

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA
Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

EL CIELO ÚNICO EUROPEO COMO
SOLUCIÓN DE MEJORA A LA HUELLA
ECOLÓGICA DEL TRANSPORTE AÉREO

Trabajo Final de Grado
Ingeniería Aeroespacial



Autor: Laura Rodríguez Veiras

Tutor: Nicolás Laguarda Miró

Curso académico 2019/2020

16/06/2020



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

*A mi madre.
Te echo de menos.*



Resumen

La creciente problemática del cambio climático que ha llevado, en la actualidad, a una situación de emergencia climática hace necesaria la búsqueda de medidas para reducir el impacto de la actividad humana sobre el medio ambiente.

Una de las industrias más contaminantes es el sector del transporte, en el que el medio de transporte aéreo, es decir, la aviación comercial, es de los más conflictivos, tanto por su tasa de emisión por pasajero como por su reciente y desmesurado crecimiento. Así, las medidas para mitigar esto son cada vez más urgentes.

El tráfico aéreo en Europa destaca por ser uno de los más ineficientes del mundo por su fragmentación, lo que conlleva graves pérdidas económicas e innecesarias y excesivas emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera.

Por lo tanto, en el presente documento se realizan los estudios estimados de la aplicación de tres medidas concretas: el Cielo Único Europeo (la desfragmentación del espacio aéreo de Europa), la reducción de la velocidad en las etapas de crucero de los trayectos y la implementación de la aproximación en descenso continuo en la totalidad de los aeropuertos europeos.

Los resultados obtenidos a partir de dichos estudios muestran una reducción de hasta un 1'5% de la totalidad de los gases emitidos por Europa, lo cual lleva a una reducción significativa de su huella ecológica, además de lograr ahorros económicos de hasta 2'7 billones de euros anuales para la Unión Europea.

Agradecimientos

Haber llegado hasta aquí no ha sido tarea fácil y, además de todo el esfuerzo empleado, esto ha sido resultado del gran apoyo y la ayuda de algunas personas.

En primer lugar, me gustaría agradecer a mi padre y a mi hermana haber sido mi mayor pilar durante todos estos años. Son ellos a los que les doy las gracias por haberme convertido en la persona que soy hoy en día y por darme fortaleza cuando ni yo misma sabía que podía ser posible. Gracias por ser mi alegría diaria durante el confinamiento, haciendo posible que este trabajo salga adelante.

También me gustaría dar las gracias a mis amigos de la carrera, de la residencia y a mis compañeros de piso. Especialmente a Marta, Miguel, María, Cristian y Javier. Este viaje de cuatro años no hubiera sido tan especial si ellos no hubieran estado conmigo, haciéndome reír cuando llegaba enfadada de clase y secándome las lágrimas cuando pensaba que no podía más. Echaré de menos nuestra casa.

Finalmente, me gustaría dar las gracias enormemente a mi profesor y tutor, Nicolás Laguarda. Sin personas como él la palabra enseñanza carecería de sentido. Gracias por ser un profesor que se vuelca en lo que hace con el principal objetivo de que verdaderamente aprendamos sobre su asignatura que, además, nos enseña a hacer un del mundo un sitio mejor; dándole importancia a un tema fundamental que suele pasar desapercibido. Su alegría, entusiasmo y comprensión hacen que ir a clase sea ir a un lugar al que llegas con la motivación de aprender cosas nuevas y del que sales esperando con emoción que llegue la próxima clase. Personalmente, te doy las gracias por tener tanta paciencia y entender cada situación difícil que se me haya podido presentar en el camino y, sobre todo, gracias por este último año en el que no sólo me has enseñado conocimientos técnicos sino, también, qué es lo que significa ser un buen profesor y profesional.

