. Sin embargo, esta previsión está basada en reservas consideradas hoy económicamente explotables. La realidad es que existen reservas mucho mayores pero que al día de hoy no pueden todavía extraerse de forma rentable.

Volviendo a tu pregunta, en los próximos 20 años, unos 39000 de las 45000 aeronaves en funcionamiento serán aeronaves de última generación que habrán reemplazado a aeronaves existentes. A la hora de definir un nuevo proyecto de avión, la inversión tiene que estar justificada por el valor que la aeronave aporta a la línea aérea y esto se mide primordialmente en la eficiencia de los costes operacionales. El consumo de combustible representa en muchos casos casi la mitad de los costes de operación de una aeronave con lo cual, desde el punto de vista del fabricante, hay un esfuerzo muy importante dedicado a reducir el consumo de combustible. Ejemplos son el nuevo 787 con un 25% menor de consumo que los aviones que reemplaza 767 o A330 y el 737 MAX con un casi 20% de ahorro comparado con los primeros 737NG. Resumiendo, el crecimiento aéreo requerirá un número importante de aviones que

están o estarán diseñados para ofrecer la mayor eficiencia posible. Esto junto a las reservas de petróleo existentes parece ser suficiente a corto y medio plazo.

¿Qué medidas de mejora de eficiencia energética en la aviación tienen más potencial y qué medidas tienen menos porvenir?

El consumo de combustible en una aeronave es función de 3 variables a nivel general, el peso del avión, la aerodinámica y los motores. El uso de materiales compuestos en la creación de fuselaje y ala así como empenaje de aeronaves ha supuesto un salto tecnológico con un gran futuro. El 787 ha sido el primer y único avión hasta el momento con ala y fuselaje hecho de materiales compuestos. El ahorro de peso ha sido muy sustancial y la evolución de esta tecnología indica ser una de las mejoras con más posibilidades a la hora de hablar de eficiencia energética.

En cuanto a la aerodinámica, el desarrollo del control de flujo laminar parece ser algo con gran futuro que permita reducir la resistencia aerodinámica. Las nuevas aeronaves en las que estamos trabajando como el 777x puede que incorpore avances muy interesantes en esta materia.

A nivel motor, dos elementos claves, el desarrollo de nuevos materiales y el aumento de la eficiencia eliminando el sangrado de aire y utilizando en la aeronave más sistemas eléctricos son la actual tendencia usada en el 787 por ejemplo.

En cuanto a mejoras de poco porvenir, es difícil decir. Siempre hay una oportunidad para un “breakthrough” que cambie las posibilidades de éxito de una medida en particular así que no me atrevo a definir medidas con menor porvenir.

¿Cree posible un cambio en el paradigma energético de la propulsión en aviación?

Por supuesto que sí. Por un lado los biocombustibles de los que hablamos en la pregunta siguiente, pero no cabe duda que la revolución eléctrica llegara a los motores de avión y más pronto de lo que pensamos. En principio habrá motores híbridos y quizás en 10 años veamos alguna aplicación de avión pequeño. Yo creo que hay posibilidades de ver aviones comerciales volando con motores eléctricos en menos de 50 años.

¿Qué opinión le merecen los biocombustibles?, ¿qué potencial pueden tener para la aviación?

Me parecen una alternativa interesante pero no creo que lleguen a ser la respuesta del futuro. La tecnología está evolucionando en otras direcciones mucho más rápidamente. Si hay que apostar hoy, apostaría por aviones eléctricos más que propulsados por biofuels.

¿Considera que la aviación tiene más complicada la aplicación de energías alternativas que otros sectores?

No necesariamente. Todo depende de los recursos que se dediquen a la investigación y desarrollo de ideas. La aeronáutica tiene sus retos como cualquier otra industria. Si hay que señalar requerimientos complicados de solventar en la aviación y asociados con la aplicación de energías alternativas, apuntaría a la regulación de certificación y más específicamente a los requerimientos asociados con la seguridad aérea.

¿Cuál de los siguientes escenarios considera más probable en el medio plazo? Por favor explique por qué:

1. ***Optimista 1: la aviación es capaz de desarrollar tecnologías que permiten compatibilizar el crecimiento del tráfico con las limitaciones de disponibilidad de combustibles fósiles***

2. ***Optimista 2: la aviación se beneficia de los avances de las energías alternativas en otros sectores, de manera que los hidrocarburos quedan liberados para el uso de la aviación retrasando una posible crisis de escasez y dando tiempo a evolucionar más lejos en otras tecnologías.***

3. ***Intermedio: la menor disponibilidad de petróleo impacta en los costes de los carburantes y por tanto en las tarifas de los vuelos, provocando una significativa contracción de la demanda que se compensa en parte por un mayor uso de otros modos y por un cambio de hábitos de los viajeros (en particular de los turistas como más sensibles al precio).***

4. ***Pesimista 1: crisis profunda del sector aéreo, mucho más acentuada que en otros transportes y sectores.***

5. *Pesimista 2: crisis global generalizada.*

Como te dije ayer, la aviación representa un porcentaje pequeño del consumo total de petróleo. Esto implica que es más probable que otros sectores o industrias sean los pioneros en la aplicación de energías alternativas puesto que su dependencia del petróleo es mucho mayor. La aviación se beneficiará de los avances tecnológicos por extensión y en su momento producirá también sus propios descubrimientos y aplicaciones pero creo que es probable que la última gota de petróleo se use en un motor de aviación.

WI (ent-2017): no-estructurada, individual, presencial

WI es ingeniero aeronáutico y desarrolla su actividad en una multinacional de las energías renovables, las turbinas de generación y los motores de aviación, en la que desempeñó cargos de responsable de ventas de servicios de energía eólica y diversas ocupaciones relacionadas con turbinas de gas. Anteriormente trabajó en mantenimiento de motores aeronáuticos.

La entrevista se celebra el día 19 de abril de 2017 durante una comida.

Presentado el objeto de la investigación y formulada una primera pregunta sobre la competitividad de las energías renovables, WI refiere el proceso de estancamiento de las renovables en España a raíz de la supresión de las subvenciones. Indica cómo estas estaban en realidad provocando una burbuja que llevaba a la no sostenibilidad del modelo de subvenciones, por cantidad y porque estaba provocando que los productores se acomodaran en vez de buscar mayores eficiencias. Describe WI que existen dos tipos de mecanismos de subvención:

- Sobre producción, como se hacía en España: “ ... daba lugar a la picaresca (además de crear un “agujero eléctrico² insostenible, de unos €39k millones, que pagábamos todos los españoles.”
- Sobre impuestos, como se hace en otros países.

Sin embargo indica WI que recientemente (Nov '15) se han hecho subastas inversas (el ministerio ofrece licencias para producir energía y garantiza la compra de la misma) para instalar 500 MW de eólica y han salido con margen sobre pool cero (lo que significa que no se bonifica la energía producida por renovables por encima de los precios pagados por otro tipo de energía). La percepción de WI y del mercado es que las renovables pueden competir directamente en el pool. Lo cierto es que el precio por MW instalado ha bajado desde los €1.3 millones a por debajo de €0.9 millones en los dos últimos años. Las máquinas tienen que ser competitivas en CAPEX (costes de capital) y en OPEX (costes de operación). Los “bidders” (las empresas que pujan en la subasta) no son necesariamente eléctricas o constructoras, como lo eran antes en la época de las subvenciones, son inversores de diferentes sectores y tamaños. Tienen que poner un aval para poder participar (entre 20000 y 90000 euros por MW,

dependiendo de las subasta). Los “bidders” han pedido oferta a todos los fabricantes de turbinas y les han forzado a rebajar el precio de venta, pues tienen que ser competitivos considerando todo el ciclo de vida de la inversión (costes de capital + operación).

Este tipo de proceso abre el sector a otro tipo de explotadores. Como indica WI, en Alemania es típico que los propietarios de los molinos sean los propios granjeros dueños de la tierra donde se instalan.

Avisa WI de que se prepara una nueva subasta de 2 Gigas, para mediados de Mayo, donde también se podrá ofertar solar (que en principio requiere menor CAPEX por megawatio y mucho menor OPEX). Dice que el modelo español de subasta inversa se está copiando por otros países.

Tratando de aportar más pruebas de que la energía eólica es competitiva, WI indica que:

- En 2016 se vendió una sola turbina de gas en Europa, pero se instaló mucha potencia eólica (10GW). La venta de turbinas de gas ha bajado mucho por la crisis, la bajada de precios del petróleo (no se demandan máquinas más eficientes y se cubre la demanda con las instalaciones existentes) y por la competencia de la eólica.
- En Arabia Saudí se están instalando molinos, lo que es una prueba de que realmente el “petróleo tiene los días contados” al menos como generador de energía y negocio competitivo.

Según WI, los objetivos del 2020 de tener el 20% de potencia mediante renovable son factibles. La renovable con más futuro: quizá sea la eólica offshore (más viento y más estable), aunque de momento su construcción y servicio resultan muy complicados y caros.

WI valora las nucleares son buenas (productivas y no muy contaminantes), pero la tendencia es a eliminarlas.

Reconoce las dificultades de la eólica que limitan en parte la oferta: normativa medioambiental, alto coste de ciclo de vida, falta de competitividad en ciertos países consumidores masivos de energía (Rusia no usa y China fabrica molinos ... para el exterior) y dificultades técnicas derivadas de la variabilidad de las condiciones de producción (no producen tanto si el viento es muy débil como si es muy fuerte).

En conclusión, la percepción de WI es que las renovables son ya competitivas e irán progresivamente ganando cuota de mercado.

BM (ent-2017): no-estructurada, individual, presencial

BM es ingeniero aeronáutico. Actualmente desempeña el cargo de Director de Ingeniería en una empresa aeronáutica.

También es profesor en una escuela de ingeniería aeronáutica, donde es docente en diseño de aeronaves. Por su actividad y experiencia, se puede considerar a BM como uno de los máximos expertos nacionales en ingeniería avanzada de aeronaves y plantas propulsivas.

BM fue también uno de los ponentes en el IV Congreso de Ingeniería Aeronáutica.

La entrevista se desarrolló durante una comida el día 8 de mayo de 2017.

BM se declara como un apasionado de la aviación y defiende la gran función social que esta desarrolla. Para explicarlo, se refiere a la Teoría de Von Karman, según la cual un viaje menor de 2 horas se puede considerar como rutinario, mientras que duraciones mayores implican una dimensión de aventura. La aviación ha posibilitado que grandes distancias puedan caer dentro del alcance del viaje “rutinario” y que los viajes de “aventura” puedan extenderse a mayores distancias. A modo de ejemplo, BM cita cómo hoy en día es posible mantener relaciones personales o de familia aun residiendo las personas en ciudades significativamente distantes, pues la aviación posibilita contactos frecuentes, por ejemplo en fines de semana. Es simple, la aviación acerca a la gente.

Recuerda BM un gráfico de un sociólogo inglés (que ha buscado en muchas ocasiones sin llegar a encontrarlo) en el que se representa la evolución temporal de la distancia media entre el lugar de procedencia de los componentes de parejas formales. En dicho gráfico se aprecia con nitidez la existencia de saltos en esa magnitud asociados al desarrollo del ferrocarril, al de la aviación y ... al de internet. Pero aún en este último salto, la aviación juega un papel determinante, al posibilitar la reunión física de las parejas que se hubieran conocido por internet. El avión posibilita el amor y la amistad. A continuación reflexionamos juntos sobre la gran cantidad de amistades que hemos desarrollado en común durante nuestro ejercicio profesional en

consorcios y colaboraciones internacionales: surgieron desarrollando nuevos aviones y gracias a la disponibilidad de otros ya existentes.

Reflexionando sobre el potencial de las nuevas tecnologías que actualmente se investigan y discute en la industria aeronáutica, BM expone las siguientes visiones:

- Los vehículos hipersónicos son técnicamente factibles, y acercarán todavía más a las personas. Sin embargo no resultan eficientes. Se están investigando varias soluciones. Todas ellas consisten en vehículos de despegue y aterrizaje horizontal, al estilo de los aviones actuales. Sin embargo, el ascenso hasta niveles altos de la atmósfera o hasta salir de esta se puede realizar siguiendo una senda de ascenso inclinada o vertical. Lo segundo presenta la ventaja de que el estampido sónico no perturba a los habitantes de la superficie de la tierra.
- La propulsión eléctrica o híbrida. En ambos casos el principal problema es el peso de la batería. El concepto más factible es el de la propulsión híbrida: se utiliza una turbina de gas con combustión para generar energía eléctrica que alimenta a un conjunto de motores eléctricos distribuidos en el ala y carga una batería. En fases de vuelo de alta demanda energética (principalmente el despegue y el ascenso) la turbina y la batería alimentan a los motores eléctricos. Durante el crucero, cuando el consumo energético es bajo, la potencia de la turbina excede la demanda de los motores y la batería se recarga. Durante la aproximación el sistema apenas consumirá energía, pues el avión prácticamente planea, es más, podría utilizarse para acabar de cargar las baterías de forma que no haga falta recargarlas para el siguiente despegue. Para igual potencia, los motores eléctricos pesan menos que los motores a reacción tradicionales, por lo que el sistema en su conjunto podrá llegar a ser eficiente (tanto o más que los sistemas actuales) si se consiguieran desarrollar baterías ligeras, de tal forma que el sistema de propulsión híbrido (compuesto de turbina, batería, motores eléctricos y sistema eléctrico) llegara a equiparar su peso con el del sistema actual (motores a reacción, combustible y sistema de combustible).
- La propulsión distribuida, es decir, la utilización de un número alto de motores, mejoraría significativamente el rendimiento de la planta motriz,

facilitando la integración con el avión. Este concepto es particularmente atractivo para motores eléctricos cuando se compara con los turborreactores, por lo que junto con la hibridación es posiblemente la forma óptima de obtener empuje para una aeronave.

- Duda de que se acaben aplicando otras tecnologías de mejora propulsiva actualmente en desarrollo como puede ser el propfan (concepto intermedio entre el motor turbofan tradicional y el turbohélice).

Respecto a sus expectativas de escenarios futuros, BM está convencido de que la última gota de combustible líquido fósil se gastará en la aviación (ver nota similar de Cavero (ent-2017)), pues es el sector donde su disponibilidad resulta más crítica y donde las expectativas de cambio de paradigma energético están más lejanas. Reconoce que no es elegante decirlo siendo parte del sector, pero las expectativas de cambios significativos en los modelos energéticos están mejor puestas en otros sectores donde el peso no es tan crítico, incluyendo otros medios de transporte.

También considera que, dado lo irregularmente distribuido que está el tráfico aéreo en el mundo, será inevitable que este crezca en aquellas regiones del mundo donde está menos desarrollado (África, Asia, Latinoamérica). En estas regiones el desarrollo de la aviación va significativamente por detrás del de otros sectores altamente consumidores de energía, por lo que también será de esperar que la aviación aumente su impacto en términos relativos tanto a nivel de consumo energético como de emisiones de gases contaminantes. Es decir, el hiperutilizado argumento-disculpa de que la aviación sólo es responsable del 2% de las emisiones globales cada vez será menos válido, pues ese número no puede sino subir.

Sobre la eficiencia de las renovables y su capacidad de remplazar a los fósiles, cuestiona si realmente son eficientes si se analiza el ciclo de vida completo. Así por ejemplo, la instalación de un parque eólico tiene un importante coste energético: fabricación de los molinos, adecuación de los terrenos, obra civil, carreteras de acceso ... Este coste es mucho mayor aún en el caso de instalaciones off-shore. Es decir, que dado que las instalaciones de energías renovables requieren para su fabricación y puesta en marcha el consumo de importantes recursos energéticos normalmente

generados a partir de combustibles fósiles, pasarán una buena parte de su vida compensando ese coste energético de nacimiento, así como el de mantenimiento.

Sobre la revolución eléctrica aplicada a los vehículos privados valora que estos pueden ser un medio eficiente de acumular energía durante los periodos de valle de consumo (los vehículos se cargan por la noche), aprovechando también los excedentes de energía de origen renovable que se producen en esas horas (fundamentalmente eólicas). Aún si los vehículos eléctricos hubieren de utilizar electricidad proveniente centrales térmicas, cabe pensar que el sistema pudiera resultar eficiente al operar estas en un punto fijo de máximo rendimiento. Sin embargo, el si ello resulta más eficiente que un vehículo de combustible será muy dependiente de la calidad de la instalación eléctrica: eficiencia de la central térmica y de la red de distribución. Se dice por ejemplo que lo más antiecológico que existe es un vehículo eléctrico en Estados Unidos, donde las instalaciones de generación y distribución son ineficientes y muy poco ecológicas. La ventaja del vehículo de combustible es que sólo consume la energía que precisa, aunque lo haga de una manera no excesivamente eficiente.

Finalmente, BM concluye: “Creo que para la aviación no habrá problemas por temas de calentamiento global, ya que su contribución es muy pequeña, así que si hay problemas, antes se aplicarán restricciones a la producción energética y/o al transporte por carretera que a la aviación.”

JH (ent-2017): semi-estructurada, individual, presencial

La entrevistada, que prefiere mantener el anonimato, es ingeniera industrial y ha desarrollado su actividad profesional en una de las principales empresas de diseño, fabricación y mantenimiento de motores aeronáuticos a nivel mundial. A lo largo de su dilatada carrera ha desempeñado puestos en departamentos de diseño, soporte en servicio de operación de aerolíneas y directora de programas de tecnología.

En esta ocasión la entrevista se desarrolla de forma semi-estructurada, utilizando como punto de partida un formulario que se había compartido previamente con la entrevistada. La conversación tiene lugar durante un almuerzo el día 17 de mayo de 2017.

