

## THE TECHNOLOGY OF AIR TRANSPORT OF PASSENGERS, IMPACT AND CHALLENGES AGAINST CLIMATE CHANGE

## LA TECNOLOGÍA DEL TRANSPORTE AÉREO DE PASAJEROS, IMPACTO Y RETOS FRENTE AL CAMBIO CLIMÁTICO

**PhD. Juan Carlos Garmendia Mora, PhD. Ender José Barrientos Monsalve,  
PhD. Lloyd Herbert Morris Molina**

**Institución Universitaria Politécnico Grancolombiano**

Facultad de Negocios, Gestión y Sostenibilidad

Bogotá, D.C., Colombia.

Tel.: 57-7-7455555, Ext. 1348

E-mail: [jgarmendia@poligran.edu.co](mailto:jgarmendia@poligran.edu.co) / [juangarmendia@yahoo.com](mailto:juangarmendia@yahoo.com)

**Abstract:** Air transport has been a transcendental activity for human development, but it has also contributed to one of the main problems that the planet has: climate change. The objective of this article is to present a state of the art of the impact that air transport has on climate change and what is being done to mitigate it. To this end, a thorough review was made of the information contained in each of the main entities or actors involved in organizing, regulating, proposing, developing or operating the actions or innovations that must be executed to meet the proposed goals. ICAO and IATA are the global organizations that have led the baton in these processes, but we must also highlight the inclusion of a large number of airlines, aircraft manufacturers, engine manufacturers, fuel manufacturers, airport operators and different organizations research and development that are contributing ideas for the reversal of this climate change, which leaves the hopeful idea that the goals can be met.

**Keywords:** air transport, climate change, airlines, technology, biofuel.

**Resumen:** El transporte aéreo ha sido una actividad trascendental para el desarrollo humano, pero también ha contribuido a uno de los principales problemas que tiene el planeta: el cambio climático. Se tiene por objetivo presentar un estado del arte del impacto que tiene el transporte aéreo en el cambio climático y qué se está haciendo para mitigarlo. Para ello se realizó una revisión concienzuda de la información que contiene cada uno de los principales entes o actores involucrados en organizar, regular, proponer, desarrollar u operar las acciones o las innovaciones que se deben ejecutar para cumplir las metas propuestas. La OACI y la IATA son las organizaciones mundiales que han llevado la batuta en estos procesos, pero también hay que resaltar la inclusión de un gran número de aerolíneas, fabricantes de aeronaves, fabricantes de motores, fabricantes de combustibles, operadores aeroportuarios y distintas organizaciones de investigación y desarrollo que están aportando ideas para la reversión de este cambio climático, lo cual deja la idea esperanzadora de que las metas se pueden cumplir.

**Palabras clave:** transporte aéreo, cambio climático, aerolíneas, tecnología, biocombustible.

### 1. INTRODUCCION

Desde que el transporte aéreo se popularizó en el mundo, también se masificó el turismo, más aún al hacerse la actividad turística mediante

desplazamientos de grandes distancias. Anterior al transporte aéreo, el desplazamiento de seres humanos para realizar actividades de esparcimiento y ocio era un privilegio de aristócratas, burgueses y personas con gran poder

adquisitivo, estas actividades estaban prácticamente prohibidas para cualquier individuo o familia de clase trabajadora. El turismo, en principio fenómeno de minorías, de élites con una alta potencia económica, se transforma en fenómeno de masas cuando la máquina deja más tiempo libre y, al mismo tiempo, afirma Velani citado por Cordero (1970) que la aviación comercial tiene una influencia decisiva en el rápido crecimiento de la actividad turística que hace que en siete años, de 1958 a 1965, se multiplique por 10 el número de viajeros transportados.

El transporte aéreo ofrece una serie de ventajas a la sociedad, de acuerdo con Alonso y Benito (2012), este sistema de transporte privilegia al ser humano con rapidez, creación de empleo, competitividad, cohesión territorial, conectividad, *spin-off* tecnológico, intercambio científico y cultural, etc., a las que se suma el ser el modo de transporte más seguro. El impacto ambiental constituye, prácticamente, el único elemento negativo relevante asociado con esta actividad y, por tanto, deben hacerse importantes esfuerzos para su control y mitigación.

En distintas latitudes el transporte aéreo es un segmento clave para el turismo, un elemento estratégico de la economía por su contribución a la riqueza y al empleo. En España por ejemplo, está la entidad empresarial Aeropuertos Españoles y Navegación Aérea (AENA) quien es el principal operador aeroportuario del mundo. Recuerda esta empresa que España, que es el primer destino del mundo en turismo vacacional, el segundo por gasto turístico y por número de turistas, recibió 82,8 millones de turistas internacionales en 2018, de los cuales más del 80% de sus viajeros llegaron por vía aérea (AENA, 2019).

Relacionado con lo anterior, Vogeler (2012) comenta que:

El transporte aéreo es un componente central del desarrollo turístico. Alrededor de 50% de las llegadas de turismo internacional se producen por esa vía, un porcentaje todavía más importante para los destinos de Centroamérica (55%), América del Sur (54%), y en especial para las islas del Caribe (98%). El desarrollo y la competitividad del transporte aéreo son, por tanto, absolutamente críticos para el progreso turístico en América Latina, de la misma manera que el crecimiento de la industria aérea en la región depende en una gran medida de los avances del sector turístico.

El transporte aéreo es una actividad muy organizada a nivel mundial, esto debido a diversos factores, dentro de los cuales están su importancia económica y la necesidad de ser una operación con altos estándares de seguridad. Es por esto que existe un organismo de Naciones Unidas exclusivamente dedicado a coordinar y dirigir la aviación civil, este es la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI), de la cual existen 192 países firmantes de su acta fundacional, el Convenio de Chicago de 1944, y que han seguido actuando como miembros activos para el mejor desarrollo de la aviación en el mundo.

Prácticamente en paralelo a la creación de la OACI por parte de los gobiernos del mundo, fue instituida la Asociación Internacional de Transporte Aéreo (IATA) producto de la agrupación de las empresas de transporte aéreo; actualmente cuenta con 290 aerolíneas como miembros permanentes, las cuales están ubicadas en 120 países. Esta institución ha sido fundamental en la organización y desarrollo de sistema de transporte aéreo con que se cuenta en la actualidad.

Precisamente, estas dos instituciones son las que han llevado la iniciativa para adecuar la operación del transporte aéreo a los estándares internacionales en materia ambiental. Diversos estudios indican que el turismo aporta un 5 % de las emisiones mundiales de CO<sub>2</sub>, de las que un 40 % deriva del transporte aéreo y un 20 % de los hoteles y otros tipos de alojamiento. El 40 % restante de esas emisiones está relacionado con otros tipos de transporte (cruceros, vehículos, ferrocarril, etc.) y servicios recreativos asociados al turismo. (OMT, 2017).