Índice

RESUMEN	3
AGRADECIMIENTOS	4
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	6
ÍNDICE DE TABLAS	7
BLOQUE I. – OBJETO	8
I.I. INTRODUCCIÓN.....	9
I.II. OBJETIVOS	9
I.III. JUSTIFICACIÓN.....	9
BLOQUE II. – GENERALIDADES	11
II.I. EVOLUCIÓN DEL TRÁFICO AÉREO	12
II.I.I. <i>Gestión actual del tráfico europeo</i>	13
II.II. CAMBIO CLIMÁTICO Y TRANSPORTE AÉREO.....	16
II.II.I. <i>Gases de efecto invernadero y calentamiento global</i>	16
II.II.II. <i>Emisiones del transporte aéreo</i>	18
II.III. CONTAMINACIÓN ACÚSTICA.....	20
II.III.I. <i>El ruido y el transporte aéreo</i>	21
II.IV. SOLUCIONES.....	22
BLOQUE III. – CIELO ÚNICO EUROPEO	23
III.I. PRINCIPIOS BÁSICOS	24
III.I.I. <i>Single European Sky ATM Research (SESAR)</i>	24
III.II. MEDIDAS A IMPLEMENTAR Y FASES	25
III.III. REDUCCIÓN DE LA VELOCIDAD	28
III.IV. APROXIMACIÓN EN DESCENSO CONTINUO	32
III.V. ESTIMACIÓN DEL AHORRO.....	35
III.V.I. <i>Reducción de la huella ecológica en Europa</i>	38
III.VI. PRESUPUESTO	39
BLOQUE IV. – CONCLUSIONES	42
IV. CONCLUSIONES	43
REFERENCIAS	45
ANEXOS	50
ANEXO I. CÓDIGO DE MATLAB PARA CALCULAR EL CONSUMO EN CRUCERO CON FRAGMENTACIÓN DEL CIELO	50
ANEXO II. CÓDIGO DE MATLAB PARA CALCULAR EL CONSUMO EN CRUCERO CON CIELO ÚNICO EUROPEO SIN REDUCCIÓN DE VELOCIDAD.....	52
ANEXO III. CÓDIGO DE MATLAB PARA CALCULAR EL CONSUMO EN CRUCERO CON CIELO ÚNICO EUROPEO CON REDUCCIÓN DE VELOCIDAD	54
ANEXO IV. DETERMINACIÓN DE EMISIONES DE CO ₂ PARA LAS ACTIVIDADES DE LA AVIACIÓN.....	56
ANEXO V. DATOS OBTENIDOS PARA TRAYECTOS DESDE MADRID A 44 DESTINOS EUROPEOS	57
V.I. <i>Espacio aéreo fragmentado</i>	57
V.II. <i>Cielo Único Europeo sin reducción de velocidad</i>	58
V.III. <i>Cielo Único Europeo con reducción de velocidad</i>	59