Las medidas que actualmente se plantean en la industria para mejora de la eficiencia energética ¿son suficientes para compensar los crecimientos de consumo derivados de los crecimientos de tráfico esperados?

La opinión de la entrevistada a este respecto es optimista. Confía en que las instituciones internacionales que gobiernan el transporte aéreo (OACI, UE) han establecido ya de facto una serie de objetivos concretos (reducción de emisiones, mejoras de eficiencia energética, producción y disponibilidad de biocombustibles ...) que están alineados con las necesidades reales de sostenibilidad. En particular, respecto al problema de la posible escasez futura de combustibles, comenta la dificultad para establecer las reservas reales de petróleo y cómo continuamente se van descubriendo nuevos yacimientos, por lo que el potencial real podría ser mayor del que actualmente se estima. También confía en que los objetivos actualmente definidos sean suficientes para cubrir las necesidades a medio plazo (2050), y que simultáneamente se desarrollarán alternativas tanto energéticas como de conceptos de aeronaves o motores.

¿Qué medidas de mejora de eficiencia energética en la aviación tienen más potencial y qué medidas tienen menos porvenir?

En el medio plazo (15 años) tiene confianza en que se desarrolle satisfactoriamente el concepto de open rotor o propfan, que ofrece una reducción de consumo específico muy sustancial respecto a los motores tradicionales, pero sin cambiar el paradigma energético (generación de empuje a partir de quema de combustible).

En un plazo más amplio (30-40 años) valora positivamente el desarrollo del concepto de aviones de propulsión híbrida, en los cuales se utiliza una turbina de gas (alimentada con combustible) para generar electricidad que alimenta motores eléctricos a través de una batería que almacena el excedente de energía que la turbina produce durante las fases menos demandantes del vuelo.

¿Cree posible un cambio en el paradigma energético de la propulsión en aviación?

Su respuesta es afirmativa, y se refiere a la propulsión híbrida señalada anteriormente.

¿Qué opinión le merecen los biocombustibles?, ¿qué potencial pueden tener para la aviación?

Considera que los biocombustibles contribuirán a aliviar la dependencia de los combustibles fósiles, pero su utilización debe entenderse dentro de un mix en el que pueden aplicar ciertas limitaciones a su uso. Es decir no podrán reemplazar completamente a los fósiles, pero su uso mezclado con fósiles se podrá ir incrementando conforme se resuelvan problemas técnicos, logísticos, de competitividad (coste) y otros problemas de índole social (desarrollo de los cultivos de forma que no compitan con cultivos alimentarios ni alineen a las comunidades locales). Señala cómo su utilización es ya una realidad, y comenta que estuvo destacada en una aerolínea pionera en el uso de biocombustibles.

¿Considera que la aviación tiene más complicada la aplicación de energías alternativas que otros sectores?

Asiente sin dudar. Señala que debido a ello es de esperar que a medio e incluso corto plazo, el transporte aéreo sufra una fuerte competencia intermodal, especialmente dentro del rango de distancias cortas-medias, por aquellos medios que sí se puedan beneficiar de las energías alternativas.

Dónde si percibe una oportunidad para el uso de energías alternativas dentro del ámbito del transporte aéreo es en los desplazamientos urbanos. Dada la gran congestión de las ciudades, su continuo crecimiento y el aumento de las distancias deviene indispensable el hacer uso de “la tercera dimensión” para descongestionar y agilizar la movilidad. Ya existen conceptos bastante avanzados de coches eléctricos voladores y propuestas agresivas de utilización como servicios de taxi.

¿Cuál de los siguientes escenarios considera más probable en el medio plazo? Por favor explique por qué:

1. Optimista 1: la aviación es capaz de desarrollar tecnologías que permiten compatibilizar el crecimiento del tráfico con las limitaciones de disponibilidad de combustibles fósiles

2. Optimista 2: la aviación se beneficia de los avances de las energías alternativas en otros sectores, de manera que los hidrocarburos quedan liberados para el uso de la aviación retrasando una posible crisis de escasez y dando tiempo a evolucionar más lejos en otras tecnologías

3. Intermedio: la menor disponibilidad de petróleo impacta en los costes de los carburantes y por tanto en las tarifas de los vuelos, provocando una significativa contracción de la demanda que se compensa en parte por un mayor uso de otros modos y por un cambio de hábitos de los viajeros (en particular de los turistas como más sensibles al precio).

4. Pesimista 1: crisis profunda del sector aéreo, mucho más acentuada que en otros transportes y sectores.

5. Pesimista 2: crisis global generalizada

Ante esta pregunta decidimos apartarnos de la rigidez de su formato y dejar la respuesta abierta. La entrevistada comenta que, a pesar de su confianza en que en el medio plazo la acción institucional y los desarrollos técnicos propiciarán un contexto

estable para el desarrollo de la aviación, los escenarios de crisis no se pueden excluir en un plazo más extenso.

Caso de considerar posible un escenario de crisis en el transporte aéreo, ¿considera más probable que la crisis sea de origen energético o medioambiental?

Considera que la identificación de una crisis medioambiental es algo mucho más interpretativo y subjetivo si se compara con el efecto factual y universal que una crisis energética supone.

Es decir, ante un empeoramiento generalizado de las condiciones medioambientales, la comunidad internacional tardaría en reaccionar, no lo haría de manera uniforme y alineada y, en muchos casos, no lo haría de manera ejecutiva (la historia así lo demuestra). Según qué gobiernos, los criterios económicos cortoplacistas podrían prevalecer sobre la necesidad de protección medioambiental, aparentemente no tan urgente y más sujeta a interpretación. Sin embargo, una crisis energética tendría un impacto simultáneo, inmediato, objetivo y económico globalmente.

JV (ent-2017): no-estructurada, individual, presencial

JV es director ejecutivo de ingeniería y tecnología en una empresa aeronáutica. JV es ingeniero aeronáutico y doctor. Cuenta con más de 30 años de experiencia en la industria aeronáutica, ha dirigido y es responsable de múltiples proyectos de investigación y ha participado en múltiples consorcios y proyectos de investigación internacionales.

La entrevista se desarrolla como continuación de una comida de trabajo el día 16 de mayo de 2017.

Realizada la introducción sobre los objetivos de la investigación, una de las primeras reflexiones que ofrece JV es destacar la necesidad que en aviación existe de conseguir empaquetamientos de energía muy densos. El conseguir estas altas densidades energéticas más allá de la utilización de combustibles entraña necesariamente grandes dificultades tecnológicas y un gran riesgo objetivo de partida. Ilustra esta idea refiriendo las múltiples dificultades y problemas de seguridad que en diferentes sectores se están dando en el desarrollo de baterías de gran capacidad. El ejemplo más sencillo y conocido son los eventos de explosión espontánea de baterías de dispositivos móviles, pero también menciona los eventos de seguridad relacionados con baterías experimentados por Boeing en el desarrollo del 787, concebido con la intención de reemplazar muchos de los sistemas hidráulicos y neumáticos del avión por otros eléctricos (more electrical aircraft) más eficientes y en conjunto más ligeros.

Comenta JV cómo en el sector del transporte aéreo los cambios radicales o muy significativos necesitan desarrollarse en tiempos característicos muy largos (décadas) y que hay tres razones fundamentales para ello:

- Los desarrollos de nuevas tecnologías y productos requieren tiempos muy dilatados y los ciclos de vida de los productos son muy largos. Así por ejemplo desarrollar un nuevo avión puede requerir del orden de 10 años, y su ciclo de vida puede fácilmente extenderse a los 30 años.

- La complejidad del sistema, la multitud de agentes participantes y las complejas relaciones entre ellos hacen que se consuma mucho tiempo en conseguir el necesario alineamiento entre todos ellos ante la aparición de una innovación sustancial en alguno de los elementos del sistema. Imaginando por ejemplo que la tecnología para un avión de propulsión híbrida estuviera lista, habría que adaptar a ese nuevo concepto todo el sistema de normativa y certificación, el sistema logístico en los aeropuertos, la capacidad de generación eléctrica ...
- La necesidad intrínseca de mantener los estándares de seguridad en el transporte aéreo. Comenta JV que el transporte aéreo siempre ha sido destacado como uno de los sectores más dinámicos y con mayor capacidad de innovación. Reconociendo que esto ha sido efectivamente así a lo largo de su historia, también resalta que el ritmo de introducción de cambios se ha ralentizado en las últimas décadas debido a la muchísimo mayor concienciación social sobre la importancia de la seguridad. Dicho en otras palabras, décadas atrás la “tolerancia al desastre” era mucho mayor y por tanto también lo era la facilidad para introducir en el sistema innovaciones revolucionarias. Ilustra este particular mencionando cómo cualquier incidente o accidente relacionado con el transporte aéreo tiene una incidencia mediática en muchos casos no proporcional a las consecuencias reales del mismo (por ejemplo, un despegue abortado por humo en cabina sin consecuencias tiene más repercusión que un accidente de tráfico mortal).

Esta dificultad para el cambio se está traduciendo en los últimos años en la adopción de un cierto conservadurismo dentro del sector. Así lo reflejan por ejemplo las recientes decisiones de Boeing y Airbus de no desarrollar en el medio plazo modelos de avión radicalmente nuevos, optando por modificar los ya existentes utilizando nuevas plataformas propulsivas más eficientes, como son el caso del Boeing 737MAX y el Airbus 320 NEO.

En opinión de JV, el sector está preocupado por que la sociedad perciba este conservadurismo como excesivo, o incluso como inmovilismo ante los retos actuales

como puede ser la sostenibilidad. La respuesta del sector es la presentación a la sociedad de propuestas tecnológicas que en muchas ocasiones pueden tener más de estrategia de comunicación y mediática que de mejora sistémica real. En este sentido hace una mención específica al uso de biocombustibles en aviación y de cómo su discusión estuvo muy presente en los medios (no sólo en lo relativo a la aviación) hace unos años para después prácticamente desaparecer. En este punto, no me pude resistir a intervenir, y le comenté a JV el paralelismo entre su análisis y el realizado por Peeters en su artículo “Are technology myths stalling aviation climate policy?” (Peeters et al., 2016), que compartí con él tras la entrevista.

También comenta que no todas las iniciativas con expectativas de mejora sistémica real tienen garantizado su éxito e implementación futura. Tal es el caso del Propfan, concepto de motor que, aún ofreciendo un ahorro de consumo de combustible muy sustancial con respecto al motor turbofán convencional, presenta un gran riesgo de no ser aceptado por el viajero por su aspecto similar al de los antiguos (o al menos así percibidos por la mayoría de la sociedad) motores de hélice; amén de las dificultades técnicas que el desarrollo del concepto Propfan conlleva. Más crédito concede al concepto de turbofán con caja reductora, pero este no deja de ser un concepto que proporciona una mejora de eficiencia energética sin cambiar el paradigma en sí mismo.

Luego, en las próximas 2 ó 3 décadas no es de esperar que se den en el sistema del transporte aéreo cambios radicales más allá de mejoras sobre el mismo esquema. No obstante, resalta la necesidad de empezar a desarrollar soluciones que vayan más allá.

Tras analizar las expectativas de evolución tecnológica en el transporte aéreo, entramos en la discusión sobre el potencial de las energías renovables y de su capacidad de ir progresivamente reemplazando a los combustibles fósiles. Indica que el principal problema de las renovables radica en la dificultad (o imposibilidad) de controlar el momento en que se generan combinado con el problema técnico de las dificultades de almacenamiento.

Señala que además existe el riesgo de que su utilización se presente a la sociedad como más ventajosa y competitiva de lo que en realidad resultan, pues cuando se presentan sus ventajas se tienden a ignorar aspectos como las subvenciones que tradicionalmente han recibido o el coste real del ciclo de vida de las instalaciones y elementos que se utilizan en la generación (recursos y consumos utilizados en la fabricación, instalación y disposición final).

Mientras que las renovables alcanzan el nivel de competitividad de la generación a partir de fósiles, recomienda mirar hacia la energía nuclear como solución “interina” ... o no tanto.

En una segunda ronda, en conversación telefónica el 19 de junio trato de concluir la discusión con JV pidiéndole una conclusión que compile su análisis sobre el futuro de los sectores energético y del transporte aéreo. Muy concretamente le pregunto si cabe esperar una crisis futura del modelo actual del transporte aéreo y si esta tendrá carácter fundamentalmente energético o medioambiental.

Ciertamente ve un gran potencial de aplicación de energías alternativas en medios de transporte terrestres y marítimos, no tanto en la aviación. Por ello es de esperar que tanto las cuestiones medioambientales como las energéticas acaben impactando en el mercado de transporte aéreo. Más concretamente, es de esperar que la progresiva internalización de los impactos medioambientales mediante, por ejemplo, esquemas de derechos de emisiones concorra con aumentos del precio del combustible asociados a su cada vez mayor escasez y creciente demanda. Ambos efectos combinados es de esperar que lleven a aumentos del precio del billete que se traducirán a su vez en una adaptación (contractiva) de la demanda.

BW (ent-2017): no-estructurada, individual, presencial

BW es Dr. Ingeniero Industrial.

Ha desarrollado su carrera profesional en empresas de ingeniería y energías renovables del sector privado, en instituciones científicas internacionales japonesas y europeas y en el mundo académico. Actualmente es catedrático en una universidad técnica.

Conozco a BW desde hace 27 años y valoro su capacidad de realizar análisis claros y limpios de cuestiones complejas. Por su formación y experiencia puede ofrecer una opinión informada tanto sobre el futuro del panorama energético como de la industria aeronáutica y del transporte aéreo.

La entrevista se desarrolla en su casa, el día 3 de mayo de 2017 a las 19.30. Tras servir una copa de vino le expongo a BW el contexto de mi investigación. Comienzo preguntándole por su percepción sobre el futuro de las energías renovables, sobre su capacidad de desarrollo y de llegar a ser competitivas con la generación térmica tradicional.

BW manifiesta su pesimismo más sincero respecto a la competitividad de las energías renovables y a su capacidad potencial de desplazar completamente a la combustión de combustibles fósiles si queremos mantener nuestro nivel de vida actual; “otra cosa es que la solución pase por volver a los estándares de vida de la Edad Media”. Como mucho, cree en escenarios futuros de mix energético, donde las renovables contribuyan a paliar la cada vez mayor escasez de combustibles fósiles conforme estos se vayan agotando. Considera inevitable un escenario futuro de crisis energética que tendrán que gestionar las generaciones venideras y para el que no deberían crearse expectativas falsas de soluciones de ciencia ficción o de buenismo antropológico. La mejor alternativa para retrasar este escenario es la utilización de la energía nuclear.

Las limitaciones de la capacidad de las energías renovables para sustituir a la combustión de fósiles son dos:

1. La increíble competitividad en términos de “densidad energética” de los combustibles fósiles (del orden de 40 Megajulios por kilogramo para el queroseno). Por el contrario, las renovables son fuentes muy poco intensas energéticamente, por lo que requieren grandes volúmenes o superficies “de algo” para conseguir cantidades de energía significativas: enormes parques eólicos, grandes extensiones de placas solares o grandes extensiones de cultivos de plantas para producción de biocombustibles (los cuales tienen una densidad energética sensiblemente menor que los combustibles fósiles).

2. Esta baja densidad energética de las fuentes de energía renovable hace que debamos pensar en ellas, en contra de la concepción más común, como recursos limitados. No cabe pensar en inundar el paisaje con campos de molinos o granjas de paneles. Además, en particular para los molinos, los rendimientos de estas instalaciones sólo son razonables en enclaves muy específicos, que poco a poco ya van siendo ocupados. Preguntando por las instalaciones off-shore de energía eólica, comenta que las ubicaciones donde resultan eficientes y económicamente viables son también muy limitadas (lugares cercanos a la costa con poca profundidad)

La energía nuclear, por el contrario, ofrece densidades energéticas muy altas pero, claro está, con un riesgo mayor.

Comenta BW que el concepto de densidad energética (capacidad energética en relación al volumen de aquello que la produce) no es comprendido (ni quiere serlo) por la sociedad en general, ni por los políticos y gobernantes en particular. De ahí que, según él, nos encontremos en una permanente huida hacia adelante, en la que la sociedad sigue consumiendo combustibles fósiles como si fueran ilimitados, confiando en que las renovables solucionarán el problema en el medio plazo y, mientras tanto, despreciando la oportunidad de utilizar energía nuclear de manera más generalizada. En el fondo, “se trata de un problema de educación relacionado con una sociedad de adultos-niños dispuesta a creer cualquier tipo de ilusión o mentira (posverdad, como se dice ahora) y completamente incapaz de llevar a cabo un debate serio que sopesa las ventajas e inconvenientes de las diferentes fuentes energéticas y las implicaciones prácticas (positivas y negativas) que conlleva el tomar cualquier decisión.”

Preguntado por el futuro de la aviación en general, y sobre las expectativas de utilización de nuevos paradigmas energéticos en la propulsión de aeronaves, su respuesta es también pesimista. En propulsión, ni hay nuevos paradigmas energéticos, ni se les espera. Si hay un sector en que la densidad energética es vital, este es el de aviación, pues el avión necesita levantar y trasladar la fuente energética que utiliza para propulsarse. Luego para volar hay que quemar. Sobre la alternativa de los biocombustibles, comenta BW que su poder calorífico es sensiblemente menor y que, más allá de otras consideraciones sobre el desplazamiento de cultivos alimentarios, su cultivo en suficientes cantidades como para remplazar significativamente al consumo de fósiles requeriría extensiones de terreno inviables. Además critica su elevado coste a la vez que hace una interesante reflexión: pretendemos conseguir en cortos periodos de tiempo y de forma barata lo que la naturaleza ha tardado en hacer millones de años, con procesos complejos y magnitudes físicas brutales.