Además de lo anterior, Liu (2017) prevé que el volumen de tránsito aéreo de 2016, tanto en términos de vuelos como de pasajeros, se duplique en un lapso de solo 15 años. Entonces, he allí lo trascendental de investigar este tema, el transporte aéreo es la actividad individual de la operación turística que más contamina e impacta al cambio climático, por lo que se debe revisar qué se está haciendo en este sector para contrarrestar y disminuir su huella de carbono

## 2. ELEMENTOS TEÓRICOS

### 2.1 Impacto ambiental

Refieren Garmendia, Salvador, Crespo y Garmendia (2005) que “el impacto ambiental es la alteración de la calidad del medio ambiente producida por una actividad humana” (p. 18). Agregan que primeramente se debe considerar la

causa específica del impacto y en segundo lugar es necesario la cuantificación de ese impacto, es decir, hacer una valoración positiva o negativa del mismo. En este sentido, Gómez y Gómez (2013) comentan la relación entre dos conceptos: el desarrollo y el ambiente. Cada día hay más conciencia y sensibilidad ambiental, lo cual ha obligado al repensamiento del concepto económico de desarrollo, adicionándole elementos cualitativos tales como la calidad de vida, dentro de la cual estaría incluida la calidad del aire que se respira, o los niveles de contaminación sónica, por ejemplo.

Existen problemas ambientales a escala local, de los cuales hay algunos que son recurrentes en las distintas latitudes, por lo que se han convertido en problemas ambientales de escala mundial, afectando en mayor o menor grado a todos los seres humanos. Dentro de estos grandes problemas a escala mundial se encuentra el cambio climático, el cual según Garmendia, Salvador, Crespo y Garmendia (2005) consiste en un aumento de la temperatura media del planeta, debido principalmente a la emisión de Gases de Efecto Invernadero (GEI), dentro de los cuales se encuentra el CO<sub>2</sub>, que es emitido por los motores de los aviones.

Una de las herramientas más utilizadas para medir la cantidad de gases de efecto invernadero (GEI) es la Huella de Carbono (HdC). Estos gases impiden que toda la radiación solar que es reflejada por la tierra pueda salir, generando un aumento de la temperatura debajo de ellos (Espíndola y Valderrama, 2012). Complementan Schneider y Samaniego (2012) al mencionar que la huella de carbono está referida a las toneladas de dióxido de carbono equivalente de GEI generados a partir del consumo de combustible fósil.

Sobre eso, un grupo de expertos en cambio climático de la Organización de Naciones Unidas (ONU, 2015) ha avisado del peligro que representa esta amenaza y ha manifestado la urgencia de buscar soluciones lo antes posible. Las emisiones de GEI siguen aumentando y, al ritmo actual, la temperatura media global podría aumentar más de tres grados centígrados en el siglo XXI. Los efectos del cambio climático ya se perciben a diario, como el aumento del nivel del mar, el deshielo de los glaciares y otros fenómenos más intensos. La sostenibilidad juega un papel importante en la labor por contrarrestar el cambio climático.

Reporta Zarta (2018) que “si bien tienen aristas comunes, lo sustentable hace relación a la armonía existente entre lo económico, lo social,

lo ambiental con el sistema de valores, en tanto que lo sostenible considera cada uno de dichos subsistemas por separado.” La sustentabilidad está relacionada a los recursos finitos del planeta, el crecimiento brutal de la población, la contaminación, la necesidad de ser económicamente viable, es por eso que la búsqueda de ese equilibrio entre lo ambiental, lo económico y lo social resulta una tarea que requiere mucho esfuerzo de los distintos países del orbe, con cada una de sus instituciones y empresas.

## 2.2 Impacto ambiental del transporte aéreo

La aviación juega un papel importante en el desarrollo económico de muchos países, pero también es cierto que es una actividad que contamina el medio ambiente, como se observa en la figura 1, sobre un estudio desarrollado por la Agencia Europea de Medio Ambiente (2019), las emisiones de dióxido de carbono procedentes del transporte aéreo son superiores que cualquier otro medio de transporte, esto al normalizarlo de acuerdo al número de pasajeros y kilómetros recorridos; al comparar por ejemplo, el transporte aéreo con el transporte terrestre con vehículos particulares, los aviones emiten un promedio de 285 gramos de CO<sub>2</sub> por pasajero y kilómetro, mientras que el vehículo terrestre emite un promedio de 104 gramos de CO<sub>2</sub> por pasajero y kilómetro, es decir, el carro emite solo el 36,5% de lo que emite una aeronave promedio.

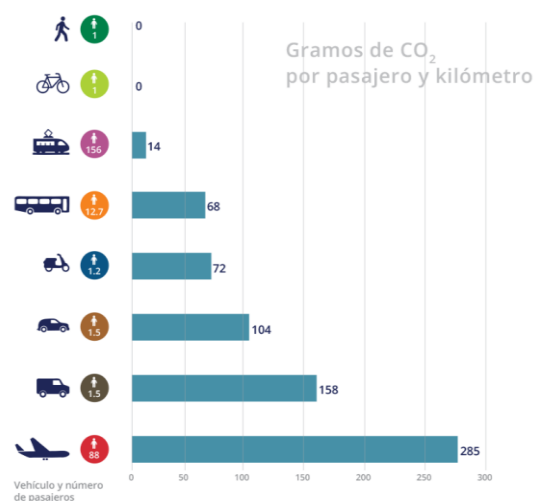


Figura 1: Emisiones de dióxido de carbono procedentes del transporte de pasajeros

Fuente: Agencia Europea de Medio Ambiente (2019)

Otra de las afectaciones al ambiente es la acústica, que es generada por prácticamente todas las actividades desarrolladas por el ser humano. En cuanto al transporte, de todos los modos conocidos, el aéreo es el que genera

mayor cantidad de daño acústico, e influye más todavía, tomando en consideración que la mayor carga acústica se genera en los aeropuertos, estando estos normalmente rodeados de áreas urbanas, por lo que estas áreas resultan seriamente afectadas. (Yanitelli et al., 2001)

Existe otro fenómeno muy visible producido por las aeronaves en sus vuelos: las estelas que dejan en el cielo tras su andar. Estas estelas de condensación, llamadas *contrails* aparecen tras el paso de las aeronaves; Bock y Burkhardt del Centro Aeroespacial Alemán, citadas por Criado (2019) han proyectado el impacto en el clima de estas estelas desde 2006 hasta 2050. El trabajo concluye que estos cirros artificiales contribuyen al cambio climático más que los propios gases de efecto invernadero (GEI) emitidos por los motores de los aviones y que su contribución al calentamiento global se triplicará en 2050 respecto a 2006. Las estelas duran poco tiempo en el cielo mientras el CO<sub>2</sub> permanece durante siglos, por lo que si se reduce el tráfico aéreo o se reducen las estelas que produce, el beneficio climático se observará rápidamente.