Índice de ilustraciones

ILUSTRACIÓN 1: EVOLUCIÓN DEL NÚMERO DE PASAJEROS TRANSPORTADOS A NIVEL GLOBAL [ORGANIZACIÓN DE AVIACIÓN CIVIL INTERNACIONAL, (2019)].....	12
ILUSTRACIÓN 2: EVOLUCIÓN DEL TRANSPORTE DE CARGA A NIVEL GLOBAL [ORGANIZACIÓN DE AVIACIÓN CIVIL INTERNACIONAL, (2019)]	13
ILUSTRACIÓN 3: TRÁFICO AÉREO MUNDIAL EL DÍA 26 DE JUNIO DE 2018	13
ILUSTRACIÓN 4: FRAGMENTACIÓN DEL ESPACIO AÉREO EUROPEO [EUROCONTROL].....	14
ILUSTRACIÓN 5: TARIFAS UNITARIAS EN RUTA EN DISTINTOS ESTADOS DE LA UE [SERVICIO CENTRAL DE TARIFAS DE RUTA DE EUROCONTROL (2020)]	15
ILUSTRACIÓN 6: MEDIA DE EXCESO DE EMISIONES DE CO ₂ POR FASE DE VUELO EN EUROPA [EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY, EUROPEAN UNION AVIATION SAFETY AGENCY, EUROCONTROL, (2019)]..	15
ILUSTRACIÓN 7: TENDENCIAS DE TRÁNSITO, TARIFAS UNITARIAS Y RETRASOS EN RUTA [TRIBUNAL DE CUENTAS EUROPEO, (2017)]	16
ILUSTRACIÓN 8: EFECTO INVERNADERO NATURAL	17
ILUSTRACIÓN 9: DIFERENCIA DE LA TEMPERATURA MEDIA GLOBAL CON EL PROMEDIO EN °C Y AUMENTO DE LAS EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO EN RELACIÓN AL PASO DE LOS AÑOS [NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION (NOAA) Y ORGANIZACIÓN METEOROLÓGICA MUNDIAL (OMM), (2019)]	17
ILUSTRACIÓN 10: EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO POR SECTOR ECONÓMICO [INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, (2014)].....	18
ILUSTRACIÓN 11: EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO GLOBALES POR SECTOR DE TRANSPORTE [INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, (2013)].....	19
ILUSTRACIÓN 12: EMISIONES DE CO ₂ POR PASAJERO Y POR KILÓMETRO RECORRIDO EN CADA SECTOR DEL TRANSPORTE [EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY, (2013)].....	19
ILUSTRACIÓN 13: CÍRCULO DE LA INNOVACIÓN DE SESAR.....	25
ILUSTRACIÓN 14: FASES ESTABLECIDAS POR SESAR PARA ALCANZAR LOS OBJETIVOS DEL CIELO ÚNICO EUROPEO	26
ILUSTRACIÓN 15: FUNCTIONAL AIRSPACE BLOCKS DEFINIDOS EN EUROPA	27
ILUSTRACIÓN 16: CONSUMO ESPECÍFICO EN FUNCIÓN DEL NÚMERO DE MACH PARA PARA UN MODELO DE MOTOR V2527 – A5 [OBTENIDA A PARTIR DEL SOFTWARE GASTURB]	29
ILUSTRACIÓN 17: RUTA LEMD – EPWA PROPUESTA CON EL MODELO DE FRAGMENTACIÓN ACTUAL DEL CIELO EUROPEO	30
ILUSTRACIÓN 18: RUTA LEMD – EPWA PROPUESTA CON EL MODELO DEL CIELO ÚNICO EUROPEO.....	31
ILUSTRACIÓN 19: APROXIMACIÓN POR INSTRUMENTOS (IFR)	33
ILUSTRACIÓN 20: APROXIMACIÓN EN DESCENSO CONTINUO (CDA).....	33
ILUSTRACIÓN 21: MEJORA EN LOS NIVELES DE RUIDO PARA UNA APROXIMACIÓN EN DESCENSO CONTINUO EN LOS PRINCIPALES AEROPUERTOS DE LONDRES PARA UN BOEING 777	34
ILUSTRACIÓN 22: KG DE COMBUSTIBLE AHORRADO POR VUELO EN EL AEROPUERTO DE PRAGA [OACI, 2014].....	35
ILUSTRACIÓN 23: EMISIONES DE CO ₂ EN DIFERENTES SECTORES DE EUROPA [EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY, (2020)].....	37
ILUSTRACIÓN 25: CONSUMO APROXIMADO DEL MODELO DE PORTÁTIL UTILIZADO	40

Índice de tablas

TABLA 1: EJEMPLOS DE NIVELES DE RUIDO EN DB [RIVAS, J. Y ARIZA, H. (2007)].....	21
TABLA 2: FASES ESTABLECIDAS POR SESAR PARA ALCANZAR LOS OBJETIVOS DEL CIELO ÚNICO EUROPEO	26
TABLA 3: OBJETIVOS PARA RP3 EN REFERENCIA CON LOS OBJETIVOS Y RESULTADOS OBTENIDOS EN RP2 [PERFORMANCE REVIEW BODY OF THE SINGLE EUROPEAN SKY, (2018)]	28
TABLA 4: RESULTADOS APROXIMADOS PARA LA APLICACIÓN DE LA DESFRAGMENTACIÓN DEL CIELO EUROPEO Y LA REDUCCIÓN DE VELOCIDAD EN UN VUELO LEMD – EPWA	31
TABLA 5: AHORRO ANUAL EN COMBUSTIBLE, COSTES Y EMISIONES EN EL AEROPUERTO DE AHMEDABAD [OACI, 2014]	34
TABLA 6: PRECIO (EN DIFERENTES UNIDADES) Y DENSIDAD DEL COMBUSTIBLE UTILIZADO PARA REALIZAR EL ESTUDIO	36
TABLA 7: RESULTADOS DE LA REDUCCIÓN DE VELOCIDAD Y LA DESFRAGMENTACIÓN A PARTIR DEL AEROPUERTO MODELO LEMD.....	36
TABLA 8: RESULTADOS DE LA IMPLANTACIÓN DE LA DCA [EUROCONTROL, (2009)]	37
TABLA 9: RESULTADOS TOTALES APROXIMADOS OBTENIDOS.....	37
TABLA 10: CONTRIBUCIÓN DE LA REDUCCIÓN CALCULADA A DIFERENTES SECTORES.....	38
TABLA 11: REDUCCIÓN DE LA HUELLA ECOLÓGICA EN EUROPA.....	38
TABLA 12: COSTES DE PERSONAL DEL PRESENTE PROYECTO	39
TABLA 13: COSTES DE EQUIPOS DEL PRESENTE PROYECTO	40
TABLA 14: COSTE DEL CONSUMO ELÉCTRICO DEL PRESENTE PROYECTO	41
TABLA 15: PRESUPUESTO GLOBAL DEL PRESENTE PROYECTO.....	41
TABLA 16: FACTORES DE EMISIÓN PARA COMBUSTIBLES DE AVIACIÓN [BOE, (2009)]	56