En este contexto, considera inviable a medio/largo plazo la sostenibilidad del transporte aéreo con el modelo de negocio actual y más aún en el contexto de los escenarios de crecimiento sostenido que se manejan en el sector. En primera instancia duda de la viabilidad económica de los modelos low cost cuando no están subvencionados o favorecidos por las instituciones (autonómicas, en este caso). Establece una comparación entre el modelo de negocio actual del transporte aéreo y la burbuja inmobiliaria de los años pasados. En la burbuja inmobiliaria, un sector aparentemente pujante acabó por colapsar y, para mantener el sistema, hubo que socializar las pérdidas. En el caso de las low cost, no hay pérdidas porque esa socialización del déficit de rentabilidad real del negocio se realiza mediante ayudas y subvenciones públicas. ¿Es ese modelo realmente sostenible? “Además, el problema adicional es que este modelo de negocio ha creado unos hábitos “erróneos” en la sociedad, pues se entiende como un derecho inalienable del ciudadano el poder viajar a donde se quiera por un precio irrisorio ... nada más falso.”

Por otra parte, dice BW que es obvio (aunque no se quiera contar así) que cualquier sector económico que consuma recursos no puede crecer de manera indefinida a ritmos por encima de la capacidad del sistema para regenerarlos. La desaparición del recurso causará la crisis del sector. Por ello augura un futuro muy

complicado para la aviación, donde los volúmenes de tráfico habrán de reducirse y el volar volverá a ser algo exclusivo. Quizá ese escenario no resulte tan traumático, pues de hecho en tiempos de crisis el viajar u otro tipo de servicios “lúdicos” son lo primero de lo que se prescinde. Por ello ve con preocupación el que la economía española esté tan fundamentalmente basada en los servicios y en el turismo, pues en un escenario de crisis ese modelo se tambalearía rápidamente frente economías industriales mucho más resilientes.

BN (ent-2018): semi-estructurada, individual, presencial

BN es ingeniero aeronáutico. Durante muchos años ha desarrollado su labor profesional en multinacionales de ingeniería donde ha desempeñado cargos de alta dirección responsabilizándose a nivel mundial de actividades de aeronáutica, defensa, sector naval, transporte y sector químico.

BN aporta a la investigación una perspectiva experta multidisciplinar adquirida a lo largo de muchos años de dedicación a la consultoría en materia de ingeniería.

BN y yo fuimos compañeros durante la universidad y nos une una amistad profunda desde hace muchos años.

La entrevista se realiza un día de de noviembre de 2018 durante una comida en el restaurante “El Mirador del Olivar”, junto al campo de Golf de la Hinojosa, cerca del parque Juan Carlos Primero de Madrid. Tratamos de ceñirnos al esquema de entrevista estructurada para expertos del transporte aéreo, aunque inevitable y afortunadamente muchas de las reflexiones ofrecidas por Alfonso se refieren a otros sectores.

Las medidas que actualmente se plantean en la industria para mejora de la eficiencia energética ¿son suficientes para compensar los crecimientos de consumo derivados de los crecimientos de tráfico esperados?

Alfonso es de la opinión de que cualquier limitación o alteración en la dinámica actual del sistema de transporte aéreo no responderá sino a motivaciones puramente económicas. Afirma que el impacto medioambiental del transporte aéreo es poco menos que ridículo cuando se compara con el de otros sectores, y que esta perspectiva es compartida por la mayoría de agentes del sector, de forma que la preocupación del sector al respecto se limita a la necesidad de cumplir con el marco regulatorio derivado de las medidas legales de protección medioambiental.

Respecto a la disponibilidad del combustible, indica Alfonso que la preocupación del sector se limita al precio del mismo y que la amenaza para la

dinámica del crecimiento del transporte aéreo no reside en una potencial escasez física del petróleo, sino en que las actuales tensiones geopolíticas desencadenen una situación de inestabilidad de precios. La realidad es que el petróleo es un recurso productivo que, en todo momento, presenta una disponibilidad limitada, sujeto a las leyes de oferta y demanda y, por tanto, con una alta potencialidad de impactar en las cuentas de resultados en función de su precio. En este contexto, cualquier tipo de alternativa que se pueda ofrecer al petróleo estará “bien vista”, sobre todo si esa alternativa puede proporcionar un marco de precios más estable. No obstante, reflexiona Alfonso, hay que prestar atención a las implicaciones de una utilización masiva de las tecnologías limpias, pues pudieran aparecer limitaciones de recursos similares o incluso peores que la que supone el petróleo actualmente. Pone Alfonso como ejemplo las posibles limitaciones de disponibilidad de Litio para baterías, pues son pocos los países productores y muchos de ellos no son ajenos a importantes tensiones geopolíticas.

También expresa Alfonso que, en su opinión, el impacto de los sectores productivos y el transporte en el cambio climático está por demostrar. Invita a comparar la generación de CO₂ por causas naturales (incendios, volcanes ...) frente a la que pueda generar el sector aéreo. No obstante señala que el control de emisiones de CO₂ es un KPI (Key Performance Indicator – Indicador Clave de Desempeño) excelente desde un punto de vista económico, pues refleja la eficiencia con la que se está utilizando un recurso responsable de un porcentaje muy alto de los costes de producción como es el combustible.

Concluye Alfonso que, en cualquier caso, no piensa que el tráfico aéreo vaya a dejar de crecer.

¿Qué medidas de mejora de eficiencia energética en la aviación tienen más potencial y qué medidas tienen menos porvenir?

Expresa Alfonso su convencimiento de que el margen de mejora tecnológica en las aeronaves es muy limitado. Percibe más potencial en mejoras derivadas de cambios en la estructura del tráfico, por ejemplo de un mayor índice de operación punto a punto frente a la actual predominancia de modelos hub and spoke.

Anticipa Alfonso que un aumento de los precios de combustible forzaría a un cambio en la distribución actual de “share” entre los diferentes medios de transporte, perjudicando al transporte aéreo que cedería mercado a medios alternativos como el tren de alta velocidad en distancias cortas-medias (500-700 km). En este mismo segmento podrá en el largo plazo entrar en competición la aviación con propulsión híbrida, pero no cree Alfonso que esta sea viable para las largas distancias.

Menciona Alfonso el potencial del Hyperloop para largas distancias, aunque reconoce que todavía queda mucho tiempo hasta conseguir desarrollarlo a nivel de explotación.

Menciona Alfonso el potencial del Hyperloop para medias distancias, indicando que su tiempo de desarrollo será similar al de la implantación de nuevos sistemas de propulsión en la aviación comercial. También destaca que su impacto en transporte de mercancías puede ser aún más relevante y de más rápida implantación.

¿Cree posible un cambio en el paradigma energético de la propulsión en aviación?

Afirma Alfonso que no lo ve posible en el corto plazo (20 años), y que a más largo plazo dependerá mucho de la evolución en la tecnología de almacenamiento de energía. Menciona que grandes empresas como Toyota no creen en el futuro de las baterías y por ello no desarrollan vehículos exclusivamente eléctricos. Concede cierto crédito a los desarrollos de sistemas propulsivos basados en hidrógeno y pilas de combustible.

¿Qué opinión le merecen los biocombustibles?, ¿qué potencial pueden tener para la aviación?

En opinión de Alfonso tanto los biocombustibles como los combustibles sintéticos no tienen un potencial real, su utilización es anecdótica y posiblemente acaben por abandonarse.

¿Considera que la aviación tiene más complicada la aplicación de energías alternativas que otros sectores?

Alfonso considera que efectivamente resulta mucho más complicado la introducción de energías alternativas en la aviación que en otros sectores y que es lógico que sea así por el mayor grado de conservadurismo que exigen los requisitos de seguridad. Afirma que la seguridad que se le exige al sistema dificulta la innovación en el mismo y señala como está realidad se traduce en que la experiencia de volar sigue siendo prácticamente la misma, si no peor, que hace muchos años.

¿Cuál de los siguientes escenarios considera más probable en el medio plazo? Por favor explique por qué:

1. Optimista 1: la aviación es capaz de desarrollar tecnologías que permiten compatibilizar el crecimiento del tráfico con las limitaciones de disponibilidad de combustibles fósiles

2. Optimista 2: la aviación se beneficia de los avances de las energías alternativas en otros sectores, de manera que los hidrocarburos quedan liberados para el uso de la aviación retrasando una posible crisis de escasez y dando tiempo a evolucionar más lejos en otras tecnologías.

3. Intermedio: la menor disponibilidad de petróleo impacta en los costes de los carburantes y por tanto en las tarifas de los vuelos, provocando una significativa contracción de la demanda que se compensa en parte por un mayor uso de otros modos y por un cambio de hábitos de los viajeros (en particular de los turistas como más sensibles al precio).

4. Pesimista 1: crisis profunda del sector aéreo, mucho más acentuada que en otros transportes y sectores.

5. Pesimista 2: crisis global generalizada.

Alfonso se alinea con el escenario 2, e insiste en la idea de que si hubiera una posible crisis de escasez no respondería a una realidad de agotamiento de reservas de petróleo, sino de control de la producción y su efecto en los precios.

Caso de considerar posible un escenario de crisis en el transporte aéreo, ¿considera más probable que la crisis sea de origen energético o medioambiental?

Para Alfonso, la posible crisis en el transporte aéreo sería de carácter económico motivada por el precio del carburante. No piensa que la cuestión medioambiental vaya a ser limitante para el crecimiento de la demanda y el tráfico, principalmente porque este crecimiento se va a dar fundamentalmente en países como China u otros países en vías de desarrollo donde la preocupación por el medio ambiente va a ser absolutamente secundaria. Destaca Alfonso el fenómeno del crecimiento en China, donde se están desarrollando aviones de transporte comercial (fabricante COMAC), hecho que no parece inquietar a los grandes fabricantes actuales Boeing y Airbus, pues pueden pensar que no les supondrá una competencia en los mercados actuales, sino que los fabricantes chinos se dedicarán a cubrir el crecimiento del propio mercado chino.

¿Cuál es su opinión respecto a los sistemas de derechos y compensación de emisiones?

La opinión de Alfonso al respecto es totalmente negativa y califica estos sistemas como herramientas puramente políticas. Él no ve claras evidencias científicas de que el calentamiento global sea producido por la generación humana de CO₂, y desde esa base, ningún sistema de compensación y comercio de emisiones tiene sentido.

KS respondió también al cuestionario para profesionales del mundo de la energía.

¿Hasta qué punto se puede considerar que las energías renovables son o pueden llegar a ser competitivas con la utilización de combustibles fósiles?

Creo que un mix energético adecuado, junto con una planificación adecuada puede incrementar mucho más la cuota de energías renovables que existe ahora mismo. En cualquier caso es un problema que depende mucho del país, localización

e infraestructuras (por ejemplo recurso solar o hídrico, interconexiones con otros países...)

¿En qué plazos puede llegar a desarrollarse un índice de remplazo significativo de las renovables por fósiles de manera que se consiga un equilibrio sostenible?

Depende mucho de la voluntad política. Tecnológicamente estamos muy por delante de lo que se estaba hace 20 años y si de verdad hubiera un interés, en 10-15 años se podría llegar a más de un 50% de generación media con renovables. El avance en la reducción de costes de la energía solar (abaratamiento de paneles), la mejora de la eficiencia de los sistemas (avances en software y electrónica de potencia) y la aparición de mejores sistemas de almacenamiento (por ejemplo como segunda vida de las baterías de Li - Ion en automoción) la ha convertido en una opción claramente competitiva y no suficientemente implementada por el interés de algunos.

¿En qué sectores se podrá producir ese remplazo de manera efectiva y en cuáles es más complicado?

Centrándose en la solar, creo que el autoconsumo energético es uno de los primeros objetivos. La energía solar es descentralizada de por sí y encaja dentro de las necesidades de ciudades más inteligentes. El almacenamiento está todavía en desarrollo (a nivel de reducción de costes), pero existen alternativas como volcar la energía en la red o el almacenamiento en un creciente parque de vehículos eléctricos que podrían hacer de amortiguador en la demanda devolviendo la energía en horas pico (Vehicle to Grid) que con una infraestructura adecuada podrían ser viables a corto plazo.

¿Considera que puede existir un modelo energético diferente al actual para la aviación?

No a corto plazo. A medio plazo requiere de mucho tiempo de investigación en nuevas plantas propulsoras (hibridación, distribuciones en alto voltaje, etc) y la integración en diferentes conceptos de aeronave

¿Qué potencial tienen los biocombustibles?

No creo que puedan paliar la creciente demanda y sólo podrán contribuir con una ligera atenuación de la misma

¿Qué problema considera más urgente: el cambio climático derivado de las emisiones de gases invernadero o una posible crisis de los combustibles fósiles?

El cambio climático es un hecho, y creo que la cuestión es cómo podremos adaptarnos y mitigarlo más que evitarlo. Creo que eso será más urgente para evitar otros efectos derivados (falta de recursos hídricos, migraciones masivas, etc...) que el hecho de una falta de suministro energético (que tardará más en llegar)

¿Cuál de los siguientes escenarios considera más probable en el medio plazo? Por favor explique por qué

a) ***Optimista: desarrollo de las renovables (u otras fuentes de energía no escasas) que progresivamente eliminan la dependencia de los fósiles salvo en sectores en los que su uso es crítico.***

b) ***Intermedio: las renovables (u otras fuentes de energía no escasas) se desarrollan significativamente, pero no lo suficiente como para eliminar la dependencia de los fósiles. Como consecuencia, la economía global ralentiza su crecimiento (o se contrae), y en particular aquellos sectores más dependientes de los fósiles.***

c) ***Pesimista: crisis energética mundial: las renovables no ofrecen un replazo efectivo a los fósiles, que se agotan progresivamente. Retroceso global de características catastróficas.***

d) ***Otros escenarios: describa.***

Intermedio. Lo que no sabría predecir es la tasa de decrecimiento y las consecuencias (brusca o progresiva).

¿Cuál es su opinión respecto a los sistemas de derechos y compensación de emisiones?

Misma respuesta que en el otro cuestionario

KS (ent-2018): semi-estructurada, individual, por e-mail.

KS es ingeniero aeronáutico y máster en energía solar. Acumula una experiencia de casi 20 años en el sector aeronáutico, habiendo desarrollado sus funciones en áreas de diseño, ingeniería de sistemas y mantenimiento. En los últimos 12 años ha desarrollado en paralelo una actividad de consultoría de energía solar.

En los últimos años su actividad aeronáutica ha estado centrada en proyectos de I+D en propulsión híbrida, analizando cuestiones de almacenamiento de energía y electrónica de potencia.

La experiencia de KS resulta particularmente relevante para el objeto de la investigación al tener una visión directa y profunda de las posibilidades y dificultades que las nuevas propuestas tecnológicas tienen para su aplicación en aviación. A esto se une el carácter curioso y la inquietud intelectual de KS, a quien conozco desde hace muchos años y con quién he tenido la oportunidad de trabajar directamente.

La entrevista se realiza por e-mail dado que KS reside en el extranjero, de ahí que la reseña esté en primera persona. Completa su respuesta el 17 de marzo de 2019.

Las medidas que actualmente se plantean en la industria para mejora de la eficiencia energética ¿son suficientes para compensar los crecimientos de consumo derivados de los crecimientos de tráfico esperados?

No creo que se estén ejecutando con la rapidez y eficiencia necesaria para compensar dicho crecimiento. El mundo aeronáutico tiene unos tiempos de desarrollo y procesos de certificación excesivamente complejos para la dificultad técnica de los retos que se necesitan asumir.

¿Qué medidas de mejora de eficiencia energética en la aviación tienen más potencial y qué medidas tienen menos porvenir?

El desarrollo de tecnologías alternativas (híbridas) todavía requerirá de mucho tiempo de investigación. La tecnología desarrollada para otros medios de transporte (por ejemplo, baterías en automoción) no tiene las capacidades necesarias para cubrir los requisitos y además la demanda no incita a la competición (baja cuota de mercado en comparación con otras industrias). Bajo mi punto de vista, las mejoras aerodinámicas y de motores, junto con pequeñas hibridaciones en determinadas configuraciones (carreteo en pista, por ejemplo) pueden dar una solución más rápida a corto plazo que un cambio radical en las plantas propulsoras.

¿Cree posible un cambio en el paradigma energético de la propulsión en aviación?

No a corto plazo, pero considero que es absolutamente necesario a largo plazo. Pero la gente debe asumir que tendrá que venir asociado a un cambio del concepto de aeronave, que está optimizada para una planta propulsora determinada y altas velocidades. Posiblemente sean necesarias aeronaves más pequeñas, más eficientes y volando a velocidades menores.

¿Qué opinión le merecen los biocombustibles?, ¿qué potencial pueden tener para la aviación?

No creo que sea una solución viable a medio plazo. La superficie de cultivo necesaria para la demanda crearía un efecto perjudicial en otras industrias como la alimentaria por la necesidad de compartir recursos (agua, terreno...)

¿Considera que la aviación tiene más complicada la aplicación de energías alternativas que otros sectores?

Sí, principalmente por la densidad energética de potencia necesarias (Wh/kg o W/kg). El peso es un factor determinante en la aviación. Las baterías o las células de combustible no pueden competir con la densidad energética de los combustibles a igualdad de modelo de aeronave.