Otra institución importante que investiga las afectaciones ambientales de diversas actividades del ser humano es Atmosfair, quienes observan la protección activa del clima; según Street (2018), el índice de aerolínea atmosfair compara y clasifica anualmente las 190 aerolíneas más grandes del mundo según su eficiencia climática, es decir, las emisiones de CO<sub>2</sub> por servicio de transporte. El cálculo de las emisiones de CO<sub>2</sub> toma en consideración factores tales como el tipo de aeronave, los motores, los *winglets*, el número de asientos, el espacio de carga y la utilización de la capacidad.

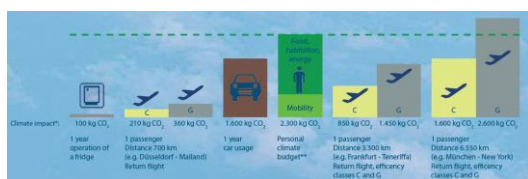


Figura 2: Impacto climático de vuelos comparados con otras actividades humanas

Fuente: Atmosfair (2018)

En la figura 2 se observa el impacto en el clima causado por los distintos tipos de vuelos, de acuerdo a la distancia recorrida y comparados estos con otras actividades del quehacer humano. Por ejemplo, la operación de un refrigerador casero durante un año emite 100 kilogramos (kg) de CO<sub>2</sub>, mientras que un vuelo de 700 kilómetros (km) ida y vuelta puede emitir 210 kg de CO<sub>2</sub> por cada pasajero, es decir, más del doble de contaminación. El uso por un año de un vehículo particular genera un promedio de 1.600 kg de

CO<sub>2</sub>, mientras que un vuelo de 3.300 km ida y vuelta genera 850 kg de CO<sub>2</sub> por pasajero. De estos datos aportados por Atmosfair se puede inferir lo escrito en la tabla 1:

Tabla 1: emisión de CO<sub>2</sub> por kilómetro recorrido

| Distancia del Vuelo (km) | CO2 emitido (kg) | kg de CO2 / km recorridos |
|--------------------------|------------------|---------------------------|
| 1400                     | 210              | 0,15                      |
| 6600                     | 850              | 0,1288                    |
| 13100                    | 1600             | 0,1221                    |

Fuente: elaboración propia basado en datos de Atmosfair (2018)

Es cierto que el número de kg de CO<sub>2</sub> emitidos a la atmósfera por kilómetros recorridos disminuye a medida que los vuelos se hacen más largos, pero los valores netos aumentan considerablemente. Esto es uno de los aspectos que más se critican del transporte aéreo, algunas organizaciones ambientales proponen la eliminación de estos vuelos de largo alcance debido a que son los que más cantidad de kilogramos de CO<sub>2</sub> emiten a la atmósfera, pero lamentablemente son los trayectos que menos opciones sustitutas tienen, precisamente debido a las grandes distancias. Es posible que vuelos de corta duración puedan ser sustituidos por otras opciones de transporte como el tren o el colectivo ya que el tiempo de viaje entre uno y otro no es tan significativo, pero a medida que la distancia aumenta, la diferencia en el tiempo entre el viaje aéreo y las otras opciones también aumenta, dejando al transporte aéreo como la única opción real y práctica.

### 3. PROPUESTAS Y AVANCES PARA REDUCIR EL IMPACTO AMBIENTAL

En el transporte aéreo existen dos elementos fundamentales involucrados en la operación: los aviones y los aeropuertos. Tanto los vehículos utilizados para hacer el traslado, como los sitios de salida y llegada, son factores contaminantes y que generan impactos negativos sobre el clima; es por eso que ambos fueron tomados en cuenta para las propuestas que se han hecho con la finalidad de reducir o mitigar el impacto de la operación aérea en el cambio climático.

En este sentido se ha venido trabajando desde hace décadas, pero el año 2008 fue un punto de inflexión para la estrategia a seguir por los entes involucrados. En este año se llevó a cabo la reunión de alto nivel sobre la aviación internacional y el cambio climático de la OACI

(2010), en la cual se realizaron distintos acuerdos, dentro de los más destacados están:

- a) Una meta mundial de 2% anual de mejoramiento del rendimiento de combustible hasta el año 2050, además de la búsqueda del incremento neutro en carbono y las disminuciones de las emisiones;
- b) La preparación de una norma mundial sobre CO<sub>2</sub> para las aeronaves y la propuesta de mejoras operacionales para disminuir las emisiones de la aviación;
- c) La asistencia a los países en desarrollo y facilitar el acceso a recursos financieros, la transferencia de tecnología y el desarrollo de capacidad.

Todos los entes involucrados en la operación aérea (fabricantes de aeronaves, fabricantes de motores, aerolíneas, aeropuertos, fabricantes de combustibles, gobiernos) han venido trabajando activamente para cumplir estas metas estratégicas propuestas por la OACI, y de cierta manera también por la IATA.

### 3.1 Las aeronaves

En el mundo actual del transporte aéreo existen dos empresas que son líderes en la fabricación de aeronaves de transporte, la norteamericana Boeing y la europea Airbus. Ambas han tenido dentro de sus planes estratégicos el diseño de aeronaves más eficientes y menos nocivas con el medio ambiente. Las nuevas tecnologías que está desarrollando Boeing proporcionarán mayor eficiencia en el consumo de combustible, mediante el desarrollo de un biocombustible sostenible para aviones o trabajando con las comunidades a nivel global en los problemas medioambientales importantes. (Boeing, 2019)

De acuerdo a McElroy (2019), en 2006 se dieron distintas protestas en el Reino Unido y en otros países europeos, reprochando los vuelos de corta distancia, mostrando que eran nocivos para el ambiente. Esto, junto a otros elementos, alertaron a las empresas aeronáuticas, fue justo entonces que la Boeing se planteó una estrategia ambiental integral, en la cual una de sus primordiales metas era la disminución de las emisiones de dióxido de carbono en un 80%. En este camino se han dado distintos eventos, iniciando en el 2008 con el vuelo de Londres a Amsterdam de una aeronave 747-400 de la aerolínea Virgin Atlantic, utilizando un 20% de biocombustible hecho a base de aceite de coco y babasú. A estos vuelos de prueba se han sumado otras aerolíneas como Air New Zealand, Continental y Japan Airlines,

en estos casos con combustibles derivados de grasa animal de desecho llamado HEFA, propiciando el reciclaje, involucrando distintas marcas de motores como CFM, Pratt&Whitney y Rolls Royce. Este biocombustible fue certificado en 2011 para su uso comercial.