Bloque I. – Objeto

I.I. Introducción

Esta memoria es el resultado de un Trabajo de Fin de Grado en el que se realiza una propuesta para reducir el impacto medioambiental provocado por la contaminación, tanto acústica como de emisión de gases de efecto invernadero, generada por el sector de la aviación comercial.

Para ello, en primer lugar, se exponen las ideas principales necesarias para comprender el desarrollo de las soluciones planteadas. Se tratan conceptos como el calentamiento global, la contaminación acústica y su relación con el ámbito aeronáutico, es decir, su vinculación con la evolución de esta industria y con su gestión actual. Sobre esto último, se hará especial hincapié, en la forma en la que se gestiona el tráfico aéreo en Europa.

Una vez introducidas las nociones básicas, se presenta la combinación de tres soluciones: el Cielo Único Europeo, la reducción de la velocidad en crucero y la aproximación en descenso continuo. Así, primeramente, se clarifican las definiciones y los principios básicos de cada una de ellas por separado. En segundo lugar, se estudian los resultados de cada una de estas medidas y, finalmente, se estudiarán los resultados obtenidos de la combinación de estas con respecto a la disminución de emisión de gases contaminantes y de ruido.

Por último, se estimará el presupuesto necesario para llevar a cabo la realización de dicho proyecto y se extraerán las conclusiones pertinentes.

I.II. Objetivos

Este trabajo de final de grado tiene como motivación tres objetivos principales.

El primero de ellos, es la aplicación y unificación de los conceptos, tanto teóricos como prácticos, que se han ido adquiriendo a lo largo del transcurso por todas las asignaturas del grado de ingeniería aeroespacial, así como poner de manifiesto las competencias adquiridas y evaluadas durante estos cuatro años.

Adicionalmente, otro de los principales objetivos de esta memoria consiste en aportar una perspectiva, basada en datos y estudios científicos, del impacto medioambiental generado por el sector de la aviación comercial, así como exponer las consecuencias de este para el planeta y su respectiva población.

Finalmente, la relevancia de este trabajo y, por tanto, el objetivo principal, estriba en la propuesta y el estudio de la combinación de diferentes soluciones, concretamente tres, cuyo propósito es la reducción de dicho impacto para lograr la mitigación de la emergencia climática actual y su repercusión sobre las generaciones futuras.

I.III. Justificación

El impacto sobre el medio ambiente a manos del ser humano ha estado presente desde el momento en el que se dejó a un lado el nomadismo y la convivencia activa con la naturaleza para pasar al sedentarismo y comenzar a modificar el ecosistema con el fin de obtener recursos de forma fácil, siendo esto el inicio de algunas actividades como la agricultura y la ganadería.

Desde ese momento, en la prehistoria, hasta la actualidad, la relación entre el ser humano y la naturaleza ha provocado la constante degradación de la Tierra, por la actividad de las personas, tanto de los océanos y de la superficie terrestre como de la atmósfera. No obstante, no fue hasta la Revolución Industrial, entre los siglos XVIII y XIX cuando estos problemas comenzaron a hacerse notar entre los humanos.