¿Cuál de los siguientes escenarios considera más probable en el medio plazo? Por favor explique por qué:

1. Optimista 1: la aviación es capaz de desarrollar tecnologías que permiten compatibilizar el crecimiento del tráfico con las limitaciones de disponibilidad de combustibles fósiles

2. Optimista 2: la aviación se beneficia de los avances de las energías alternativas en otros sectores, de manera que los hidrocarburos quedan liberados para el uso de la aviación retrasando una posible crisis de escasez y dando tiempo a evolucionar más lejos en otras tecnologías.

3. Intermedio: la menor disponibilidad de petróleo impacta en los costes de los carburantes y por tanto en las tarifas de los vuelos, provocando una significativa contracción de la demanda que se compensa en parte por un mayor uso de otros modos y por un cambio de hábitos de los viajeros (en particular de los turistas como más sensibles al precio).

4. Pesimista 1: crisis profunda del sector aéreo, mucho más acentuada que en otros transportes y sectores.

5. Pesimista 2: crisis global generalizada.

Posiblemente la número 3, acompañada por un crecimiento en sectores de transporte alternativos terrestres que tienen más facilidad de asimilar las mejoras en el sistema energético (tren, por ejemplo), relegando el uso del avión para distancias donde esos transportes no pueden ser competitivos

Caso de considerar posible un escenario de crisis en el transporte aéreo, ¿considera más probable que la crisis sea de origen energético o medioambiental?

Como he comentado en el apartado anterior, creo que será más motivada por la competencia que surgirá con otros medios, pero posiblemente más por un tema medioambiental que energético (percepción de mayor ecología en los otros medios de transporte)

¿Cuál es su opinión respecto a los sistemas de derechos y compensación de emisiones?

No estoy muy familiarizado, pero considero que, para cualquier comparativa de costes de una solución, todos los factores tienen que estar incluidos. Por ejemplo, vivimos en una sociedad en la que se considera el precio de adquisición de un bien como el único factor (por ejemplo, al comprar un móvil o un ordenador), sin considerar el coste de la gestión de los residuos generados (usar y tirar más que reparar).

ANEXO 2: ENTREVISTAS A PROFESIONALES DE LA AVIACIÓN Y LA ENERGÍA DURANTE LA PANDEMIA – PRIMAVERA / VERANO 2021.

SD (ent-2021): semi-estructurada, individual, e-mail

SD es ingeniero aeronáutico y máster en “business administration”. Es vicepresidente de ventas en una empresa fabricantes de aviones, donde ha desarrollado su carrera profesional a lo largo de más de 25 años. Por problemas de desfase horario, la entrevista se realiza por e-mail (obsérvese que la reseña está en primera persona), con la última respuesta recibida el 11 de agosto de 2021. La primera entrevista se realizó también por e-mail en primavera de 2017.

Las medidas que actualmente se plantean en la industria para mejora de la eficiencia energética ¿son suficientes para compensar los crecimientos de consumo derivados de los crecimientos de tráfico esperados?

A corto plazo diría que si... no hemos tenido una crisis energética por escasez de combustibles en mucho tiempo. Sin embargo, las emisiones de CO₂ y el cambio climático asociado, se ha convertido en la fuerza principal que empuja la aceleración de la eficiencia energética.

A largo plazo sabemos que habrá que substituir el petróleo.

¿Qué medidas de mejora de eficiencia energética en la aviación tienen más potencial y qué medidas tienen menos porvenir?

Es difícil de predecir el futuro sin embargo hay medidas que pueden introducirse de forma casi inmediata con resultados inmediatos como una mejor gestión del tráfico aéreo usando nuevas tecnologías desarrolladas para el ahorro de combustible. A más largo plazo hay que demostrar si somos capaces de encontrar combustibles alternativos con mayor eficiencia energética.

¿Cree posible un cambio en el paradigma energético de la propulsión en aviación?

Claro que sí. El mundo no hubiera avanzado sin cambios radicales en prácticamente todas las facetas de la vida.

¿Qué opinión le merecen los biocombustibles?, ¿qué potencial pueden tener para la aviación?

Son una alternativa interesante, aunque falta mucho por investigar. La complejidad de los biocombustibles se centra en su ecosistema y en particular los recursos necesarios para producirlos y el posible impacto que esto pueda tener. Todavía no hemos dado con una solución realmente eficiente, pero pueden ser una alternativa real de mejora combinados con combustibles existentes.

¿Qué opinión le merecen los combustibles sintéticos?, ¿qué potencial pueden tener para la aviación?

N/A

¿Considera que la aviación tiene más complicada la aplicación de energías alternativas que otros sectores?

No necesariamente. La aviación es una industria con una larga historia asociada a la innovación y aplicación de últimas tecnologías.

¿Considera que la digitalización será un factor relevante para la sostenibilidad de la aviación?

Sí. La digitalización y el diseño de aeronaves van unidos. A más y mejor digitalización, más oportunidades para optimizar el diseño y contribuir a una mayor eficacia energética. También permitirá mejor simulación minimizando el coste de diseño, producción, mantenimiento, etc... contribuyendo a la sostenibilidad de la industria

¿Cuál de los siguientes escenarios considera más probable en el medio plazo? Por favor explique por qué:

1. Optimista 1: la aviación es capaz de desarrollar tecnologías que permiten compatibilizar el crecimiento del tráfico con las limitaciones de disponibilidad de combustibles fósiles

2. Optimista 2: la aviación se beneficia de los avances de las energías alternativas en otros sectores, de manera que los hidrocarburos quedan liberados para el uso de la aviación retrasando una posible crisis de escasez y dando tiempo a evolucionar más lejos en otras tecnologías.

3. Intermedio: la menor disponibilidad de petróleo impacta en los costes de los carburantes y por tanto en las tarifas de los vuelos, provocando una significativa contracción de la demanda que se compensa en parte por un mayor uso de otros modos y por un cambio de hábitos de los viajeros (en particular de los turistas como más sensibles al precio).

4. Pesimista 1: crisis profunda del sector aéreo, mucho más acentuada que en otros transportes y sectores.

5. Pesimista 2: crisis global generalizada.

Creo que la aviación será una de las últimas industrias en utilizar combustibles fósiles, quizás mezclados con biocombustibles pero a la vez es una industria capaz de desarrollar tecnologías alternativas y que también se beneficiara de los avances en otros sectores. Si hay que escoger escenario, escogería el Optimista 2.

Caso de considerar posible un escenario de crisis en el transporte aéreo, ¿considera más probable que la crisis sea de origen energético o medioambiental?

Medioambiental.

¿Cuál es su opinión respecto a los sistemas de derechos y compensación de emisiones?

Si las compensaciones sirven como marco de referencia para incentivar la innovación entonces bienvenidas sean. Si son simplemente un impuesto más, no están ayudando mucho.

¿Cómo cree que se desarrollará el transporte aéreo a partir de ahora tras el impacto del COVID-19?

No creo que COVID-19 tenga un impacto relevante excepto a corto plazo. El tráfico aéreo ya ha sufrido impactos importantes a lo largo del tiempo y siempre se ha recuperado. El contacto entre personas no se duplica virtualmente y el ser humano es un ser social. Tráfico doméstico está ya prácticamente recuperado y el internacional tardará un par de años más, pero se recuperará también.

¿Cree que la nueva corriente social de la “vergüenza de volar” puede tener un impacto significativo en volúmenes (demanda) y modelos de negocio?

Lo siento, pero no estoy familiarizado con esta corriente social...no lo he escuchado nunca.

Nota: en segunda vuelta, SD añade:

Si sé de Greta Thunberg... el calentamiento global es real, aunque hay algunos que lo niegan, y a mí me parece razonable que alguien como Greta u otros pidan soluciones.

Lo peligroso es perder tu sitio e inventarte soluciones sin saber de lo que se habla. La aviación solo produce algo más del 2% de las emisiones de carbono en el mundo sin embargo es un multiplicador del PIB global con lo cual no fomentar los viajes en avión no sólo no ayuda al tema del calentamiento global, sino que encima afecta negativamente, y mucho, al desarrollo económico del planeta.

WI (ent-2021): semi-estructurada, individual, presencial-remota (Teams)

WI es ingeniero aeronáutico y trabaja actualmente en una empresa de consultoría de energías renovables. Previamente, desarrolló su actividad en una multinacional de las energías renovables, las turbinas de generación y los motores de aviación, en la que desempeñó cargos de responsable de ventas de servicios de energía eólica y diversas ocupaciones relacionadas con turbinas de gas. Anteriormente trabajó en mantenimiento de motores aeronáuticos.

Su amplia experiencia multidisciplinar en aspectos técnicos, de operación, comerciales y de desarrollo de negocio en producción de electricidad (tanto renovable como basada en combustión de fósiles) y motores aeronáuticos hace de él una persona especialmente adecuada para ser entrevistada en el marco de la investigación.

Conozco a WI desde hace más de 30 años, y además de su conocimiento y experiencia, valoro su sinceridad y capacidad de desmarcarse de mensajes corporativos.

La entrevista se realizó el martes 17 de agosto de 2021 a través de la plataforma Teams. La primera entrevista, de carácter no estructurado, se celebró el 19 de abril de 2017 durante una comida.

Las medidas que actualmente se plantean en la industria para mejora de la eficiencia energética ¿son suficientes para compensar los crecimientos de consumo derivados de los crecimientos de tráfico esperados?

Reconoce WI no hallarse demasiado al día de la evolución del mercado de transporte aéreo, si bien juzga que la respuesta a esta pregunta dependerá de cómo se definan las políticas de transporte de los países. Los objetivos de descarbonización para el año 2050 marcados por la Unión Europea y que también trascienden a legislaciones nacionales se convierten en obligatorios e inexcusables, y también afectan al transporte, y en particular al transporte aéreo.

¿Qué medidas de mejora de eficiencia energética en la aviación tienen más potencial y qué medidas tienen menos porvenir?

Para volar, indica WI, hace falta quemar combustible sí o sí. Los combustibles de origen biológico son una opción, pero realmente producen CO₂ (aunque los políticos digan que resultan neutros en emisiones por el consumo de CO₂ realizado durante su vida vegetal) y no son suficientes para cubrir las necesidades energéticas globales. Reconoce WI que estos combustibles presentan ciertas ventajas, y lo ilustra con el ejemplo de una planta de biomasa de 50 MW en cuyo proyecto está trabajando que consume y dispone de 50000 Tm de residuos vegetales al año.

Identifica también como alternativa energética viable el hidrógeno, y señala en particular la aplicación del mismo con pilas de combustible como una opción seria y tecnológicamente madura para pequeñas aeronaves.

Valora la oportunidad actual de disposición de fondos europeos para la recuperación como única para realización de inversiones para el desarrollo de este tipo de tecnologías.

Piensa también que el hidrógeno utilizado en motores de combustión puede ser una opción en el largo plazo, pero considera que hará falta tiempo para poder garantizar su utilización cumpliendo con los requisitos de seguridad y certificación aeronáuticas.

¿Cree posible un cambio en el paradigma energético de la propulsión en aviación?

Responde WI en positivo, expresando que el paradigma de los combustibles fósiles sin duda cambiará y que en un futuro a más largo plazo también cabe esperar la aparición de nuevas arquitecturas y conceptos de avión. Pone como ejemplo los aviones con motores cohete para vuelo impulsado en la estratosfera.

¿Qué opinión le merecen los biocombustibles?, ¿qué potencial pueden tener para la aviación?

Se refiere WI a su respuesta a la pregunta anterior sobre nuevas medidas planteadas por la industria aeronáutica y reitera su confianza en los biocombustibles como solución parcial.

¿Qué opinión le merecen los combustibles sintéticos?, ¿qué potencial pueden tener para la aviación?

La percepción de WI sobre los combustibles sintéticos es muy negativa si estos derivan de los hidrocarburos. Reflexiona sobre los tres tipos de hidrógeno según su origen productivo: gris (derivado de los hidrocarburos), azul (derivado de los hidrocarburos pero con secuestro de CO₂) y verde (generado a partir de la electrólisis del agua pero con energía eléctrica de origen renovable).

¿Considera que la aviación tiene más complicada la aplicación de energías alternativas que otros sectores?

Confirma WI esa mayor dificultad, y la justifica por la importancia de minimizar el peso en aeronáutica y por los muy estrictos requisitos de seguridad, aspectos que, combinados, hacen que resulta muy complicado el almacenamiento y gestión en la aeronave de fuentes energéticas alternativas como por ejemplo el hidrógeno.

¿Considera que la digitalización será un factor relevante para la sostenibilidad de la aviación?

La digitalización es para WI fundamental para la sostenibilidad de la aviación, como lo es para cualquier otro sector. Más allá de la utilización de las tecnologías de la información para mejorar operaciones o procesos de diseño (mediante la utilización de modelos digitales), señala cómo las tecnologías de la información están teniendo un importante efecto en el desarrollo del mercado del transporte aéreo al posibilitar medios de interacción profesional que no requieren la presencia física.

¿Cuál de los siguientes escenarios considera más probable en el medio plazo? Por favor explique por qué:

1. Optimista 1: la aviación es capaz de desarrollar tecnologías que permiten compatibilizar el crecimiento del tráfico con las limitaciones de disponibilidad de combustibles fósiles

2. Optimista 2: la aviación se beneficia de los avances de las energías alternativas en otros sectores, de manera que los hidrocarburos quedan liberados para el uso de la aviación retrasando una posible crisis de escasez y dando tiempo a evolucionar más lejos en otras tecnologías.

3. Intermedio: la menor disponibilidad de petróleo impacta en los costes de los carburantes y por tanto en las tarifas de los vuelos, provocando una significativa contracción de la demanda que se compensa en parte por un mayor uso de otros modos y por un cambio de hábitos de los viajeros (en particular de los turistas como más sensibles al precio).

4. Pesimista 1: crisis profunda del sector aéreo, mucho más acentuada que en otros transportes y sectores.

5. Pesimista 2: crisis global generalizada.

Favorece WI el escenario optimista 2 con una cierta evolución hacia el intermedio, pues si cree que se producirá un cambio en los hábitos de los viajeros, que podrá estar en parte motivado por unos mayores precios derivados del mayor precio de los nuevos combustibles y su desarrollo.

Caso de considerar posible un escenario de crisis en el transporte aéreo, ¿considera más probable que la crisis sea de origen energético o medioambiental?

Para WI no son escenarios separables. La crisis medioambiental implica una crisis del modelo energético.

¿Cuál es su opinión respecto a los sistemas de derechos y compensación de emisiones?

Expresa WI una opinión muy negativa al respecto, argumentando que son injustos y que resultan incomprensibles para el ciudadano, que sólo percibe un

aumento en el precio de un bien básico por un concepto abstracto de carácter especulativo que, para WI, está mal concebido.

¿Cómo cree que se desarrollará el transporte aéreo a partir de ahora tras el impacto del COVID-19?

Para WI, el transporte aéreo se desarrollará de una forma más racional, más eficiente y también será más caro. Confía en que el mercado ejercerá su mecanismo para ajustar los precios, y se acabará pagando lo que los ciudadanos están dispuestos a pagar.

Por otra parte, señala WI cómo el COVID ha acelerado ciertos cambios que ya estaban iniciando en el sistema.

¿Cree que la nueva corriente social de la “vergüenza de volar” puede tener un impacto significativo en volúmenes (demanda) y modelos de negocio?

Desconocía WI el término como tal, pero una vez ubicado el marco del movimiento (con una inevitable referencia a Greta Thunberg), señala WI que estos movimientos responden a modas pasajeras que se utilizan con fines políticos. No piensa que vaya a tener un impacto importante en el transporte aéreo, pues, si hay que volar, se volará. Volar tiene una función social y económica indisputable.

Para WI el cambio climático es cierto y el ecologismo da votos. Reitera su comentario de inicio, la directiva institucional y legal por la descarbonización es clara y firme, y señala como ejemplo la proliferación de leyes en estados europeos respecto a los límites temporales para la producción de automóviles con motores de combustión. Los objetivos se conseguirán, aunque los plazos puedan tener que extenderse.

Acabada la entrevista me doy cuenta de que me falta recabar la opinión de WI sobre evolución futura de la producción de energía en general, y le pregunto por ello.

WI reconoce que se ha progresado mucho en el desarrollo de energías renovables (y en particular en España, donde este hecho mitiga mucho la dependencia energética), pero que ello acentúa la importancia de resolver los

problemas intrínsecos de las renovables: la intermitencia, no almacenabilidad, dificultades de predicción ... Necesariamente precisan de sistemas complementarios que garanticen la capacidad de producción cuando hace falta, por ello no se pueden desmantelar los ciclos combinados y las nucleares mientras que se desarrollan tecnologías alternativas para la acumulación y gestión como baterías, sales, hidrógeno o instalaciones como las de bombeo reversible.

BM (ent-2021): semi-estructurada, individual, presencial

BM es ingeniero aeronáutico. Actualmente desempeña el cargo de Director de Ingeniería en una empresa aeronáutica.

También es profesor en una escuela de ingeniería aeronáutica, donde es docente en diseño de aeronaves. Por su actividad y experiencia, se puede considerar a BM como uno de los máximos expertos nacionales en ingeniería avanzada de aeronaves y plantas propulsivas.

La entrevista se desarrolló durante una comida el día 27 de julio de 2021, en un marco idéntico al de la entrevista original realizada el 8 de mayo de 2017 (aunque esta fue de carácter no estructurado).

Las medidas que actualmente se plantean en la industria para mejora de la eficiencia energética ¿son suficientes para compensar los crecimientos de consumo derivados de los crecimientos de tráfico esperados?

Considera BM que las medidas no serán suficientes, pues son solamente susceptibles de utilización en aplicaciones de corto y, quizá, medio alcance. La energía necesaria para desarrollar un vuelo depende del producto de los pasajeros transportados por la distancia recorrida ($pax \times kms$), y cuanto mayor es este producto más relevante resulta la densidad energética del sistema utilizado para la propulsión.