Dentro de esta estrategia, Boeing ofrece correr con los costos de combustible para el primer vuelo de cada avión nuevo que entregan en su fábrica, siempre y cuando incluya biocombustible. Más recientemente, en enero de 2019, la aerolínea Etihad Airways hizo su primer vuelo desde Abu Dhabi hasta Amsterdam con pasajeros, consumiendo biocombustible.

Además de lo que hace y promueve Boeing, la empresa fabricante de aeronaves Airbus gasta más de 3.000 millones de euros anuales en investigación y desarrollo y posee aproximadamente 37.000 patentes en todo el mundo (Airbus, 2019). Esta empresa colabora con organizaciones líderes y contribuye a iniciativas importantes a escala europea e internacional, además de poseer una certificación ambiental de la Organización Internacional de Normalización (ISO) 14001; estas son normas prácticas para empresas y organizaciones de todo tipo que buscan gestionar sus responsabilidades medioambientales. Airbus fue el primer fabricante de aeronaves con certificación ISO 14001 para todos sus sitios, productos y servicios.

La creciente flota de la aeronave A350 XWB es un ejemplo de la nueva tecnología de Airbus: generación de aviones ecoeficientes. Ambas variantes - el A350-900 y su gemelo más largo, el A350-1000 reducen el consumo de combustible y las emisiones en un 25% en comparación con la generación anterior de aeronaves. Además del diseño de aviones más eficientes, Airbus está inmersa en la producción de satélites que promueven una mayor comprensión de la contaminación atmosférica (Faury, 2019).

### 3.2 Los Motores

Dos de las más grandes fabricas de motores para aviación son la Pratt & Whitney norteamericana y la Rolls Royce europea. A principios de 2008, la Pratt & Whitney comenzó a presentar avances importantes en cuanto a motores más amigables con el ambiente, en ese año hicieron la demostración del Geared Turbofan, el cual funcionó con éxito usando una combinación de combustible alternativo durante las pruebas en tierra. En 2009, un motor Pratt & Whitney estuvo en el primer vuelo de demostración de prueba de



Japan Airlines que usaba biocombustible. Un avión Boeing 747 de Air China, impulsado por motores Pratt & Whitney PW4000, completó un vuelo con un biocombustible sostenible en octubre de 2011. Algo muy importante para la economía y viabilidad de estos avances es que no se requirieron modificaciones en el avión o el motor para el biocombustible. El vuelo se completó como parte del programa de Biocombustibles Sostenibles del Programa de Cooperación de Energía, dirigido por Boeing y otros miembros de la industria, incluidos Honeywell y Pratt & Whitney (Boeing, 2019).

Durante más de 20 años, Pratt & Whitney ha realizado importantes inversiones en tecnologías como el motor Geared Turbofan y su familia de combustibles para la tecnología de Óxido de Nitrógeno Bajo Avanzado (TALON). También ha avanzado en el diseño de la próxima generación de productos sostenibles, incluidas las familias de motores PW100, PW300, PW600 y PW800, y con mejoras en el motor que incluyen actualizaciones a los motores Advantage70 y V2500Select.

En asociación con la NASA, Pratt & Whitney desarrolló la familia de quemadores TALON que reducen los óxidos de nitrógeno (NOx), los hidrocarburos no quemados (UHC) y el monóxido de carbono (CO). Cada gas se encuentra entre varios contaminantes regulados que afectan la calidad del aire local, y en el caso de NOx, también puede afectar el cambio climático.

Luego Pratt & Whitney certificó la cámara de combustión TALON II para su uso en los motores PW4158 y PW4168 que impulsan los aviones Airbus A330. La cámara de combustión TALON II también está en servicio de ingresos en el avión Airbus A318 con motor PW6000. Cuando se instalan en el avión Airbus, los motores PW4000 con cámaras de combustión TALON II han reducido las emisiones de NOx en un 19 a 28%, las emisiones de UHC en un 28% y las emisiones de CO en aproximadamente un 6% en comparación con las cámaras de combustión de producción inicial. (Pratt&Whitney, 2019).

En relación a este tema, como se menciona en el proyecto LEMCOTEC (2017), el Consejo Consultivo para la Investigación e Innovación de la Aviación en Europa (ACARE) ha determinado objetivos retadores, incluso más retadores que los propuestos por OACI, para cumplir en 2020 y 2050. Esto incluye el desarrollo de tecnologías y procedimientos para: reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> de los aviones en un 75% por kilómetro

pasajero, reducir el ruido en un 65%, reducir los óxidos de nitrógeno (NOx) en un 90%. Este es uno de los motivos por los cuales la Rolls Royce dedica más de dos tercios del presupuesto de I+D a mejorar el rendimiento medioambiental de sus motores de aviación.

En la figura 3 se observa el rendimiento real y proyectado de los motores Rolls Royce desde antes al año 2000, con la generación de motores Trent 800, hasta el 2050; en el 2020, con la entrada en el mercado de los motores *Advance* se prevé una mejora en la eficiencia de aproximadamente 19%.



Figura 3: Desempeño de los motores Rolls Royce

Fuente: Rolls Royce (2019)

Para el 2025, saldrán los motores de la generación UltraFan que tendrán una mejora en la eficiencia del 23% respecto a Trent 800. El combustible sigue siendo uno de los costos operativos más altos para las empresas de transporte aéreo, así como uno de los mayores factores colaboradores del impacto ambiental general de la aviación. Esto hace que aumente la demanda de los clientes y la sociedad por productos cada vez más limpios, silenciosos y eficientes (Rolls Royce, 2019).

Comentan Alvarado, Godoy, Ibarbes, Ríos y Sánchez (2017) que se han visto cambios radicales en la estructura de los motores, como el caso de los motores con tecnología GTF; también resaltan que las exigencias de la industria y de la sociedad en general, han llevado a la creación de sinergias entre los principales fabricantes para poder desarrollar motores con las mejores características posibles; en cooperación, cada compañía aporta su mejor tecnología logrando un mejor producto comparado con el trabajo individual. También afirman Alvarado et al que todas las compañías constructoras han demostrado grandes esfuerzos por mejorar los rendimientos en función del cuidado ambiental, buscando la reducción de emisiones y ruido.