El auge de la industria potenciado por las nuevas tecnologías, como el descubrimiento de la máquina de vapor en 1769, y por nuevas formas de producción, como el taylorismo o el surgimiento de las máquinas industriales, provocó el disparo del consumo de combustibles fósiles y, por tanto, de la emisión de gases contaminantes, además del desmesurado incremento de residuos. Esta situación terminó por afectar al propio bienestar de las personas que, hasta entonces, ignoraban el impacto que generaban sobre el planeta. Se dieron nuevas enfermedades, aglomeraciones en las ciudades, una mala gestión de los residuos generados, una degradación considerable del aire en los núcleos urbanos y otros nuevos problemas que dieron lugar a la

aparición de la concienciación ambiental en grupos reducidos de personas que empezaron a preocuparse de su entorno.

Sin embargo, el hecho de que surgiera el ecologismo y la preocupación por el medio ambiente no implicó grandes cambios. La industria siguió avanzando de forma desmedida y las nuevas tecnologías con ella, motivando el surgimiento de nuevos medios de transporte y su popularización con los años, como, por ejemplo, la aviación comercial.

El desentendimiento de las personas y el hecho de querer ignorar e incluso negar un problema real y cada vez más grave ha determinado la situación de emergencia climática que se está viviendo actualmente. Esta coyuntura requiere que toda la población haga lo posible por minimizar el impacto que se crea diariamente sobre la Tierra. También, requiere de una gran responsabilidad y compromiso por parte de la comunidad científica, gobiernos y grandes empresas para dar con soluciones que permitan resolver o aminorar esta problemática tan grave ante la que el mundo entero se encuentra.

Entre todos los factores contribuyentes a crear esta situación, el transporte colabora en gran parte, incluyendo la aviación comercial, cuya aportación al cambio climático se ha visto agravada en los últimos años a causa de su significativa expansión. Es por esto que se necesitan medidas urgentes que pongan remedio a la huella ecológica creada por este sector. Existe un gran margen de mejora y por esto, surge este trabajo, cuyo objetivo es proponer mejoras que ayuden a poner remedio a la gran emergencia climática.



Bloque II. – Generalidades

II.1. Evolución del tráfico aéreo

Desde el año 1903 con el primer vuelo llevado a cabo por los hermanos Wright y con el primer vuelo comercial de la historia realizado en hidroavión en 1914 en el estado de Florida (EE.UU), el mundo de la aviación civil llegó a la historia para quedarse.

Este se trata de un sector que se ha caracterizado por su constante evolución con los años. Desde un principio, la evolución tecnológica se orientó a la mejora de la velocidad, el radio de operación y el tamaño, entre otros. Esto conllevó a un aumento de la eficiencia de las aeronaves, disminuyendo, así, su coste operacional y mejorando su rentabilidad. Asimismo, la estrecha relación del sector con el mundo militar dio lugar a que, durante grandes acontecimientos bélicos como la Primera y Segunda Guerra Mundial y la Guerra Fría, se produjeran grandes progresos tecnológicos que en el futuro mejorarían de forma extraordinaria la eficiencia de este medio de transporte.

De esta manera, disminuyeron los precios y la aviación comercial fue cada vez más accesible para las personas, popularizando el sector y mejorando su rentabilidad.

Actualmente, la aviación conecta de forma directa a más de 22.000 ciudades en todos los países del mundo y el número de pasajeros por año aumenta prácticamente de forma exponencial con el paso del tiempo, tal y como se muestra en la *ilustración 1*. Entre otras cosas, este desorbitado crecimiento en los últimos años se debe, principalmente, a la aparición y al desarrollo de las aerolíneas *low-cost*, que, en la actualidad, superan al sector de transporte regular, según los últimos informes de IATA.