Según BM, los combustibles sintéticos constituyen una solución técnicamente viable a nivel de utilización en las aeronaves, pero presentan dos problemas fundamentales: su alto precio y la falta de capacidad productiva para satisfacer la demanda de combustible en aviación.

Opina BM que la utilización del hidrógeno como fuente energética tiene mucho potencial para el transporte terrestre y la generación eléctrica, pero no tanto para la aviación, y en cualquier caso no se contempla su utilización en el largo alcance.

¿Qué medidas de mejora de eficiencia energética en la aviación tienen más potencial y qué medidas tienen menos porvenir?

Para BM el open rotor (también denominado Prop fan) puede ser una opción viable y aplicable para todos los alcances. No obstante, reconoce que este sistema propulsivo requiere un cambio bastante radical en la aeronave, de igual manera que lo requerirá cualquier cambio sustancial en el sistema propulsivo.

No muestra BM confianza en los sistemas híbridos o eléctricos para solucionar el problema de las emisiones del transporte aéreo en los segmentos donde estas son realmente significativas.

De igual manera, respecto a la utilización de hidrógeno, BM reconoce que las dificultades con su almacenamiento y con el diseño de los sistemas para su gestión en la aeronave, constituyen una dificultad muy difícil de salvar.

¿Cree posible un cambio en el paradigma energético de la propulsión en aviación?

Piensa BM que, entendiendo por cambio de paradigma la utilización de un sistema diferente a la turbina de gas, la respuesta es un contundente no.

¿Qué opinión le merecen los biocombustibles?, ¿qué potencial pueden tener para la aviación?

Desde la perspectiva de BM, los biocombustibles tienen cierto potencial para su uso en aviación, pero este potencial vendrá limitado por la necesidad de utilizar otros recursos también limitados para su producción, como por ejemplo el terreno de cultivo y el agua.

¿Qué opinión le merecen los combustibles sintéticos?, ¿qué potencial pueden tener para la aviación?

Reconoce BM un mayor potencial en los combustibles sintéticos que en los biocombustibles, pues requieren un menor consumo de espacio/terreno y de agua. Identifica que el coste es el principal problema de los combustibles sintéticos, así como

la necesidad de garantizar que su producción se realice con electricidad sostenible. Este mismo requisito ha de aplicar a la generación de hidrógeno, que ha de generarse a partir de energías sostenibles.

¿Considera que la aviación tiene más complicada la aplicación de energías alternativas que otros sectores?

No duda BM en responder que sí. La aviación es un medio de transporte que requiere una gran intensidad energética y que está sujeta a mayores limitaciones para el almacenamiento de la fuente energética que en otros transportes, donde la intensidad energética requerida y las limitaciones de peso pueden ser menores.

¿Considera que la digitalización será un factor relevante para la sostenibilidad de la aviación?

Responde BM que no necesariamente, al menos no como factor diferencial. Reconoce, no obstante, que la digitalización ofrecerá mejoras de eficiencia en las operaciones (por ejemplo, en la optimización de rutas), en la fabricación de aeronaves y componentes y en la gestión del servicio.

¿Cuál de los siguientes escenarios considera más probable en el medio plazo? Por favor explique por qué:

1. Optimista 1: la aviación es capaz de desarrollar tecnologías que permiten compatibilizar el crecimiento del tráfico con las limitaciones de disponibilidad de combustibles fósiles

2. Optimista 2: la aviación se beneficia de los avances de las energías alternativas en otros sectores, de manera que los hidrocarburos quedan liberados para el uso de la aviación retrasando una posible crisis de escasez y dando tiempo a evolucionar más lejos en otras tecnologías.

3. Intermedio: la menor disponibilidad de petróleo impacta en los costes de los carburantes y por tanto en las tarifas de los vuelos, provocando una significativa contracción de la demanda que se compensa en parte por un mayor uso de otros modos y por un cambio de hábitos de los viajeros (en particular de los turistas como más sensibles al precio).

4. Pesimista 1: crisis profunda del sector aéreo, mucho más acentuada que en otros transportes y sectores.

5. Pesimista 2: crisis global generalizada.

Se adhiere BM al escenario 2. Argumenta que el problema de las emisiones ya está aquí y no ha causado una crisis en el sector. Explica además que el impacto de la aviación en las emisiones globales es realmente pequeño. Por ello piensa que la última gota de combustible fósil será consumida por un avión.

Caso de considerar posible un escenario de crisis en el transporte aéreo, ¿considera más probable que la crisis sea de origen energético o medioambiental?

Insistiendo en el argumento del bajo impacto de la aviación en las emisiones globales, BM defiende que, de haber una crisis en el transporte aéreo, es más probable que esta sea de carácter energético. Lo expresa también diciendo que si hubiera una crisis medioambiental, esta no habría sido causada por la aviación. En línea con la respuesta a la pregunta anterior sobre los escenarios, BM comenta que, si no hay una solución alternativa a la utilización de combustibles derivados del petróleo en otros sectores, la aviación sufrirá, pues se dará prioridad a la utilización de estos combustibles en sectores que satisfagan necesidades más primarias.

¿Cuál es su opinión respecto a los sistemas de derechos y compensación de emisiones?

No considera BM que estos sistemas sean muy efectivos, pues constituyen un mero traspaso del problema de un lado a otro, de un sector a otro.

¿Cómo cree que se desarrollará el transporte aéreo a partir de ahora tras el impacto del COVID-19?

Es BM de la opinión de que, una vez controlada la pandemia, se producirá una recuperación muy rápida con incluso un “overshoot” de tráfico. Estima BM que, como

consecuencia del natural deseo humano de viajar, se seguirá manteniendo la tradicional correlación entre el crecimiento del PIB global y el del tráfico aéreo.

Tiene dudas BM sobre la evolución del segmento de viajes de negocio pues, aunque todo parece apuntar a que estos no se recuperen a niveles del 2019 al haberse desarrollado en el marco de la pandemia nuevos usos y costumbres en la comunicación y colaboración empresarial, está todavía por probar que estos se mantengan en un contexto libre de miedos y limitaciones a viajar.

¿Cree que la nueva corriente social de la “vergüenza de volar” puede tener un impacto significativo en volúmenes (demanda) y modelos de negocio?

No lo cree así BM. No obstante, reconoce que hay un riesgo de que estas corrientes tengan un impacto en sectores políticos e institucionales dando origen a, por ejemplo, leyes pro-tren, o impuestos a la aviación. Pero no cree BM que estas corrientes sociales sean representativas de las motivaciones mayoritarias de la colectividad. Señala que un ejemplo parecido es el debate que respecto al consumo de carne se está dando en España: una corriente social muy limitada ha conseguido proyectarse a nivel político sin que realmente tenga una base fuerte de soporte popular.

JH (ent-2021): semi-estructurada, individual, presencial

La entrevistada, que prefiere mantener el anonimato, es ingeniera industrial y desarrolló la mayor parte de su carrera profesional en una de las principales empresas de diseño, fabricación y mantenimiento de motores aeronáuticos a nivel mundial, donde desempeñó puestos en departamentos de diseño, soporte en servicio de operación de aerolíneas y dirección de programas de tecnología. Posteriormente, durante un año, impulsó a nivel directivo los esfuerzos de digitalización en una compañía multinacional de componentes de automoción. Actualmente desarrolla su labor profesional como Engine Senior Project Manager en un consorcio internacional formado por las principales empresas del motor aeronáutico europeas.

La entrevista se desarrolla durante un almuerzo el día 27 de julio de 2021. La anterior entrevista, también de carácter semi-estructurado, había tenido lugar el día 17 de mayo de 2017.

Tras explicar el alcance de la investigación y ubicar la entrevista dentro del mismo, se procede a recorrer el formulario.

Las medidas que actualmente se plantean en la industria para mejora de la eficiencia energética ¿son suficientes para compensar los crecimientos de consumo derivados de los crecimientos de tráfico esperados?

Expresa JH una opinión positiva a este respecto, argumentando que la crisis actual del sector, motivada por el COVID-19, ha permitido ganar tiempo para el desarrollo de nuevas tecnologías al haberse frenado el crecimiento del transporte aéreo y haberse contenido el crecimiento de las emisiones del mismo.

¿Qué medidas de mejora de eficiencia energética en la aviación tienen más potencial y qué medidas tienen menos porvenir?

Confía JH en que la electrificación de las aeronaves se traducirá en una notable reducción de las emisiones de las mismas. Señala la importancia de la digitalización para conseguir procesos de diseño y desarrollo tecnológico más rápidos que permitan la introducción de dichas tecnologías en servicio en periodos más cortos. También

destaca el potencial de la digitalización para mejorar la eficiencia de las operaciones de tráfico aéreo: gestión de rutas, autonomía de los sistemas y optimización de la utilización de aeronaves en general.

¿Cree posible un cambio en el paradigma energético de la propulsión en aviación?

JH reitera que la electrificación es ese nuevo paradigma, y que ya es una realidad en aeronaves de pequeño tamaño. Confía en que el desarrollo tecnológico irá haciendo posible su extensión a aeronaves de mayor tamaño.

¿Qué opinión le merecen los biocombustibles?, ¿qué potencial pueden tener para la aviación?

Confiesa JH haber desarrollado un cierto escepticismo respecto a los biocombustibles. Refiere una experiencia suya de 2010 cuando, destacada en una importante aerolínea, se comenzó de forma pionera a mezclar biocombustible con queroseno. Pero muestra cierta decepción porque más de 10 años después, el progreso en la utilización de estos combustibles ha sido muy pequeño.

¿Qué opinión le merecen los combustibles sintéticos?, ¿qué potencial pueden tener para la aviación?

JH no se pronuncia al respecto. Conoce de su existencia, pero no lo suficiente como para haberse elaborado un criterio propio.

¿Considera que la aviación tiene más complicada la aplicación de energías alternativas que otros sectores?

JH asiente sin dudar, y ofrece dos razones fundamentales:

- La propia física: el avión vuela, y debe levantar y transportar su propio peso, lo cual limita la viabilidad de ciertos sistemas energéticos con el nivel de desarrollo tecnológico actual.

- Los requisitos de seguridad exigidos a la aviación y la necesidad de certificar todos los sistemas y actividades aeronáuticos para garantizar el cumplimiento de los mismos. La implementación en servicio de cualquier nueva tecnología se hace especialmente complicada por esta razón.

¿Considera que la digitalización será un factor relevante para la sostenibilidad de la aviación?

JH está convencida de la importancia de la digitalización en el desarrollo de una aviación sostenible. Insiste en la agilidad que la digitalización confiere al desarrollo de tecnologías y diseños. Señala que, de facto, este es un efecto que se está dando en todos los sectores económicos e incluso en todas las actividades de la vida ordinaria. Lo ilustra haciendo referencia a los aeropuertos inteligentes, donde la digitalización posibilita la mejora de eficiencia de las operaciones así como la experiencia de los usuarios.

¿Cuál de los siguientes escenarios considera más probable en el medio plazo? Por favor explique por qué:

1. Optimista 1: la aviación es capaz de desarrollar tecnologías que permiten compatibilizar el crecimiento del tráfico con las limitaciones de disponibilidad de combustibles fósiles

2. Optimista 2: la aviación se beneficia de los avances de las energías alternativas en otros sectores, de manera que los hidrocarburos quedan liberados para el uso de la aviación retrasando una posible crisis de escasez y dando tiempo a evolucionar más lejos en otras tecnologías.

3. Intermedio: la menor disponibilidad de petróleo impacta en los costes de los carburantes y por tanto en las tarifas de los vuelos, provocando una significativa contracción de la demanda que se compensa en parte por un mayor uso de otros modos y por un cambio de hábitos de los viajeros (en particular de los turistas como más sensibles al precio).

4. Pesimista 1: crisis profunda del sector aéreo, mucho más acentuada que en otros transportes y sectores.

5. Pesimista 2: crisis global generalizada.

JH se decanta por el optimista 2.

Caso de considerar posible un escenario de crisis en el transporte aéreo, ¿considera más probable que la crisis sea de origen energético o medioambiental?

JH expresa no creer en el pesimismo climático, por lo que valora como más probable una crisis del transporte aéreo por motivo energético que por motivo climático.

¿Cuál es su opinión respecto a los sistemas de derechos y compensación de emisiones?

JH declara ser más partidaria de implementar sistemas de incentivos más que gravámenes o sistemas punitivos. En cualquier caso, señala que los sistemas de compensación son mejores que la ausencia de medidas.

¿Cómo cree que se desarrollará el transporte aéreo a partir de ahora tras el impacto del COVID-19?

Expresa JH que le ha sorprendido el brutal efecto del COVID y que pensaba que la recuperación del tráfico aéreo iba a haber sido más rápida. Estima que las limitaciones para viajar y el consecuente efecto de retroceso en el turismo internacional durarán del orden de 2 ó 3 años más. Sin embargo, expresa optimismo en que, una vez superadas esas limitaciones, las innatas ganas de viajar de la humanidad, en un mundo que no puede dejar de ser global, llevarán a una rápida recuperación. En cuanto al segmento de los viajes de negocios, piensa que la bajada de la demanda se mantendrá en el tiempo, pues la digitalización ha propiciado y facilitado un cambio de costumbres en las relaciones y comunicaciones profesionales que perdurará.

¿Cree que la nueva corriente social de la “vergüenza de volar” puede tener un impacto significativo en volúmenes (demanda) y modelos de negocio?

La opinión de JH es que, a pesar de que efectivamente existe en la sociedad una mayor concienciación sobre las cuestiones medioambientales, esto no tendrá un impacto significativo en la demanda de transporte aéreo. Aumentará el foco en estas cuestiones, se desarrollarán acciones gubernamentales, se implementarán políticas tanto de incentivos a la reducción como de penalización a las emisiones ... pero todo ello no supondrá un cambio radical en las actitudes de los viajeros ni, por ende, en la demanda de transporte aéreo.

JV (ent-2021): semi-estructurada, individual, presencial

JV ocupa actualmente un cargo de alta dirección en una empresa de sistemas aeronáuticos, de defensa y de transportes. Anteriormente fue director ejecutivo de ingeniería y tecnología en una empresa aeronáutica. JV es ingeniero aeronáutico y doctor. Cuenta con más de 30 años de experiencia en la industria aeronáutica, ha dirigido y es responsable de múltiples proyectos de investigación y ha participado en múltiples consorcios y proyectos de investigación internacionales.

La entrevista se desarrolla durante una cena en casa de JV el día 26 de Julio de 2021. En la primera ronda me había entrevistado con JV a continuación de una comida de trabajo el día 16 de mayo de 2017. En aquella ocasión seguimos un modelo de entrevista no estructurada.

Realizada la introducción sobre los objetivos de la investigación y explicada la metodología, comenzamos la entrevista.

Las medidas que actualmente se plantean en la industria para mejora de la eficiencia energética ¿son suficientes para compensar los crecimientos de consumo derivados de los crecimientos de tráfico esperados?

Piensa JV que las medidas planteadas por la industria sí han de ser suficientes. Lo que se precisa lograr es un equilibrio entre el crecimiento en la inversión realizada en esas medidas. Históricamente se ha observado una progresiva reducción de del consumo específico de las aeronaves como consecuencia de esas continuas inversiones en la industria aeronáutica. No obstante, señala JV, se necesitan cambios “tipo salto”. En este sentido, JV expresa tener más confianza en el desarrollo de los biocombustibles y el hidrógeno que en la aviación eléctrica. La razón es muy simple: los sistemas eléctricos pesan demasiado.

Señala JV que una de las ventajas del sector aeronáutico en la búsqueda de la sostenibilidad radica en que la reducción de emisiones es un objetivo concurrente con la reducción de consumo y la consecuente reducción de costes. El ahorro de combustible es absolutamente fundamental para las aerolíneas, pues el combustible constituye un 25%-30% a los costes totales, y además los márgenes de las aerolíneas

son muy pequeños; por lo que cualquier ahorro de consumo de combustible tiene un impacto muy significativo en el EBITDA.

En lo referente a la cuestión medioambiental, desde hace años la aviación está muy concienciada, y también es reactiva y sensible a las demandas de la sociedad.

¿Qué medidas de mejora de eficiencia energética en la aviación tienen más potencial y qué medidas tienen menos porvenir?

Dice JV que la cuestión no es tanto de “más o menos” sino de las escalas de tiempo en que se puede desarrollar cada medida.

Reconoce que hay en la industria muchos mensajes exagerados sobre el potencial de algunas tecnologías con objeto de contentar a los políticos.

JV postula que serán necesarias mejoras evolutivas y también disruptivas, pero advierte de que en aeronáutica lo disruptivo implica riesgo e ilustra esta afirmación con el ejemplo de los problemas experimentados por Boeing cuando adoptó la estrategia de desarrollar un importante grado de electrificación en el 787 (se produjeron varios eventos de incendios de baterías). En el posterior desarrollo del A350, Airbus desechó esa estrategia.

Sobre las nuevas propuestas tecnológicas, JV afirma que algunas son simplemente físicamente inviables, mientras que de otras habrá que determinar progresivamente su escalabilidad.

¿Cree posible un cambio en el paradigma energético de la propulsión en aviación?

Insiste de nuevo JV en que la aviación eléctrica no es posible, pero que sí ve potencial a los combustibles alternativos, que, además de reducir las emisiones, aliviarán la dependencia de los combustibles fósiles. En cualquier caso, señala JV que la última gota de combustible fósil la consumirá un avión.

¿Qué opinión le merecen los biocombustibles?, ¿qué potencial pueden tener para la aviación?