### 3.3 Las Aerolíneas

El índice de Atmosfair (2018) ubica a las aerolíneas en una clasificación de 0 a 100 puntos según su eficiencia de CO<sub>2</sub>, dividida en rutas de

corta, media y larga distancia; en la clasificación general que incluye todas las distancias, aparece en primer lugar Tui Airways, seguida de Latam Brasil y en tercer lugar China West Air. Una característica común de las aerolíneas que ocupan los primeros lugares es el alto porcentaje de ocupación en sus vuelos y la operación de aeronaves actualizadas, de última generación, de mayor desarrollo tecnológico y que consumen menos combustible, como por ejemplo el Boeing 787-9 y los Airbus 350-900 y el 320neo. Tomando en consideración la conciencia ambientalista de los pasajeros, este índice puede servir a los distintos pasajeros que tienen la oportunidad de incluir la eficiencia de CO<sub>2</sub> en el proceso de toma de decisiones durante la compra de un pasaje aéreo.

Otra observación que se puede hacer respecto a esta clasificación es que la mayoría de las aerolíneas más grandes del mundo no aparecen en los primeros puestos, por ejemplo: La aerolínea más grande del mundo, American Airlines, está en el puesto 58 del índice general de eficiencia ambiental; Delta Airlines, la segunda con mayor flota en el mundo, ocupa el puesto 45 del ranking general; otra aerolínea grande es United Airlines, la cual ocupa el puesto 50 de la clasificación de eficiencia ambiental; Turkish Airlines está dentro de las diez más grandes, pero ocupa el puesto 69 de la lista de las más eficientes ambientalmente. Esta situación puede deberse a que las aerolíneas más grandes tienen también las rutas más largas, las cuales son las más contaminantes y de mayor impacto al ambiente. Es importante recordar que 80% de las emisiones de GEI del sector provienen de vuelos de más de 1.500 kilómetros, donde el transporte aéreo tanto de personas como de carga resulta el medio más eficiente (ATAG, 2018).

En el caso de American Airlines (2018), la aerolínea más grande del mundo pero que en el índice Atmosfair ocupa el lugar 58, el Sistema de Gestión Ambiental (EMS) brinda una orientación sistémica para desarrollar las instrucciones e indicaciones de las regulaciones ambientales, incluidas las emisiones de gases de efecto invernadero y el tratamiento de residuos peligrosos. El EMS está modelado en la norma ISO 14001 e íntimamente relacionado con el Sistema de Gestión de Seguridad (SMS) aprobado por la Federal Aviation Administration (FAA).

American Airlines (2018) apoya los objetivos ambiciosos establecidos por la IATA para mitigar las emisiones de CO<sub>2</sub> del transporte aéreo, particularmente se ha fijado las siguientes metas: mejora promedio en la eficiencia de combustible del 1.5 por ciento anual de 2009 a

2020, crecimiento sin emisiones de carbono mediante un límite en las emisiones netas de CO<sub>2</sub> de la aviación a partir de 2020 y reducción de las emisiones netas de CO<sub>2</sub> en la aviación del 50 por ciento para 2050, en relación con los niveles de 2005. Sus metas son similares a las propuestas por OACI, e incluso en algunos casos son más exigentes que aquellas.

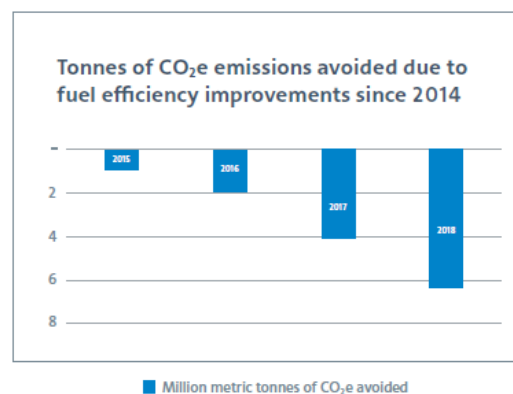


Figura 4: Ahorro en emisiones de CO<sub>2</sub> debido a ajustes operativos de American Airlines  
Fuente: American Airlines (2018)

En la figura 4 se observan las estadísticas en cuanto al número de toneladas de CO<sub>2</sub> que ha dejado de emitir a la atmósfera American Airlines debido a las eficiencias logradas en el uso de combustibles fósiles, las cuales fueron de 6,4 millones de toneladas para el 2018. De acuerdo también al Corporate Responsibility Report, en el 2018, American Airlines emitió un total de 36,03 millones de toneladas de CO<sub>2</sub>, lo cual representa un 17,78% de ahorro en ese período.

En el mercado latinoamericano se encuentra la aerolínea Latam, la cual figura dentro de las más eficientes en el mundo (Street, 2018), posee un plan de renovación de flota que le permite ser más eficiente en emisiones por kilómetro pasajero. Además de ello, en Perú y Colombia ha neutralizado las emisiones de carbono en las operaciones terrestres, a través de programas locales de reforestación. Esta aerolínea también posee el programa *Latam Fuel*, el cual gestiona todas las iniciativas de ahorro de combustible, que incluyen proyectos operacionales y tecnológicos que varían desde hacer más eficientes las operaciones hasta mejorar la gestión de tráfico aéreo y la inclusión de desarrollos estructurales en aeronaves. Los resultados de la implementación de estas iniciativas durante 2015 corresponden a un ahorro de combustible de más de 38 millones de galones de combustible, lo que implica que se dejaron de emitir más de 360 mil toneladas de CO<sub>2</sub> (Latam, 2018).

### 3.4 El combustible

La British Petroleum (BP) posee una subsidiaria encargada de la destilación y distribución del combustible para aeronaves, esta es una de las principales compañías encargadas de este negocio en el mundo y que también se ha ocupado del desarrollo de combustibles ecológicos; su propuesta se llama biojet. Según sus estudios y análisis, el biocombustible es la única alternativa al combustible de avión. Hasta finales del 2018, la industria en su conjunto ha realizado más de 100,000 vuelos con combustible ecológico y se espera que la demanda continúe creciendo a medida que disminuye el diferencial de precios entre este y el combustible de avión regular. Biojet es un combustible para aviones fabricado con materiales sostenibles (desechos domésticos sólidos, aceite de cocina reciclado, etc.) que reduce la cantidad de petróleo crudo que se consume y produce menos emisiones de CO<sub>2</sub> durante el ciclo de vida en comparación con el combustible para aviones convencional. Una mezcla de 50% biocombustible y 50% de combustible de hidrocarburo puede proporcionar una reducción de aproximadamente el 35% en las emisiones de CO<sub>2</sub> según la materia prima, el método de producción y la cadena de suministro al aeropuerto.