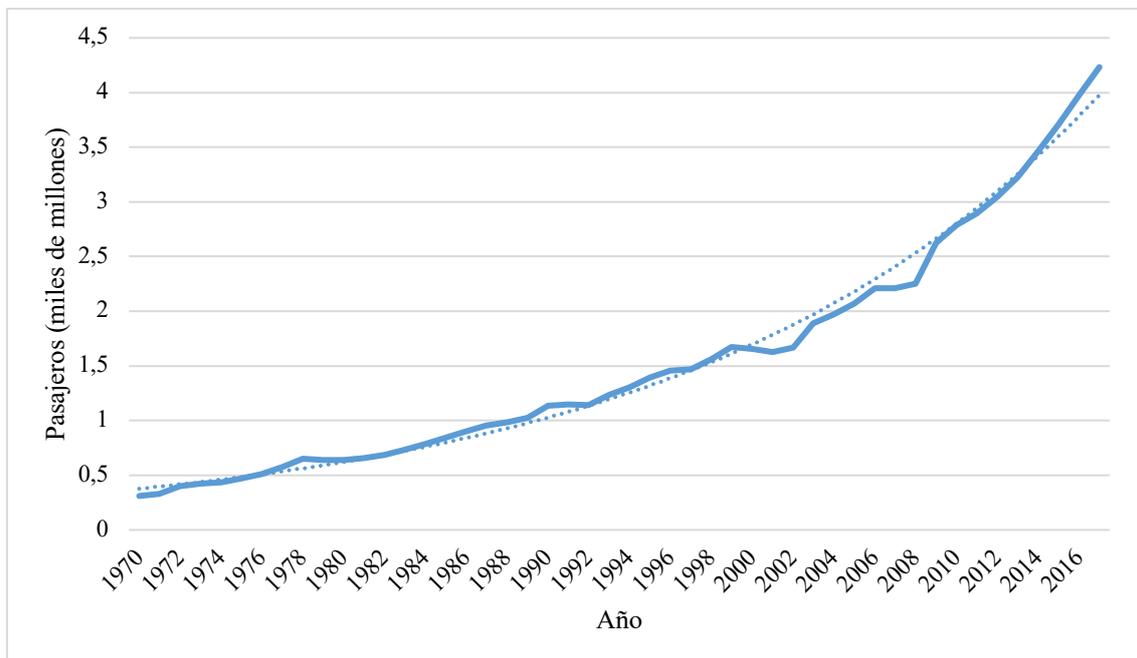


Ilustración 1: Evolución del número de pasajeros transportados a nivel global [Organización de Aviación Civil Internacional, (2019)]

Del mismo modo, la evolución del transporte aéreo también ha supuesto una gran mejora en el transporte de mercancías a nivel global (*ilustración 2*), conectando prácticamente todos los países del mundo y trasladando productos casi de cualquier tipo de manera rápida y eficiente, lo que ha contribuido enormemente a la globalización del planeta.