Los biocombustibles son para JV una alternativa técnicamente sencilla, pero señala que se deben gestionar con extremo cuidado para no causar problemas colaterales por el consumo de otros recursos que podría llevar a que la aviación fuera percibida como causante del hambre en el mundo.

¿Qué opinión le merecen los combustibles sintéticos?, ¿qué potencial pueden tener para la aviación?

Para JV los combustibles sintéticos son una alternativa tan válida como los biocombustibles siempre que se consigan las mismas características fundamentales (poder energético, densidad ...).

¿Considera que la aviación tiene más complicada la aplicación de energías alternativas que otros sectores?

Según JV el hecho de volar dificulta la utilización de energías alternativas frente a otras aplicaciones donde el peso no es tan relevante. Además, en aviación son también importantes criterios de velocidad y número de rotaciones diarias. Propuestas alternativas como el Propfan han sido descartadas en algunos momentos de la historia reciente de la aviación por no satisfacer criterios económicos debido a resultar demasiado lento.

¿Considera que la digitalización será un factor relevante para la sostenibilidad de la aviación?

JV valora que la digitalización ayudará a la aviación, pero no es una panacea. La digitalización no es suficiente si no se entiende y se garantiza la funcionalidad de los sistemas. Señala JV que digitalización la habido toda la vida, pero que actualmente existe una moda de desarrollarla a toda costa. Menciona como ejemplo la demanda de La Guardia, pueblo tradicionalmente vinícola, de albergar un centro de inteligencia artificial. La digitalización ofrecerá mejoras en las operaciones (descensos y rutas optimizados), pero no propiciará un salto escalón en la tecnología de la aeronave.

¿Cuál de los siguientes escenarios considera más probable en el medio plazo? Por favor explique por qué:

1. Optimista 1: la aviación es capaz de desarrollar tecnologías que permiten compatibilizar el crecimiento del tráfico con las limitaciones de disponibilidad de combustibles fósiles

2. Optimista 2: la aviación se beneficia de los avances de las energías alternativas en otros sectores, de manera que los hidrocarburos quedan liberados para el uso de la aviación retrasando una posible crisis de escasez y dando tiempo a evolucionar más lejos en otras tecnologías.

3. Intermedio: la menor disponibilidad de petróleo impacta en los costes de los carburantes y por tanto en las tarifas de los vuelos, provocando una significativa contracción de la demanda que se compensa en parte por un mayor uso de otros modos y por un cambio de hábitos de los viajeros (en particular de los turistas como más sensibles al precio).

4. Pesimista 1: crisis profunda del sector aéreo, mucho más acentuada que en otros transportes y sectores.

5. Pesimista 2: crisis global generalizada.

Escoge JV el escenario optimista 2 como más probable, pues el petróleo no se acabará en el medio plazo, y ciertamente otros sectores son susceptibles de utilizar otras energías: nuclear, solar, eólica ... Ve un mejor aprovechamiento de estas energías por ejemplo en la automoción.

Caso de considerar posible un escenario de crisis en el transporte aéreo, ¿considera más probable que la crisis sea de origen energético o medioambiental?

JV señala la crisis medioambiental como más probable. Se incrementará el grado de exigencia y esto obligará a desarrollar nueva tecnología. Pone como ejemplo la evolución de la aeronáutica en materia de ruido: un aumento de las restricciones de operación y de las tasas por razón de ruido han forzado el desarrollo de tecnologías de reducción de ruidos. Apunta también que la crisis de carácter medioambiental se desarrollará de forma más progresiva que una crisis energética, que resultaría mucho

más brutal y severa, y que realmente hundiría la aviación. La crisis medioambiental puede combatirse de forma más modulable y progresiva.

¿Cuál es su opinión respecto a los sistemas de derechos y compensación de emisiones?

Prefiere JV no opinar, pues no conoce sus mecanismos con el suficiente detalle.

¿Cómo cree que se desarrollará el transporte aéreo a partir de ahora tras el impacto del COVID-19?

JV tiene fe en la motivación de la gente para viajar y en que ello haga recuperarse al sector. Comenta que se está viendo de forma patente durante la pandemia. No obstante, señala que es de esperar que los viajes de negocios no lleguen a recuperarse del todo, pues las empresas han sufrido mucho económicamente y las costumbres han cambiado.

Reconoce que aún no hemos alcanzado una situación de estabilidad y que la recuperación ha costado más de lo anticipado. Parte de este fallo en los pronósticos vienen dado por el hecho de que la pandemia se desarrolla según escalas de tiempo que no tenemos calibradas. Reconoce también que es inevitable que la pandemia tenga un impacto en los costes, pero que no es claro cuál será su efecto en la demanda, pues parece que la gente quiera recuperar el tiempo perdido.

¿Cree que la nueva corriente social de la “vergüenza de volar” puede tener un impacto significativo en volúmenes (demanda) y modelos de negocio?

Para JV este movimiento social tendrá un impacto muy limitado en la demanda. De hecho, al comenzar la pandemia, Greta desapareció de los medios.

BW (ent-2021): no-estructurada, individual, presencial

BW es Dr. Ingeniero Industrial.

Ha desarrollado su carrera profesional en empresas de ingeniería y energías renovables del sector privado, en instituciones científicas internacionales japonesas y europeas y en el mundo académico. Actualmente es catedrático en una universidad técnica.

Conozco a BW desde hace 27 años y valoro su capacidad de realizar análisis claros y limpios de cuestiones complejas. Por su formación y experiencia puede ofrecer una opinión informada tanto sobre el futuro del panorama energético como de la industria aeronáutica y del transporte aéreo.

Entrevisté a BW en la primera ronda de entrevistas en su casa, el día 3 de mayo de 2017 a las 19.30 tomando una copa de vino, siguiendo un esquema de entrevista no estructurada. La segunda entrevista tiene lugar el 25 de julio de 2021 a las 13 horas, en un contexto similar a la primera, tomando un vino en su casa. En esta ocasión opto por un esquema de entrevista semiestructurada. Tras servirme BW una copa, le expongo el contexto de mi investigación y el propósito de contrastar sus perspectivas actuales con las que me ofreció en 2017; y comenzamos con la entrevista.

Las medidas que actualmente se plantean en la industria para mejora de la eficiencia energética ¿son suficientes para compensar los crecimientos de consumo derivados de los crecimientos de tráfico esperados?

Ante esta pregunta BW responde con una reflexión: ¿están esas medidas realmente desacopladas del crecimiento del tráfico aéreo? En realidad, la demanda y el tráfico crecerán siempre que lo permita la tecnología. Desarrollo tecnológico y crecimiento del tráfico son “cosas” acopladas.

¿Qué medidas de mejora de eficiencia energética en la aviación tienen más potencial y qué medidas tienen menos porvenir?

Según BW es muy difícil batir la densidad energética que ofrecen los motores de combustión actuales en su capacidad de producir trabajo mecánico por unidad de tiempo (potencia). Es una cuestión de Julios/kilogramo o Julios/metro-cúbico, un concepto que no se entiende en los marcos en los que se desarrollan las políticas, y en los que priman los eslóganes puramente propagandísticos. Un kilogramo de combustible fósil, tipo gasolina, contiene del orden de 40 mega-Julios, y es muy difícil conseguir densidades energéticas parecidas.

El desarrollo de alternativas como el hidrógeno llevará tiempo y un esfuerzo en I+D largo y sostenido. No se puede pretender cambiar las leyes de la naturaleza a golpe de BOE. No tiene sentido imponer requisitos legislativos que no se pueden cumplir. Señala BW el ejemplo de Volkswagen y el fiasco de las emisiones: los legisladores impusieron unos requisitos imposibles y la industria mintió para mostrar cumplimiento con esos requisitos.

Menciona BW otro ejemplo histórico: durante la Segunda Guerra Mundial la mitad del transporte realizado por los alemanes fue a lomos de caballos, coexistiendo este medio con el transporte por medios mecánicos. BW ilustra así la idea de que la realización de cambios tecnológicos y su extensión requiere necesariamente tiempo, dinero y esfuerzo; y que es normal que durante las transiciones tecnológicas convivan por mucho tiempo sistemas avanzados con otros no tanto.

¿Cree posible un cambio en el paradigma energético de la propulsión en aviación?

BW dice que sería posible en muchas décadas.

En ese sentido piensa BW que una transición hacia la aviación eléctrica puede requerir del orden de una a dos generaciones (25 a 50 años).

¿Qué opinión le merecen los biocombustibles?, ¿qué potencial pueden tener para la aviación?

Los biocombustibles generan CO₂ de igual manera que los combustibles fósiles, y tienen menor poder calorífico, por lo que habrá que consumir mayores cantidades (comparado con el queroseno) para el mismo servicio.

¿Qué opinión le merecen los combustibles sintéticos?, ¿qué potencial pueden tener para la aviación?

Establece BW una analogía entre los combustibles sintéticos y el móvil perpetuo de primera especie, e indica que creer en soluciones tan buenistas es un signo de infantilismo. BW está convencido de que en el largo plazo no se podrá mantener el nivel de vida actual con los medios actuales, y que la adaptación a modelos de vida diferentes vendrá por la vía de los hechos.

Respecto a la producción de energía piensa que la energía nuclear es la mejor tecnología para incrementar la disponibilidad de energía requerida por el incremento de la población global y la mejora de las condiciones de vida globales. Señala que una familia media contrata del orden de 5Kw de potencia en su hogar. Reitera BW la bondad de los motores térmicos en cuanto a la compacidad de los mismos, comparando cómo para generar 2 Mw hace falta un aerogenerador de 100 metros de diámetro y 100 metros de alto mientras que se puede conseguir la misma potencia agrupando 20 motores de coche de 100Kw en un habitáculo de 2x2x2 metros (como el de un cuarto de baño pequeño).

¿Considera que la aviación tiene más complicada la aplicación de energías alternativas que otros sectores?

Responde BW que sin ninguna duda la aviación es el sector en el que más difícil es aplicar otras energías. Durante el vuelo se deben convertir muchos Julios del combustible en energía del fluido de trabajo en muy poco tiempo, mientras que en tierra la producción energética se puede realizar en tiempos más largos.

¿Considera que la digitalización será un factor relevante para la sostenibilidad de la aviación?

Expone BW que la digitalización ayudará a conseguir mejoras en los sistemas, pero que nunca va a llevar a un cambio de paradigma. Las leyes de la física imperan, y las ecuaciones son las que son. El vuelo es una cuestión aerodinámica y propulsiva, no informática.

¿Cuál de los siguientes escenarios considera más probable en el medio plazo? Por favor explique por qué:

1. Optimista 1: la aviación es capaz de desarrollar tecnologías que permiten compatibilizar el crecimiento del tráfico con las limitaciones de disponibilidad de combustibles fósiles

2. Optimista 2: la aviación se beneficia de los avances de las energías alternativas en otros sectores, de manera que los hidrocarburos quedan liberados para el uso de la aviación retrasando una posible crisis de escasez y dando tiempo a evolucionar más lejos en otras tecnologías.

3. Intermedio: la menor disponibilidad de petróleo impacta en los costes de los carburantes y por tanto en las tarifas de los vuelos, provocando una significativa contracción de la demanda que se compensa en parte por un mayor uso de otros modos y por un cambio de hábitos de los viajeros (en particular de los turistas como más sensibles al precio).

4. Pesimista 1: crisis profunda del sector aéreo, mucho más acentuada que en otros transportes y sectores.

5. Pesimista 2: crisis global generalizada.

BW simpatiza con el escenario Optimista 2, se seguirá quemando queroseno transitoriamente hasta que otras soluciones estén plenamente operativas, si bien matiza que es posible que se produzca una subida de los precios del transporte aéreo y un ajuste asociado de la demanda.

Caso de considerar posible un escenario de crisis en el transporte aéreo, ¿considera más probable que la crisis sea de origen energético o medioambiental?

BW es de la opinión de que es más probable un escenario de crisis energética, fundamentalmente porque los tiempos característicos de los cambios sociales (de

adaptación y comportamiento) son largos (del orden de las generaciones), por lo que no es esperable un cambio de comportamiento sustancial de la humanidad salvo por la aparición de situaciones de crisis, en las cuales las preocupaciones superfluas pasan a un segundo plano.

¿Cuál es su opinión respecto a los sistemas de Derecho y compensación de emisiones?

BW dice no entenderlos demasiado bien, pero que en cualquier caso tiene una visión de ellos sesgada por las consecuencias negativas que tienen en la factura de la electricidad.

¿Cómo cree que se desarrollará el transporte aéreo a partir de ahora tras el impacto del COVID-19?

Piensa BW que exactamente igual que antes de la pandemia.

¿Cree que la nueva corriente social de la “vergüenza de volar” puede tener un impacto significativo en volúmenes (demanda) y modelos de negocio?

Niega BW esta posibilidad.

BN (ent -2021): no estructurada, individual, presencial por vía telemática.

BN es ingeniero aeronáutico. Durante muchos años ha desarrollado su labor profesional en multinacionales de ingeniería donde ha desempeñado cargos de alta dirección responsabilizándose a nivel mundial de actividades de aeronáutica, defensa, sector naval, transporte y sector químico.

BN aporta a la investigación una perspectiva experta multidisciplinar adquirida a lo largo de muchos años de dedicación a la consultoría en materia de ingeniería.

BN y yo fuimos compañeros durante la universidad y nos une una amistad profunda desde hace muchos años.

La entrevista se realiza por "Teams" el 27 de julio de 2021. La intención era desarrollar la entrevista según un patrón semiestructurado, para lo cual BN me requirió el cuestionario por adelantado. Habiendo reflexionado previamente sobre las diversas cuestiones, la entrevista se desarrolló de forma no estructurada.

La anterior entrevista se había realizado en noviembre de 2018 durante una comida.

Comienza BN realizando una serie de reflexiones sobre la situación actual y la crisis del COVID-19. Para ello se centra en lo acontecido con el fabricante de aeronaves Airbus, al cual la caída de las ventas (por cancelaciones o aplazamientos) le ha generado un problema de caja. Entendiendo que la crisis es coyuntural, Airbus ha buscado financiación por medios tradicionales (líneas de crédito) y a través de los gobiernos: mediante figuras como los ERTES, furloughs y chômage partiel; y financiación de planes de I+D para el desarrollo de "aviones verdes". Ese soporte gubernamental (sobre todo del gobierno francés) al I+D no deja de ser, según la opinión de BN, un elemento más de financiación.

Este soporte se enmarca dentro y es el resultado de una corriente social muy potente, en especial entre los jóvenes, en pro de la defensa del medio ambiente y en contra de la aviación. De ahí que las ayudas gubernamentales se hallen muy

condicionadas a que se utilicen para el desarrollo de tecnologías que soporten la reducción de las emisiones. Sin embargo, la realidad es que el impacto de la aviación en las emisiones globales es ridículo.

Comenta BN que, por sus discusiones con directivos de Airbus, existe en el fabricante de aviones el convencimiento de que las nuevas propuestas de aviones de hidrógeno resultan factibles hasta la aviación regional; pero que, sin embargo, existe una importante preocupación sobre si las infraestructuras se podrán desarrollar a un ritmo compatible con el desarrollo de las aeronaves y sobre si la logística resultante permitirá una operación rentable.

BN es de la opinión de que el hidrógeno puede ser de aplicación en otros transportes como el pesado por carretera, o como tecnología de sustitución de los trenes diesel; pero no tanto para la aviación. Entiende que la utilización de hidrógeno tendría un muy importante impacto en los precios del billete de transporte aéreo y considera que no resulta viable para aviones del tamaño del A321 o superior. Considera BN que, en realidad, la utilización de hidrógeno está aún en una fase muy embrionaria, y que no se verán aplicaciones reales antes del 2040-2050.

Soluciones puramente eléctricas para aviones pequeños de corto recorrido las estima viables, y menciona el ejemplo de Lillium, que propone un concepto de avión eléctrico de 7 pasajeros y 300 km de alcance, y el de Joby. Valora BN el que Lillium proponga una solución “end to end”, cubriendo toda la logística de la operación, y piensa que es una solución adecuada para conexiones punto a punto en rutas de alta densidad. Además, este tipo de solución puramente eléctrica se puede proyectar más fácilmente hacia operaciones con piloto remoto o puramente automáticas.

Respecto a otras iniciativas como la propuesta de Amazon de utilizar drones para el reparto de paquetería, BN muestra cierto escepticismo, pues piensa que no se están considerando todas las limitaciones y restricciones aplicables, como pudieran ser las derivadas de la normativa de ruido.

En un contexto donde la industria aeronáutica es objeto de ataques mediáticos, las compañías del sector, según BN, se ven obligadas a lanzar iniciativas de “carácter

verde”. Un ejemplo son los combustibles sintéticos de fuente energética sostenible, pero, indica BN, las energías renovables no son gratis, a día de hoy no parece una opción viable, pero podría ser la única alternativa si se acabaran los combustibles fósiles y si las baterías no llegaran a desarrollarse suficientemente.

Opina BN que, a día de hoy, ninguna de las opciones tecnológicas planteadas resulta viable como alternativa a la actual basada en combustibles fósiles, pero que es esencial seguir invirtiendo esfuerzo en explorar todas las opciones. Juzga BN necesario que esa investigación la lideren las empresas, pues es fundamentalmente de carácter tecnológico y no científico, siendo adecuado que sea financiada por los gobiernos. En ese proceso de investigación de múltiples tecnologías es muy posible que se produzcan descartes.