Biojet mezclado con combustible regular está aprobado para su uso en motores a reacción. No se requieren cambios técnicos a las aeronaves y está certificado por las autoridades aeronáuticas. Actualmente está disponible en varios aeropuertos de los países nórdicos. Air BP fue el primer operador en suministrar combustible renovable para reactores a través de un sistema de abastecimiento de combustible para hidrantes de aeropuerto como parte de las operaciones normales en el aeropuerto de Oslo desde 2016 (BP, 2019).

Existe una variedad de biocombustibles que provienen de distintas materias primas o que sus procesos de fabricación son diferentes. Los combustibles ecológicos pueden tener mayor o menor capacidad para disminuir la emisión de gases de efecto invernadero. En la figura 5 se observa el porcentaje de reducción en la emisión de GEI al sustituir el combustible fósil por cada uno de esos tipos de biocombustibles; por ejemplo: un combustible ecológico procesado en los Estados Unidos de Norte América, a partir de maíz cultivado en ese país, solo disminuye el 14% de las emisiones de GEI, mientras que un biocombustible procesado en Brasil, a partir de la caña de azúcar, puede lograr una reducción hasta del 88% en las emisiones de GEI. Estos datos no

incluyen los efectos debido al cambio de uso de las tierras.

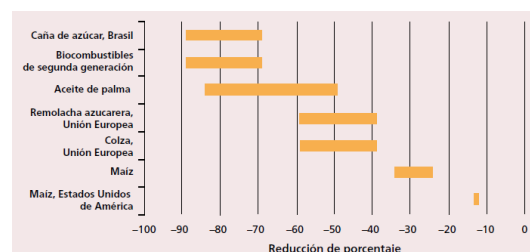


Figura 5: Reducción de los GEI de los biocombustibles Vs combustible fósil  
Fuente: FAO (2010).

Respecto a la producción de biocombustibles, Daynard y Daynard (2011) refieren que en 2008, 18 % de la caña de azúcar y 15% de la cosecha mundial de maíz se ocupó en la producción de etanol, un 10 % de la cosecha mundial de aceites vegetales se utilizó en la producción de biodiésel. Son altos porcentajes de ocupación de espacios cultivables para los bajos porcentajes que tienen los biocombustibles dentro de la cantidad total de energía necesaria para el transporte aéreo. En este sentido, el Air Transport Action Group (ATAG, 2018) señala que en 2017 se utilizaron 14 millones de litros de biocombustible para el transporte aéreo frente a 341 millardos de litros de combustible fósil, una fracción realmente muy baja.

Para el Grupo de Alto Nivel de Expertos de la FAO (HLPE, 2013) la producción de biocombustibles a base de cultivos como el maíz, la caña de azúcar o los aceites vegetales, están relacionados con los aumentos de los precios de los alimentos a nivel mundial, es por esto que se han desarrollado biocombustibles de segunda o tercera generación, los cuales se generan a partir de biomasa no comestible o lignocelulósica, tales como subproductos agrícolas, residuos forestales o desechos urbanos, pero igualmente la producción sigue siendo muy baja en comparación a la producción de combustibles derivados del petróleo.

En este orden, Boeing unida a Etihad Airways, Honeywell UOP y otras instituciones científicas asociadas en los Emiratos Árabes Unidos, han hecho significativos adelantos en el perfeccionamiento de biocombustibles sostenibles para la aviación a base de plantas del desierto regadas con agua de mar, las cuales son más eficientes en la producción de biocombustible que otras fuentes ya conocidas (Energiza, 2018). En estos proyectos están involucrados empresas y gobiernos que, aunque son productores de hidrocarburos, entienden la necesidad ambiental y el potencial económico de



estos proyectos. Otro de los aspectos que no ha sido estudiado en su totalidad es el rendimiento de estos biocombustibles, en este sentido Mónico, Sandoval y Rodríguez (2017) compararon el rendimiento de motores a reacción usando combustible Jet A-1, el cual es derivado de los hidrocarburos, con una mezcla entre este y combustible derivado de la palma aceitera; se observó una disminución del empuje del motor a medida que aumenta la proporción del combustible ecológico, esto debido al menor poder calorífico de este último.

### 3.5 Los aeropuertos y el tráfico aéreo

Los aeropuertos, con su infraestructura y gerencia de tráfico también impactan el ambiente; es importante que implementen las nuevas tecnología e innovaciones en materia de energía, diseño de infraestructura y gerencia del tráfico para que puedan ser más eficientes y competitivos y a su vez más amigables desde el punto de vista ecológico. Un ejemplo de ello es el aeropuerto de Cochin, el cuarto con más tráfico de pasajeros en India, reconocido internacionalmente por ser el primero en el mundo en moverse íntegramente mediante energías renovables. Con más de 46.000 paneles solares que generan 13,1 megavatios (MW) de electricidad a las instalaciones del aeropuerto (Martínez, 2016).

Con respecto a la infraestructura aeroportuaria, Lui (2017) señala que "actualmente hay cerca de 400 aeropuertos en todo el mundo en fase de construcción o gran ampliación, o en etapas avanzadas de planificación respecto de objetivos conexos" lo cual significa un aumento del 25% con respecto al año anterior (2016) y la tendencia es al crecimiento, influenciada por el aumento de la demanda de servicios de transporte aéreo. Es por esto la manifiesta necesidad de ampliación de la capacidad del transporte aéreo y que en el presente y futuro se gestione a través de aeropuertos construidos o modernizados sobre la base de políticas y capacidades ambientales más eficientes. Para ello se tiene a favor la disminución progresiva que han tenido los costos de las energías limpias, haciéndose cada vez más competitivas respecto a la energía proveniente de los hidrocarburos.

Señalan Alonso y Benito (2012) que las "emisiones que deterioran la calidad del aire en el entorno aeroportuario tienen su origen en los movimientos de las aeronaves, el funcionamiento de los equipos auxiliares, las actividades de las terminales y otros edificios aeroportuarios y el tráfico de otros modos de transporte que acceden al aeropuerto para transportar pasajeros y trabajadores".

Por eso es que recientemente, luego de tres años de trabajo del Comité sobre la Protección del Medio Ambiente y la Aviación (CAEP/11), se propuso en febrero de 2019 en Montreal, con la asistencia de 250 expertos de 31 Estados miembros de la OACI y 10 organizaciones internacionales, una serie de recomendaciones para mitigar el impacto de la aviación en la calidad del aire local y el clima mundial, incluyendo el ruido que producen las aeronaves. Estas recomendaciones incluyen propuestas de enmienda del Anexo 16, Volúmenes I, II y III, incluyendo la recomendación sobre una nueva norma relativa a las emisiones de materia particulada no volátil (nvPM) de los motores, que se incorporaría en Anexo 16, Volumen II (OACI, 2019).