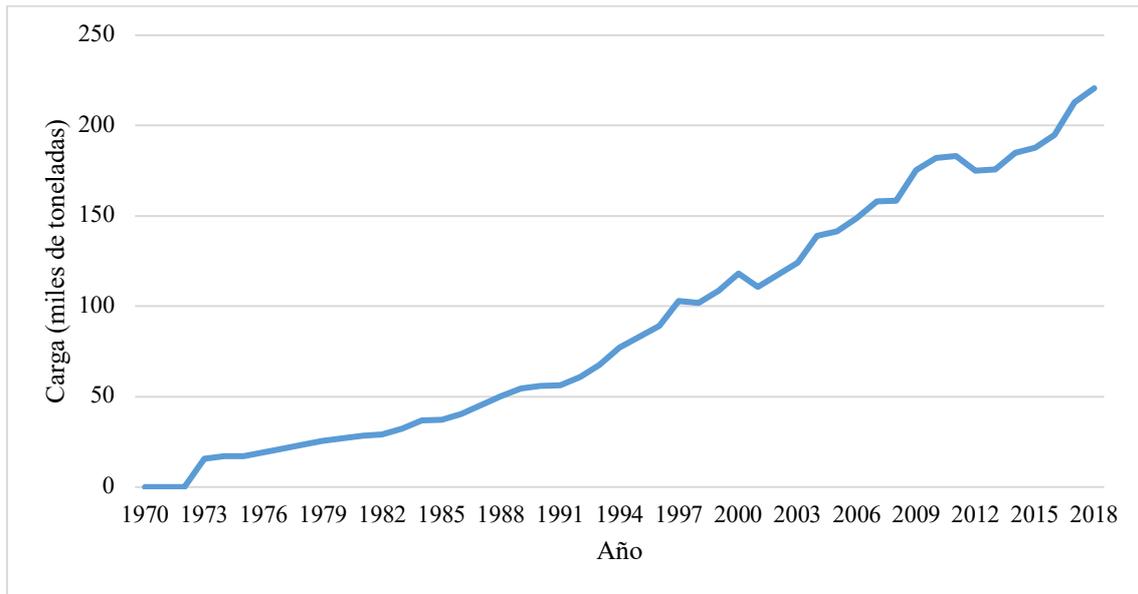


Ilustración 2: Evolución del transporte de carga a nivel global [Organización de Aviación Civil Internacional, (2019)]

II.II. Gestión actual del tráfico europeo

Según los últimos informes de IATA, en 2018 Europa se situó en el segundo puesto de ranking mundial de pasajeros por regiones, con una cuota de mercado del 26'2% y 1.100 millones de pasajeros regulares transportados, un 6'6% más que en 2017. Siendo Europa una región con una superficie tan pequeña en comparación con otras regiones con menos tráfico aéreo, ¿cómo es posible gestionar tal cantidad de flujo de aeronaves?



Ilustración 3: Tráfico aéreo mundial el día 26 de junio de 2018

En la actualidad, EUROCONTROL es la Organización Europea para la Seguridad de la Navegación Aérea y una de sus principales actividades consiste en gestionar el flujo de tráfico de

la red ATM europea, colaborando con los proveedores de los servicios de la navegación aérea, los usuarios del espacio aéreo, el sector militar y los aeropuertos.

No obstante, la gestión del tránsito aéreo corresponde a cada estado, por lo que el espacio está fragmentado en multitud de sectores y centros de control de área (*ilustración 4*) en función de las fronteras nacionales. Esto obliga a las aerolíneas a “volar en zig-zag”, en lugar de poder establecer conexiones directas; recorriendo de media unos 42 km innecesarios [IATA, (2020)]. Las consecuencias de esto son el desperdicio de combustible, aumentando, así, las emisiones de CO₂; y la congestión de zonas en las que el flujo aéreo es muy denso, provocando retrasos. Es decir, dicha fragmentación perjudica la capacidad y la rentabilidad del sector, suponiendo pérdidas de hasta 1.400 millones de euros anuales [Eurocontrol, (2017)].

La decisión de las aerolíneas de realizar “vuelos en zig-zag” en lugar de en “línea recta” depende principalmente de las tarifas unitarias en ruta de cada país. Las tasas en ruta son una remuneración de los costes incurridos en concepto de las instalaciones y servicios de navegación aérea en ruta [Eurocontrol, 2020]. Esta depende de la distancia recorrida y varía considerablemente según el país (*ilustración 5*). Esto da lugar a que, en diversas ocasiones, las compañías aéreas se decanten por rutas más baratas en términos de servicios de navegación en lugar de rutas más cortas. Asimismo, también se pueden dar estas desviaciones por condiciones climáticas o por restricciones del espacio aéreo debido a operaciones militares.