Expresa BN una preocupación sincera con el hecho de que la influencia en ámbitos políticos de ciertas corrientes sociales se acabe traduciendo en una reducción dramática del tráfico aéreo y de su invaluable función social. Para BN la aviación es una herramienta fundamental que propicia el acercamiento de los pueblos y las gentes, el desarrollo de lazos de cariño, el conocimiento mutuo ... Para BN, castrar esta función mediante normas coercitivas mal justificadas y amparadas en una defensa medioambiental podría derivar en graves problemas sociopolíticos: conflictos internacionales, guerras ...

BN dice que la gente debe ser consciente de que la aviación tiene un impacto pequeño en las emisiones globales, y que la deriva actual puede llevarnos a perder la capacidad de viajar. Como estrategia de descarbonización global BN propone el desarrollo de la energía nuclear, pues las centrales nucleares son seguras, fáciles de controlar, la probabilidad de accidente nuclear es muy remota y su impacto, si bien grave, es muy localizado. No cree BN sin embargo que la energía nuclear sea aplicable a las aeronaves.

BN considera absurda la presión a la que se somete a la aviación por razón de sus, en realidad, muy limitadas emisiones; y se cuestiona si esta presión puede tener su origen en intereses de las multinacionales de las tecnologías de la información, a las que les interesa que todas las relaciones humanas se desarrollen a través de medios digitales.

BN se define como un liberal para quien la capacidad de viajar e incluso la utilización del vehículo privado son elementos fundamentales de las libertades ciudadanas.

Se cuestiona BN si realmente existe una relación de causalidad entre el aumento de las emisiones de CO₂ y el aumento de la temperatura terrestre, pues la correlación entre ambos no es garantía de esa relación causal. Concorre sin embargo con que se utilicen las emisiones y concentraciones de CO₂ como un KPI (Key Performance Indicator) que refleja la efectividad de políticas y medidas para reducir otros contaminantes realmente dañinos, así como para valorar la reducción de consumo de recursos escasos como lo son los combustibles fósiles (no renovables y siempre objeto de dificultades derivadas de las políticas de los países que controlan su producción).

Respecto al efecto del COVID-19 en el sector de la aviación, piensa BN que la recuperación del corto y medio radio será rápida; más lenta la del largo radio. En el segmento de negocios BN anticipa que no se recuperará plenamente debido a la asunción de nuevas costumbres de interacción telemática en las relaciones profesionales.

Preguntado por su opinión sobre el posible impacto en el tráfico de movimientos sociales como la “vergüenza de volar”, BN responde que está convencido de que la gente sabrá valorar los beneficios de volar y viajar y que dicho impacto será muy reducido. Además, confía en que las compañías aeronáuticas sabrán proyectar una imagen de industrias sostenibles basándose en la valor socio-económico que aportan.

BN valora que la digitalización sí tendrá un efecto importante en la sostenibilidad de la aviación, pues permitirá producir de forma más eficiente reduciendo la huella medioambiental de la fabricación y optimizando la gestión de la cadena de suministro. De igual manera, la digitalización facilitará los cambios de configuración de las aeronaves permitiendo una mejor adaptación a las operaciones a realizar.

Se alinea con el escenario optimista 2 descrito en el cuestionario, confiando en que la transición hacia energías renovables en otros sectores libere los combustibles fósiles para su utilización en la aviación.

KS (ent-2021): semi-estructurada, individual, presencial por vía telemática.

KS es ingeniero aeronáutico y máster en energía solar. Acumula una experiencia de más de 22 años en el sector aeronáutico, habiendo desarrollado sus funciones en áreas de diseño, ingeniería de sistemas y mantenimiento. En los últimos 12 años ha desarrollado en paralelo una actividad de consultoría de energía solar.

En los últimos años su actividad aeronáutica ha estado centrada en proyectos de I+D en propulsión híbrida, analizando cuestiones de almacenamiento de energía y electrónica de potencia.

La experiencia de KS resulta particularmente relevante para el objeto de la investigación al tener una visión directa y profunda de las posibilidades y dificultades que las nuevas propuestas tecnológicas tienen para su aplicación en aviación. A esto se une el carácter curioso y la inquietud intelectual de KS, a quien conozco desde hace más de 20 años y con quién he tenido la oportunidad de trabajar directamente.

Las medidas que actualmente se plantean en la industria para mejora de la eficiencia energética ¿son suficientes para compensar los crecimientos de consumo derivados de los crecimientos de tráfico esperados?

Apunta KS que el crecimiento del tráfico actual no es igual que el pre-pandémico y que duda de que se pueda volver a las tasas de producción de más de 60 aviones mensuales que se tenían en 2019 en Airbus. Piensa que van a cambiar los modelos de turismo y, en consecuencia, los modelos de negocio de la aviación. No ve sostenible el modelo de vuelos de fin de semana a 30 euros, y cree que la racionalización del sistema llevará a un modelo más parecido al de hace 30 años, cuando volar era más caro, un acontecimiento con valor y no un gesto rutinario. Los precios subirán, la demanda se verá afectada y el crecimiento del tráfico se contendrá.

En su opinión, ni las tecnologías del hidrógeno ni las baterías serán capaces de sustituir con éxito a los sistemas actuales de propulsión aeronáutica basados en combustibles fósiles. La utilización de combustibles sintéticos podría cubrir ese escenario de mayores precios y crecimiento contenido.

Realiza una reflexión sobre cómo la presión social sobre la aviación está llevando a los políticos a la asunción de compromisos extremos en persecución de objetivos de cero emisiones que desencadenan unas políticas de gasto e inversión no suficientemente maduras y reflexionadas; y en las que no se han analizado aspectos de coste de ciclo de vida completa (LCC – Life Cycle Cost) de las soluciones propuestas. Ilustra esta idea con el ejemplo de su viejo Renault Laguna, por el que recibe continuos comentarios sobre su excesivo consumo y emisiones, sin que nadie se moleste en comparar que la alternativa de comprar un coche nuevo supone la realización de un umbral de consumos de energía, materiales y otros recursos utilizados para su fabricación.

Reconoce que en los últimos cinco años se aprecia una mayor concienciación social respecto a cuestiones medioambientales, y un afán de desarrollar actividades al respecto, pero critica que la mayor parte de estas actividades obedecen más a un afán de adherirse a la “moda social” (habla de proliferación de “hippies sociales”) que a decisiones tomadas tras un análisis científico y reflexivo.

¿Qué medidas de mejora de eficiencia energética en la aviación tienen más potencial y qué medidas tienen menos porvenir?

Valora KS que los combustibles sintéticos (y no los biocombustibles) son los que ofrecen una oportunidad más tecnológicamente razonable. Los motores de aviación necesitan seguir quemando combustible, y el hidrógeno presenta problemas fundamentales de almacenamiento, pues en aviación precisa estar en estado líquido criogenizado para tener un volumen que lo haga viable. Además, las células de combustible presentan el problema de que generan calor que requiere ser evacuado con sistemas adicionales (en contraste con la turbina de gas, que evacúa todo el calor generado a través del chorro propulsivo).

Respecto a la evolución de las baterías, estima KS que no van a cambiar tanto como para hacerlas viables para aviones de carga de pago y alcance significantes en el volumen de tráfico mundial. El problema de las baterías radica en que resulta extraordinariamente complicado mejorar simultáneamente sus tres parámetros clave:

la densidad energética, la densidad de potencia (dictada por la resistencia interna) y el número de ciclos de operación sin pérdida significativa de actuaciones.

En definitiva, percibe KS que no hay una tecnología de planta propulsora que permita una conversión directa de la misma con la arquitectura de avión actual, lo cual supone una dificultad adicional, pues la implementación de nuevas arquitecturas y tecnologías requerirá procesos de certificación más dilatados y con requisitos todavía por definir.

¿Cree posible un cambio en el paradigma energético de la propulsión en aviación?

Reconoce KS que, al menos, se está trabajando intensamente en ello. Indica que Airbus “está poniendo toda la carne en el asador”, y han proliferado numerosas start-ups que persiguen conceptos de aviones y tecnologías de bajas emisiones.

¿Qué opinión le merecen los biocombustibles?, ¿qué potencial pueden tener para la aviación?

No tiene KS fe alguna en los biocombustibles, no les ve ningún sentido.

¿Qué opinión le merecen los combustibles sintéticos?, ¿qué potencial pueden tener para la aviación?

Los combustibles sintéticos le parecen a KS una idea que sí puede tener recorrido, pues ofrecen una solución con mínimos requisitos adicionales en los sistemas aeronáuticos y un camino relativamente sencillo hacia la certificación. Sin embargo, reconoce no tener suficiente conocimiento como para ofrecer un criterio educado respecto a su viabilidad económica y de capacidad productiva; aunque anticipa la existencia de un problema fundamental de rendimientos comparando su utilización con la de vehículos eléctricos de baterías. La utilización de energías renovables para la carga de baterías de vehículos eléctricos es un proceso muy directo, y además los motores eléctricos presentan rendimientos muy altos; mientras que la utilización de esa misma energía renovable para la producción de combustible

sintético sufre las ineficiencias de múltiples procesos (electrólisis para producir H₂, secuestro de CO₂, síntesis del combustible) además de que los rendimientos del motor térmico que utilizará el combustible son mucho menores que los de los motores eléctricos.

La otra dificultad que apunta KS respecto a los combustibles sintéticos es que, para que además sea sostenible, la energía utilizada en su generación tiene que serlo también y vislumbra la posible aparición de conductas “picarescas”.

Le sorprenden a KS los arriesgados compromisos que están adquiriendo ciertos fabricantes de vehículos automóviles de no fabricar más vehículos de combustión a partir de 2030, pues entiende que el cumplimiento de esos compromisos no depende exclusivamente de los fabricantes, sino también de la concurrencia del desarrollo de las infraestructuras de soporte. En un plazo de 15 a 20 años estima KS que aún no se habrá desarrollado del todo la economía del hidrógeno, y por ello valora que los combustibles sintéticos pueden ser un puente intermedio hasta haber conseguido ese desarrollo.

¿Considera que la aviación tiene más complicada la aplicación de energías alternativas que otros sectores?

KS concurre sin dudar, pues los aviones no han sido concebidos para utilizar sistemas eléctricos; y los más estrictos requisitos de peso, fiabilidad y seguridad en aeronáutica (comparando con otras aplicaciones) lo hacen más difícil todavía.

¿Considera que la digitalización será un factor relevante para la sostenibilidad de la aviación?

KS reconoce que la digitalización ayudará a mejorar las operaciones de las aeronaves, pero no será la cuestión más relevante en el desarrollo de nuevos paradigmas energéticos de la aviación.

¿Cuál de los siguientes escenarios considera más probable en el medio plazo? Por favor explique por qué:

1. Optimista 1: la aviación es capaz de desarrollar tecnologías que permiten compatibilizar el crecimiento del tráfico con las limitaciones de disponibilidad de combustibles fósiles

2. Optimista 2: la aviación se beneficia de los avances de las energías alternativas en otros sectores, de manera que los hidrocarburos quedan liberados para el uso de la aviación retrasando una posible crisis de escasez y dando tiempo a evolucionar más lejos en otras tecnologías.

3. Intermedio: la menor disponibilidad de petróleo impacta en los costes de los carburantes y por tanto en las tarifas de los vuelos, provocando una significativa contracción de la demanda que se compensa en parte por un mayor uso de otros modos y por un cambio de hábitos de los viajeros (en particular de los turistas como más sensibles al precio).

4. Pesimista 1: crisis profunda del sector aéreo, mucho más acentuada que en otros transportes y sectores.

5. Pesimista 2: crisis global generalizada.

KS se alinea con el escenario “optimista 2” matizando que este sufrirá una evolución hacia el escenario “intermedio” con cierta contención de la demanda, no tanto por posibles subidas en los precios del petróleo, sino por la aparición de tasas varias penalizando las emisiones o el consumo de combustibles fósiles. También piensa que en el nuevo escenario aparecerán nuevos mercados para la utilización de aeronaves eléctricas en aplicaciones de muy pocos pasajeros y corto alcance. Así mismo, ve factible la utilización de drones remplazando a los helicópteros en funciones de vigilancia o incluso desarrollando nuevas funciones.

Caso de considerar posible un escenario de crisis en el transporte aéreo, ¿considera más probable que la crisis sea de origen energético o medioambiental?

KS valora como más probable que la aviación se vea afectada por una crisis medioambiental políticamente inducida, donde la aviación se vea acusada y excesivamente responsabilizada de su efecto en el cambio climático.

¿Cuál es su opinión respecto a los sistemas de derechos y compensación de emisiones?

Valora KS que estos sistemas pueden ayudar a controlar las emisiones de la aviación en el corto plazo, pues este tipo de mecanismos, dado su impacto en los precios, puede llevar a los usuarios a una mayor reflexión sobre sus decisiones de consumo. Sin embargo, considera que son muy complicados de implementar.

¿Cómo cree que se desarrollará el transporte aéreo a partir de ahora tras el impacto del COVID-19?

Según KS, la tecnología no ha cambiado significativamente en estos meses, y sigue evolucionando a su lento ritmo; aunque sí que ha aumentado mucho el volumen de nuevas iniciativas. Han parecido multitud de start-ups explorando soluciones de sostenibilidad en la aviación, aunque la mayoría de ellas, predice KS, desaparecerá. A los grandes fabricantes les es difícil competir con estas start-ups en determinados segmentos y nuevos productos, pues no tienen la agilidad necesaria para gestionar la velocidad de cambio requerida.

En cuanto a la cuestión concreta sobre las expectativas de recuperación del tráfico, no se atreve KS a realizar una predicción dado que son múltiples los factores externos, impredecibles e incontrolables que determinarán el devenir del tráfico.

¿Cree que la nueva corriente social de la “vergüenza de volar” puede tener un impacto significativo en volúmenes (demanda) y modelos de negocio?

En opinión de KS, en la situación actual, la ciudadanía tiene ganas de recuperar el “tiempo perdido”, y eso debe ser un vector para reactivar la demanda. La contención de la misma vendrá más por el posible aumento de precios derivados de tasas e imposiciones consecuencia de la adopción de políticas de protección ambiental que del propio rigor de conciencia medioambiental de los ciudadanos.

BIBLIOGRAFÍA

La siguiente bibliografía recoge los documentos referenciados en la tesis sin perjuicio de que se hallen también referenciados en los artículos académicos que componen el capítulo de resultados.

- AAPA. (2021). *AAPA AIRLINES COMMIT TO NET ZERO CARBON EMISSIONS REDUCTION BY 2050*. Association of Asia Pacific Airlines. https://www.aapairlines.org/wp-content/uploads/2021/09/AAPA_PR_Issue12_CommitmentToNetZeroCarbonEmissionsReduction_Recovery_13Sep21.pdf
- Abate, M., Christidis, P., & Purwanto, A. J. (2020). Government support to airlines in the aftermath of the COVID-19 pandemic. *Journal of Air Transport Management*, 89(September), 101931. <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2020.101931>
- Airbus. (2019). *Global Market Forecast. Cities, Airports & Aircraft. 2019-2038*. <https://www.airbus.com/content/dam/corporate-topics/strategy/global-market-forecast/GMF-2019-2038-Airbus-Commercial-Aircraft-book.pdf>
- Amankwah-Amoah, J. (2020a). Note: Mayday, Mayday, Mayday! Responding to environmental shocks: Insights on global airlines' responses to COVID-19. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 143(September), 102098. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2020.102098>
- Amankwah-Amoah, J. (2020b). Stepping up and stepping out of COVID-19: New challenges for environmental sustainability policies in the global airline industry. *Journal of Cleaner Production*, 271, 123000. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123000>
- ATAG Air Transport Action Group. (2020). *Waypoint 2050. Balancing growth in connectivity with a comprehensive global air transport response to the climate emergency. September*. <https://aviationbenefits.org/environmental-efficiency/climate-action/waypoint-2050/>
- Benito, A., & Benito, E. (2012). *Descubrir el Transporte Aéreo y el Medio Ambiente* (AENA (ed.)). AENA.
- Best, R. de. (2020). *Bail or bust for Europe's airlines. June 26, 2020*. Statista Infographics. <https://www.statista.com/chart/22121/airline-bailouts-in-europe/>
- Boeing Commercial Aviation. (2019). *Boeing Commercial Market Outlook 2019-2038*.
- Boeing Commercial Aviation. (2020). *Boeing Commercial Market Outlook 2020 – 2039*.

https://www.boeing.com/resources/boeingdotcom/market/assets/downloads/2020_CMO_PDF_Download.pdf

- Bonilla, S. H., Silva, H. R. O., Terra, M., Gonçalves, R. F., & Sacomano, J. B. (2018). Industry 4.0 and Sustainability Implications: A Scenario-Based Analysis of the Impacts and Challenges. *Sustainability*. <https://doi.org/10.3390/su10103740>
- Burgess, R. (1981). Keeping a research diary. *Cambridge Journal of Education*, 11(1), 75–83.
- Christensen, L. (2016). Environmental Impact of Long Distance Travel. *Transportation Research Procedia*, 14, 850–859. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.05.033>
- Corchero, G., & Montañés, J. L. (2003). *An approach to the use of hydrogen for commercial aircraft engines*.
- Dalla, B., Franco, D. De, Coviello, N., & Pastrone, D. (2017). Comparative specific energy consumption between air transport and high-speed rail transport: A practical assessment. *Transportation Research Part D*, 52, 227–243. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2017.02.006>
- Efthymiou, M., & Papatheodorou, A. (2019). EU Emissions Trading scheme in aviation: Policy analysis and suggestions. *Journal of Cleaner Production*, 237, 117734. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.117734>
- EUROPEAN COMMISSION. (2011). *Flightpath 2050 Europe's Vision for Aviation*. <https://doi.org/10.2777/50266>
- EUROPEAN COMMISSION. (2019). *The European Green Deal*. <https://doi.org/10.2307/j.ctvd1c6zh.7>
- EUROPEAN COMMISSION. (2020a). *A hydrogen strategy for a climate-neutral Europe*. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- EUROPEAN COMMISSION. (2020b). Sustainable and Smart Mobility Strategy – putting European transport on track for the future - Communication. In *European Commission Communication*. <https://ec.europa.eu/info/law/better-regulation/have-your-say/initiatives/12438-Sustainable-and-Smart-Mobility-Strategy>
- EUROPEAN COMMISSION. (2021a). *European Green Deal: Commission proposes transformation of EU economy and society to meet climate ambitions - Fit for 55*. Press Release. https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_21_3541
- EUROPEAN COMMISSION. (2021b). *Proposal for a directive amending the EU*