En cuanto a la gestión del tráfico aéreo (ATM), asegura Graham (2011) que se han estado desarrollando sistemas operativos de mayor capacidad y automatización, que puedan manejar el nivel de actividades que se proyectan con el crecimiento del tráfico; entonces han tomado cuerpo las iniciativas como NextGen en Estados Unidos, el programa de investigación ATM en el marco del cielo único europeo (SESAR) en Europa y los programas de Reforma de Aviación Civil de Servicios de Tráfico Aéreo (CARATS) en Japón. Esto, junto a diferentes cambios en los procedimientos operativos en los aeropuertos, ayudará a que las aeronaves tengan menos tiempos de estadía en plataforma o en las calles de rodaje esperando autorización para despegar, disminuirá también los tiempos de vuelo, ya que uno de los objetivos que se busca con estos sistemas ATM de última generación, es poder modificar las rutas aéreas, hacerlas más directas, además de disminuir el tiempo que los aviones permanecen actualmente alrededor de los aeropuertos esperando autorización para aterrizar producto del congestionamiento.

Airbus también desempeña un papel importante en el proyecto SESAR, que tiene por finalidad dar forma al futuro del transporte aéreo y promover el crecimiento sostenible en todo el mundo mediante el desarrollo de soluciones para la gestión del tráfico aéreo. Estas mejoras de la gestión del tráfico aéreo podrían reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> en un 10% por vuelo (Airbus, 2018). Todos estos proyectos e ideas están alineados con la propuesta de la OACI enmarcada en el Plan Mundial de Navegación Aérea 2016-2030, en el cual se motivan cambios en las tecnologías y los procedimientos para generar mayores capacidades y eficiencias en la navegación (OACI, 2016).

Finalmente, Juniac, Director General de IATA (2019), asegura que las aerolíneas, los fabricantes y los operadores aeroportuarios saben

que la legislación se hará cada vez más estricta con el fin de reducir las emisiones de GEI, de hecho, todas las decisiones que se han tomado en los últimos tiempos contribuyen a 15 de los 17 objetivos de desarrollo sostenible de las Naciones Unidas. Para ello, la OACI junto a la IATA han impulsado el Plan de Compensación y Reducción de Carbono para la Aviación Internacional (CORSIA); este es el primer instrumento global de precios del carbono para un sector industrial. Limitará las emisiones netas de CO<sub>2</sub> de la aviación internacional en los niveles de 2020, es decir, se tendrá crecimiento sin emisiones de carbono.

Siete de los mayores fabricantes de aviones y de motores aeronáuticos, Airbus, Boeing, Dassault, GE Aviation, Rolls Royce, Safran y United Technologies, de acuerdo a EFE Verde (2019), reafirmaron su responsabilidad para restringir el impacto de la aviación al medioambiente. Aseguraron que están cumpliendo los objetivos que se fijaron hace ya más de una década para limitar el aumento de las emisiones de CO<sub>2</sub>. Para ellos, los tres grandes desafíos son: continuar la innovación tecnológica para disminuir el consumo de derivados de hidrocarburos y así sus emisiones, fortalecer el desarrollo y mercadeo de combustibles alternativos y por último y trascendental, rupturas tecnológicas en la concepción de los aviones y de su propulsión. En este encuentro también se habló sobre las perspectivas del avión eléctrico, recordando que Airbus tiene previsto el primer vuelo de su prototipo en 2021. y que se pudiera dar la comercialización de estas aeronaves para el 2030.

#### 4. CONCLUSIONES

Dentro de las iniciativas existentes para aminorar las emisiones de gases de efecto invernadero que se están desarrollando en la actualidad, los biocombustibles son una opción importante, pero que está todavía en una insipiente etapa, se debe seguir realizando investigación y desarrollo en esta área muy promisoriosa; mientras tanto, la mejora de la operatividad de todo el sistema de transporte aéreo, la mejora en los diseños más eficientes en las aeronaves y sus motores, pueden ser opciones más rentables en el corto y mediano plazo.

Los actores involucrados en el transporte aéreo, gobiernos, organismos multilaterales, aerolíneas, constructores de aviones y de motores, operadores aeroportuarios, todos coinciden en que se deben realizar cambios más radicales si se quiere cumplir las metas de emisión de CO<sub>2</sub> propuestas para el año 2050. Para ello hay que explorar todas las opciones y de manera rápida,

acelerar las etapas de investigación para poder tener resultados palpables y reales en el menor tiempo posible. Los biocombustibles son una buena alternativa, pero sola no es suficiente; por ello se están visualizando otras opciones de combustibles a base de hidrógeno o aeronaves que trabajan con baterías eléctricas, seguramente surgirán otras que sean potenciales soluciones a este problema del cambio climático.

El sector aeronáutico relacionado al turismo ha demostrado tener destrezas y espíritu de cooperación dentro de sus industrias relacionadas; con ello se ha logrado un sistema de transporte seguro y efectivo que conecta a todos los países del mundo, motor del desarrollo humano. Esto, junto a las evidencias más recientes de agrupación de distintas industrias para investigar y desarrollar soluciones al cambio climático, permiten intuir que hay compromisos y capacidades suficientes para lograr las metas propuestas y así contribuir a la sostenibilidad del planeta.

Hay alineación de objetivos con las empresas de transporte aéreo, ya que a menor consumo de combustible, mayor utilidad financiera para la empresa y menos impacto al ambiente. Entre los aeropuertos hay competencia, a cada uno le conviene atraer más aerolíneas que quieran operar en sus instalaciones, para ello se deben hacer lo más eficientes posibles, brindándole a las aerolíneas operaciones con menores tiempos de duración, en donde los aviones no tengan que esperar en cola para poder despegar o sobrevolar las cercanías del aeropuerto, esperando indicaciones para poder aterrizar. La configuración más inteligente de los destinos, equipos a utilizar, horarios, etc., producirá ahorros importantes en los kilómetros recorridos y en las toneladas de CO<sub>2</sub> emitidos a la atmósfera, también promoverá mayores economías a las aerolíneas. Así mismo, la gestión de tráfico aéreo, *taxeo* de las aeronaves y las rutas utilizadas también tienen potencial de mejoras para disminuir el consumo de combustible.