- Emissions Trading System* (Vol. 3, Issue 2).
https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/revision-eu-ets_with-annex_en_0.pdf
- EUROPEAN COMMISSION. (2021c). *ReFuelEU Aviation – sustainable aviation fuels. 0205*.
https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/refueleu_aviation_-_sustainable_aviation_fuels.pdf
- EUROSTAT. (2021). *Air Transport Employment Statistics 2019*.
<http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/submitViewTableAction.do>
- Gascón Gutiérrez, J. (2013). ¿Reducir creciendo? La estrategia del sector aéreo para mitigar su papel en el cambio climático visto desde la soberanía alimentaria. *Actas Del Congreso Internacional América Latina: La Autonomía de Una Región*, 898–910. <http://hal.archives-ouvertes.fr/halshs-00875594/>
- Gössling, S. (2019). Celebrities , air travel , and social norms. *Annals of Tourism Research*, 79(October), 102775. <https://doi.org/10.1016/j.annals.2019.102775>
- Gössling, S. (2020). Risks, resilience, and pathways to sustainable aviation: A COVID-19 perspective. *Journal of Air Transport Management*, 89(September). <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2020.101933>
- Gössling, S., & Cohen, S. (2014). Why sustainable transport policies will fail: EU climate policy in the light of transport taboos. *Journal of Transport Geography*, 39, 197–207. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2014.07.010>
- Gössling, S., Hall, C. M., Peeters, P., & Scott, D. (2010). The Future of Tourism: Can Tourism Growth and Climate Policy be Reconciled? A Climate Change Mitigation Perspective. *Tourism Recreation Research*, 35(1), 119–130. <https://doi.org/10.1080/02508281.2010.11081628>
- Gössling, S., Humpe, A., & Bausch, T. (2020). Does ‘flight shame’ affect social norms? Changing perspectives on the desirability of air travel in Germany. *Journal of Cleaner Production*, 266. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122015>
- Gössling, S., Lyle, C., & Gössling, S. (2021). Transition policies for climatically sustainable aviation Transition policies for climatically sustainable aviation. *Transport Reviews*, 0(0), 1–16. <https://doi.org/10.1080/01441647.2021.1938284>
- Gössling, S., Peeters, P., Broderick, J., & Upham, P. (2007). Voluntary carbon offsetting schemes for aviation : Efficiency , credibility and sustainable tourism Sustainable Tourism. *Journal of Sustainable Tourism*, 15(3). <https://doi.org/10.2167/jost758.0>
- Gössling, S., & Scott, D. (2018). The decarbonisation impasse: Global tourism

- leaders' views on climate change mitigation. *Journal of Sustainable Tourism*, 26(21), 1–9. https://www.researchgate.net/publication/329883149_The_decarbonisation_impasse_global_tourism_leaders'_views_on_climate_change_mitigation
- Guyon, I., Amine, R., Tamayo, S., & Fontane, F. (2019). Analysis of the opportunities of industry 4.0 in the aeronautical sector. *IMCIC 2019 - 10th International Multi-Conference on Complexity, Informatics and Cybernetics, Proceedings, 2*, 62–67.
- Hall, M. (2010). Changing Paradigms and the Global Change. From Sustainable to Steady-State Tourism. *Tourism Recreation Research*, 35(2), 131–143. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Haselbach, F. (2019). Key Technologies for the next Generation of Civil Aircraft Engines. *ISABE-2019-24044*.
- Hernández, J. (2008). TURISMO DE MASAS Y TRANSPORTE: EL GRAN RETO DEL TURISMO DEL SIGLO XXI. *Scripta Nova REVISTA ELECTRÓNICA DE GEOGRAFÍA Y CIENCIAS SOCIALES*, XII(258). <http://www.ub.edu/geocrit/sn/sn-258.htm>
- Higham, J.E.S., Hanna, P., Cohen, S., Gossling, S., Hopkins, D., & Cocolas, N. (2021). Reconfiguring aviation for a climate-safe future: are airlines sending the wrong message? *Journal of Travel Research*, September. <https://doi.org/10.1177/00472875211033648>
- Higham, James E.S., Cohen, S. A., & Cavaliere, C. T. (2014). Climate Change, Discretionary Air Travel, and the “Flyers” Dilemma.” *Journal of Travel Research*, 53(4), 462–475. <https://doi.org/10.1177/0047287513500393>
- IATA. (2019). *Aviation and climate change - Fact Sheet 2. November 2020*, 1–2. <https://www.iata.org/en/iata-repository/pressroom/fact-sheets/fact-sheet--climate-change/>
- IATA. (2021). *Aviation & Climate Change Fact Sheet 2021* (Issue July). <https://www.iata.org/en/iata-repository/pressroom/fact-sheets/fact-sheet--climate-change/>
- ICAO. (2016a). *Resolutions Adopted at the 39th Session of the Assembly. October*, 1–138. http://www.icao.int/Meetings/a39/Documents/Resolutions/a39_res_prov_en.pdf
- ICAO. (2016b). *The Air Transport Gender Equality Initiative*.
- ICAO. (2020). *ICAO and the United Nations Sustainable Development Goals*. ICAO

- AVIATION DEVELOPMENT. <https://www.icao.int/about-icao/aviation-development/Pages/SDG.aspx>
- IEA. (2016). World Energy Outlook 2016. *International Energy Agency: Paris, France*, 28.
https://doi.org/http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/WEB_WorldEnergyOutlook2015ExecutiveSummaryEnglishFinal.pdf
- IEA. (2019). *World Energy Outlook 2019*. [https://doi.org/ISBN 978-92-64-97300-8](https://doi.org/ISBN%20978-92-64-97300-8)
- International Energy Agency. (2009). Transport Energy and CO2: Moving towards Sustainability. In *Energy*. <https://doi.org/10.1787/9789264073173-en>
- International Civil Aviation Organization (ICAO). (2010). *Asamblea - 37º Periodo De Sesiones*.
https://www.icao.int/Meetings/AMC/Assembly37/Documents/ProvisionalEdition/a37_res_prov_es.pdf
- International Civil Aviation Organization (ICAO). (2016). *Asamblea - 39º Periodo de Sesiones*. https://www.icao.int/Meetings/a39/Documents/10082_es.pdf
- International Civil Aviation Organization (ICAO). (2020). *Effects of Novel Coronavirus (COVID-19) on Civil Aviation: Economic Impact Analysis Air Transport Bureau Contents. June*. https://www.icao.int/sustainability/Documents/COVID-19/ICAO_Coronavirus_Econ_Impact.pdf
- International Civil Aviation Organization (ICAO). (2013). *Asamblea – 38º Período De Sesiones*. 128. https://www.icao.int/Meetings/a38/Documents/10024_es.pdf
- International Civil Aviation Organization (ICAO). (2006). *Convention on International Civil Aviation*. 1–116. http://www.icao.int/publications/Documents/7300_9ed.pdf
- Japan Aircraft Development Corporation. (2019). *Worldwide Market Forecast 2019-2038* (Issue March).
- Japan Aircraft Development Corporation. (2020a). *Positioning of JADC 's demand forecast over COVID-19* (Issue July).
- Japan Aircraft Development Corporation. (2020b). *Worldwide Market Forecast*. In *Japan Aircraft Development Corporation*. <http://www.jadc.or.jp/wmf13.pdf>
- Jiménez-Crisóstomo, A. (2017). *Análisis de la Sostenibilidad Energética del Transporte Aéreo y su Impacto en el Turismo*. Universitat Oberta de Catalunya.
- Jiménez-Crisóstomo, A. (2020). Análisis de la sostenibilidad energética del transporte aéreo y su impacto en el turismo. *Investigaciones Turísticas*, 20, 31. <https://doi.org/10.14198/inturi2020.20.02>

- Jiménez-Crisóstomo, A., Rubio-Andrada, L., & Celemín-Pedroche, M. S. (2019). La rigidez del paradigma energético del transporte aéreo. In Universidad Autónoma de Madrid (Ed.), *I INTERNATIONAL FORUM ON CIRCULAR ECONOMY, ECO-INNOVATIONS AND TOURISM* (pp. 259–290). ACCI ediciones (Asociación cultural y científica iberoamericana).
- Jiménez-Crisóstomo, A., Rubio-Andrada, L., Celemín-Pedroche, M. S., & Escat-Cortés, M. (2021). The constrained air transport energy paradigm in 2021. *Sustainability (Switzerland)*, *13*(5), 1–23. <https://doi.org/10.3390/su13052830>
- Maertens, S., Grimme, W., Scheelhaase, J., & Jung, M. (2019). Options to Continue the EU ETS for Aviation in a CORSIA-World. *Sustainability (Switzerland)*, *X*, 1–19.
- Maoui, G. (2016). *Innovation Takes Off. Clean Sky* (Le cherche midi éditeur (ed.)).
- McKinsey & Company. (2020). *Hydrogen-powered aviation* (Issue May). <https://doi.org/10.2843/766989>
- Melissa A. Leamon, Edwin J. Rincon, Nichole M. Robillard, J. J. S. (2019). Sustainable Skies: How the Airline Industry is Addressing Climate Change. In *Journal of Strategic Innovation and Sustainability* (Vol. 14, Issue 2). <https://doi.org/10.33423/jsis.v14i2.1373>
- Michaels, K. (2021). *Why Air Travel's Recovery May Be Years Away*. Aviation Week Network. 07 Sept 2021. https://aviationweek.com/air-transport/airlines-lessors/opinion-why-air-travels-recovery-may-be-years-away-0?utm_rid=CPEN1000017771206&utm_campaign=30174&utm_medium=email&elq2=43613525d4ac48a6b530343fc35a4b44
- Ley 7/2021, de 20 de mayo, de cambio climático y transición energética, Boletín Oficial del Estado 26798 (2021). <https://www.boe.es/boe/dias/2021/05/21/pdfs/BOE-A-2021-8447.pdf>
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (2020). Plan Nacional Integrado de Energía y Clima 2021-2030. In *Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, Gobierno de España*. <https://www.miteco.gob.es/es/prensa/pniec.aspx>
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (2020). *Hoja de Ruta del Hidrógeno*. https://www.miteco.gob.es/images/es/hojarutahidrogenorenovable_tcm30-525000.PDF

- Nathen, P., Bardenhagen, P., & Taylor, J. (2021). Architectural performance assessment of an electric vertical take-off and landing (e-VTOL) aircraft based on a ducted vectored thrust concept. *Lilium*, 1–35.
- NLR & SEO. (2021). *Destination 2050: A Route to Net Zero European aviation*. <https://a4e.eu/policies/sustainability/>
- OPEC. (2009). *World Oil Outlook 2009*. https://www.opec.org/opec_web/static_files_project/media/downloads/publications/WOO_2009.pdf
- OPEC. (2016). World Oil Outlook 2016. In *Organization of the Petroleum Exporting Countries*. <https://doi.org/10.1190/1.1439163>
- OPEC. (2019). *World Oil Outlook 2019*. https://www.opec.org/opec_web/static_files_project/media/downloads/publications/WOO_2019.pdf
- OPEC. (2020). *World Oil Outlook 2020*. <https://woo.opec.org/pdf-download>
- OSD Manufacturing Technology Program. (2018). Manufacturing Readiness Level (MRL) Deskbook Versi 2.4. In *Department of Defense*. http://www.dodmrl.com/MRL_Deskbook_2018.pdf
- Pallini, T. (2021). *Even more iconic planes are disappearing from the skies earlier than planned as the coronavirus continues to wreak airline havoc*. Businessinsider.Com. <https://www.businessinsider.com/coronavirus-havoc-forces-airlines-to-retire-iconic-planes-sooner-2020-3>
- Peeters, Paul, Higham, J., Kutzner, D., Cohen, S., & Gössling, S. (2016). Are technology myths stalling aviation climate policy? *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 44(May), 30–42. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2016.02.004>
- Peeters, Pm, Middel, J., & Hoolhorts, a. (2005). Fuel efficiency of commercial aircraft: An overview of historical and future trends. *National Aerospace Laboratory NLR: Amsterdam*, November, 1–37. <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Fuel+efficiency+of+commercial+aircraft:+An+overview+of+historical+and+future+trends#4>
- Perez, A. S., Mesanat, G. G., Colaboraciones, O., González, P., & Sanchis, M. G. (2008). *Apuntes de Metodología de la Investigación en Turismo* (Organización Mundial del Turismo (ed.)). https://lacoa.weebly.com/uploads/1/0/5/0/10504504/apuntes_de_metodologia_d

e_la_investigacion_en_turismo.pdf

- Ram, Y., Nawijn, J., & Peeters, P. M. (2013). Happiness and limits to sustainable tourism mobility: a new conceptual model. *Journal of Sustainable Tourism*, 21(7), 1017–1035. <https://doi.org/10.1080/09669582.2013.826233>
- Ritchie, B. W., Sie, L., Gössling, S., & Dwyer, L. (2020). Effects of climate change policies on aviation carbon offsetting: a three-year panel study. *Journal of Sustainable Tourism*, 28(2), 337–360. <https://doi.org/10.1080/09669582.2019.1624762>
- Sautu, Ruth; Boniolo, Paula; Dalle, Pablo; Elbert, R. (2005). La construcción del marco teórico en la investigación social. In CLACSO (Ed.), *Manual de metodología. Construcción del marco teórico, formulación de los objetivos y elección de la metodología*. (Colección).
- Schatzman, L. & Strauss, A. (1973). Chapter 6 “Strategy for Recording.” In *Field Research: Strategies for a Natural Sociology*. Englewood Cliffs: Prentice Hall.
- Scheelhaase, J., Maertens, S., Grimme, W., & Jung, M. (2018). EU ETS versus CORSIA – A critical assessment of two approaches to limit air transport’s CO₂ emissions by market-based measures. *Journal of Air Transport Management*, 67(July 2017), 55–62. <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2017.11.007>
- STATISTA. (2021). *Gender distribution of selected senior roles in the airline industry in 2020*. <https://www.statista.com/statistics/740571/airline-industry-senior-roles-by-gender/>
- Sürer, M.G., Arat, H. T. (2018). *State of art of hydrogen usage as a fuel on aviation. January*. <https://doi.org/10.26701/ems.364286>
- Taylor, S. ., & Bogdan, R. (1984). *Introducción a los métodos cualitativos de investigación* (Paidós (ed.)). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- UN General Assembly. (2015). Resolution 70/1 Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development. In *UN Resolutions A/RES/70/1*. <https://doi.org/10.1163/157180910X12665776638740>
- UNFCCC. (2015). Acuerdo de París. In *Cop21* (Vol. 21930). <http://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/spa/l09s.pdf>
- UNFCCC. (2021). *Race to Zero*. United Nation Framework Convention on Climate Change. <https://racetozero.unfccc.int/join-the-race/whos-in/>
- United States 95th Congress. (1978). *Public Law 95-504 (Aviation Deregulation Act)*. 102(4), 50.

- Universidad de Verano de Teruel. (2021). *Avances y desarrollo del sector aeronáutico y aeroespacial. VII Edición*. Fundación Universitaria Antonio Gargallo. <https://fantoniogargallo.unizar.es/curso/2021/avances-y-desarrollo-del-sector-aeronautico-y-aeroespacial-vii-edicion>
- Whiriskey, K. (2021). CO 2 Reduction Resource Intensity Deployment at Scale. In International Civil Aviation Organization (ICAO) (Ed.), *ICAO - Synthetic Fuels for Aviation - 6th May 2021*. [https://www.icao.int/Meetings/Stocktaking2021/Documents/Prestocktaking webinar 3/ICAO Prestocktaking Webinar - Keith Whiriskey - Bellona Foundation.pdf](https://www.icao.int/Meetings/Stocktaking2021/Documents/Prestocktaking%20webinar%203/ICAO%20Prestocktaking%20Webinar%20-%20Keith%20Whiriskey%20-%20Bellona%20Foundation.pdf)
- Wong, K., Rudd, C., Pickering, S., & Liu, X. L. (2017). Composites recycling solutions for the aviation industry. *Science China Technological Sciences*, 60(9), 1291–1300. <https://doi.org/10.1007/s11431-016-9028-7>
- World Commission on Environment and Development. (1987). *Report of the World Commission on Environment and Development : Our Common Future*.
- World Commission on Environment and Development. (1992). *Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo. 1992*. http://www.lacult.unesco.org/docc/1992_Declaracion_Rio_principios.pdf
- Young, M., Higham, J. E. S., & Reis, A. C. (2014). 'Up in the air': A conceptual critique of flying addiction. *Annals of Tourism Research*, 49, 51–64. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.annals.2014.08.003>
- Young, M., Markham, F., Reis, A. C., & Higham, J. E. S. (2015). Flights of fantasy: A reformulation of the flyers' dilemma. *Annals of Tourism Research*, 54, 1–15. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.annals.2015.05.015>