#### REFERENCIAS

- AENA (2019). El transporte aéreo y el turismo en España. <https://bit.ly/376S2vL>
- Airbus (2019). Innovating for sustainable solutions. <https://bit.ly/31y9k3t>
- Airbus (2018). Annual Report: connecting the skies. <https://n9.cl/blm>
- Alvarado, B.; Godoy, M.; Ibarbes, P.; Ríos, I. y Sánchez, J. (2017). Comparación de motores P&W, G.E y R.R. Universidad Técnica Federico Santa María. <https://n9.cl/owdti>

- Alonso, G. y Benito, A. (2012). *El impacto ambiental del transporte aéreo y las medidas para mitigarlo*. En: "X Congreso de Ingeniería del Transporte (CIT2012)", 20/06/2012 - 22/06/2012, Granada, España. ISBN 978-84-338-5402-5. pp. 1-15
- American Airlines (2017). Corporate Responsibility Report. Documento corporativo. <https://n9.cl/3ql4>
- American Airlines (2018). Corporate Responsibility Report. Documento corporativo. <https://n9.cl/30o3>
- ATAG (2018). Aviation – Benefits beyond borders, pág.7. <https://n9.cl/borr>
- Atmosfair (2018). Atmosfair airlines index 2018. <https://n9.cl/gxwb>
- Benjamin, R. (2010). El desafío de la sostenibilidad. Revista de la OACI, volumen 65 N° 3. <https://n9.cl/yr4x>
- Boeing (2019). Informe medioambiental. Informe empresarial. <https://n9.cl/k4jc>
- British Petroleum (2019). Environmental solutions for airlines. <https://n9.cl/fmo5>
- Cordero, L. (1971). Turismo y Transporte Aéreo. IV Coloquio Internacional, Instituto del Transporte Aéreo, España. <https://n9.cl/k0uz>
- Criado, M. (2019). Las estelas de los aviones afectan el clima más que sus emisiones de CO<sub>2</sub>. Reporte periodístico. <https://n9.cl/ktsh>
- Daynard, K. y Daynard, T. (2011). What are the Effects of Biofuels and Bioproducts on the Environment, Crop and Food Prices and World Hunger? <http://www.gfo.ca>
- EFE Verde (2019). La industria de aviones promete frenar su impacto ambiental. Reporte periodístico. <https://n9.cl/5c0u>
- Espíndola, C., y Valderrama, J. (2012). Carbon Footprint. Part 1: Concepts, Estimation Methods and Methodological Complexities. *Información tecnológica*, 23(1), 163-176. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642012000100017>
- Energiza (2018). Boeing y sus socios en los Emiratos Árabes Unidos estudian producir biocombustibles a partir de plantas del desierto. <https://n9.cl/syqk>
- FAO (2010). Efectos de los biocombustibles en el medio ambiente. <http://www.fao.org/3/i0100s/i0100s05.pdf>
- Faury, G. (2019). Minimising Invironmental Impact. Declaración de principios de Airbus. <https://n9.cl/k55w>
- Garmendia, A.; Salvador, A.; Crespo, C. y Garmendia L. (2005). Evaluación de Impacto Ambiental. Pearson Prentice Hall. Madrid.
- Graham (2011). Definición del futuro de la gestión del tráfico aéreo. Editado por OACI. Volumen 66, número 4. <https://n9.cl/yj6p>
- HLPE (2013). Los biocombustibles y la seguridad alimentaria. Un informe del Grupo de alto nivel de expertos en seguridad alimentaria y nutrición del Comité de Seguridad Alimentaria Mundial, Roma. <http://www.fao.org/3/a-i2952s.pdf>
- IATA (2018). Comunicado N° 58: La aviación celebra una década de reducción de emisiones y reafirma su compromiso. <https://n9.cl/smlx>
- IATA (2019). Comunicado N° 30: Aerolíneas exigen implementación del plan de compensación y reducción de carbono. <https://n9.cl/gz9v1>
- Latam (2018). Sostenibilidad de cambio climático. <https://n9.cl/vw4e>
- LEMCOTEC (2017). Construir un motor aeronáutico mejor. Resultado resumido. [file:///C:/Users/jgarmendia/Downloads/CORDIS\\_result\\_147233\\_es.pdf](file:///C:/Users/jgarmendia/Downloads/CORDIS_result_147233_es.pdf)
- Liu, F. (2017). Seminario de la OACI para promover aeropuertos más verdes. Comunicado de prensa OACI. <https://n9.cl/tmm7>
- Martínez, A. (2016). El único aeropuerto verde del mundo cumple un año. Artículo periodístico publicado en El País. <https://n9.cl/3axj>
- McElroy, P. (2019). Boeing pilots the birth of biofuel for aviation's sustainable growth. Revista Innovation Quarterly, tercer trimestre 2019. <https://n9.cl/661n>
- Mónico, L.; Sandoval, J. y Rodríguez, A. (2017). Estudio teórico sobre la influencia del uso de mezclas de biodiesel de aceite de palma con Jet A-1 en Motores a reacción". Revista Ingeniería, vol. 22, no. 1, pp. 140-151. <https://n9.cl/fm2c>
- OACI (2010). Declaración consolidada de las políticas y prácticas permanentes de la OACI relativas a la protección del medio ambiente – cambio climático. <https://n9.cl/zxj7>
- OACI (2014). Informe anual del consejo de la OACI 2014. <https://n9.cl/3gjby>
- OACI (2016). Plan Mundial de Navegación Aérea 2016-2030. <https://n9.cl/309ft>
- OACI (2019). Novedades en la OACI con respecto al medio ambiente. <https://n9.cl/7nc2>
- OMT (2018). Conferencia mundial sobre el turismo y la energía del futuro: en busca de oportunidades de crecimiento con bajas emisiones de carbono. <https://n9.cl/vr2e>

- ONU (2015). Cambio Climático. <https://n9.cl/s4vzy>
- Rolls Royce (2019). Engeneering and Innovation. <https://n9.cl/ns6e>
- Street, F. (2018). Las aerolíneas más amigables con el medio ambiente. Reportaje periodístico. <https://n9.cl/3s1c>
- Vogeler, C. (2012). Transporte Aéreo y desarrollo turístico en América Latina y el Caribe. Revista Excelencia Magazine. Edición N° 112. <https://n9.cl/fezv>
- Yanitelli, M.; Pasch, V.; Mosconi, P.; Cabanellas, S.; Vazquez, J.; Rall, J.; Miyara, F. (2001). Manchas acústicas: ruido de aeropuertos. Cuartas Jornadas Internacionales Multidisciplinarias sobre Violencia Acústica. <https://n9.cl/bkn9>
- Zarta, P. (2018). La sustentabilidad o sostenibilidad: un concepto poderoso para la humanidad. Tabula Rasa, (28), 409-423. <https://n9.cl/pyi6e>