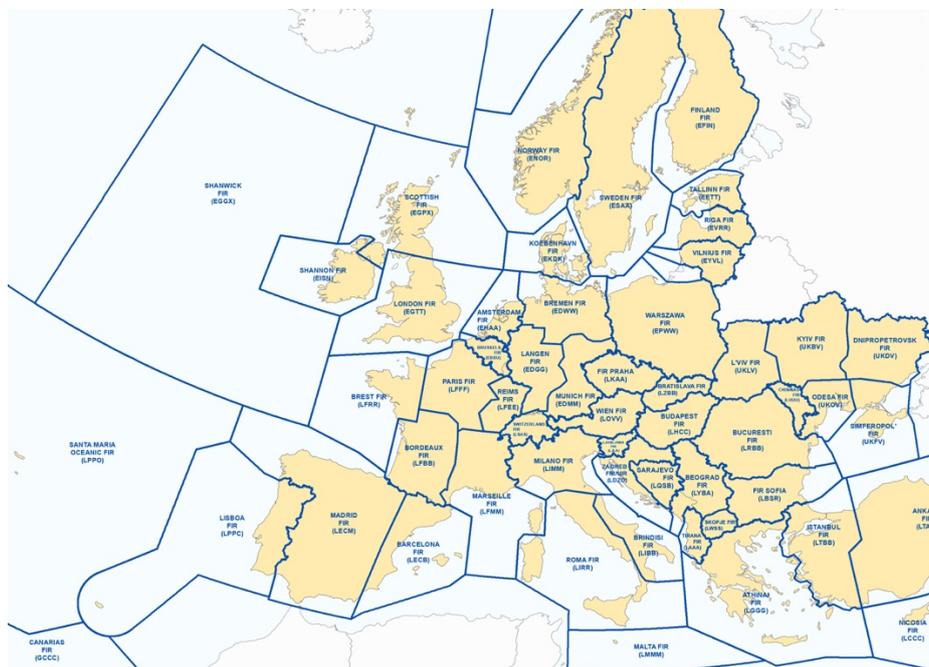


Ilustración 4: Fragmentación del espacio aéreo europeo [Eurocontrol]

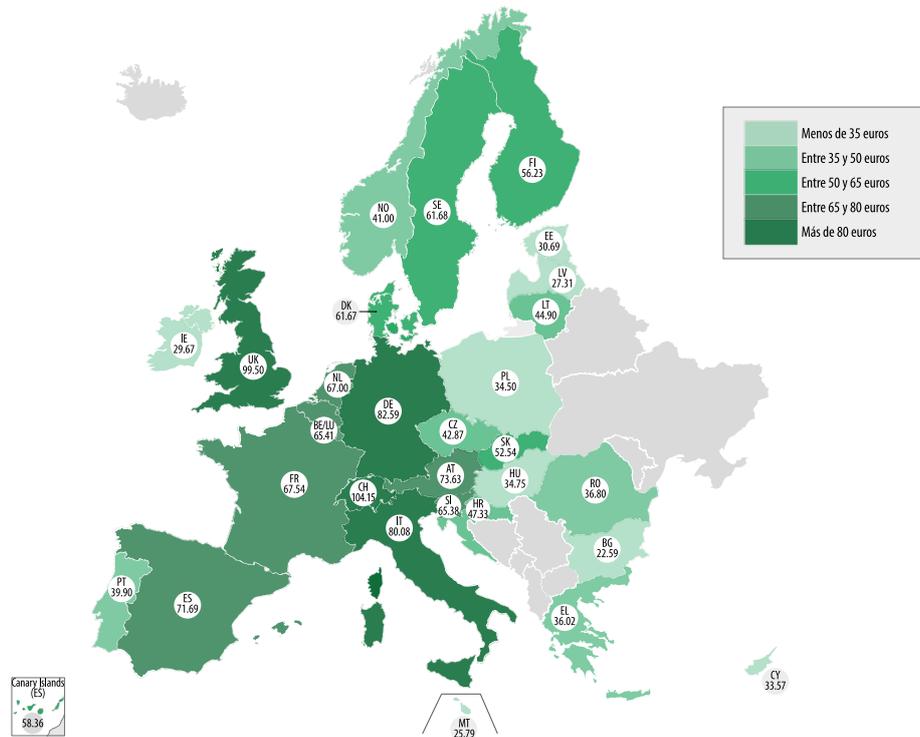


Ilustración 5: Tarifas unitarias en ruta en distintos Estados de la UE [Servicio Central de Tarifas de Ruta de Eurocontrol (2020)]

La consecuencia de esta fragmentación es que se ha llegado a considerar que el espacio aéreo europeo se trata de uno “de los más ineficientes del mundo” en consumo y vertidos de CO₂ (ilustración 6) y en retrasos (ilustración 7).

Esto contrasta con la realidad en otras regiones como Estados Unidos donde se operan unos 41.874 vuelos diarios (28.475 en la Unión Europea) con un único proveedor de servicios de navegación aérea (37 en la UE) y 12.170 controladores aéreos (17.794 en la UE) y donde el tráfico aéreo es mucho más eficiente, con menos retrasos, menos emisiones y menos pérdidas económicas [Eurocontrol, (2017)].



Ilustración 6: Media de exceso de emisiones de CO₂ por fase de vuelo en Europa [European Environment Agency, European Union Aviation Safety Agency, Eurocontrol, (2019)]

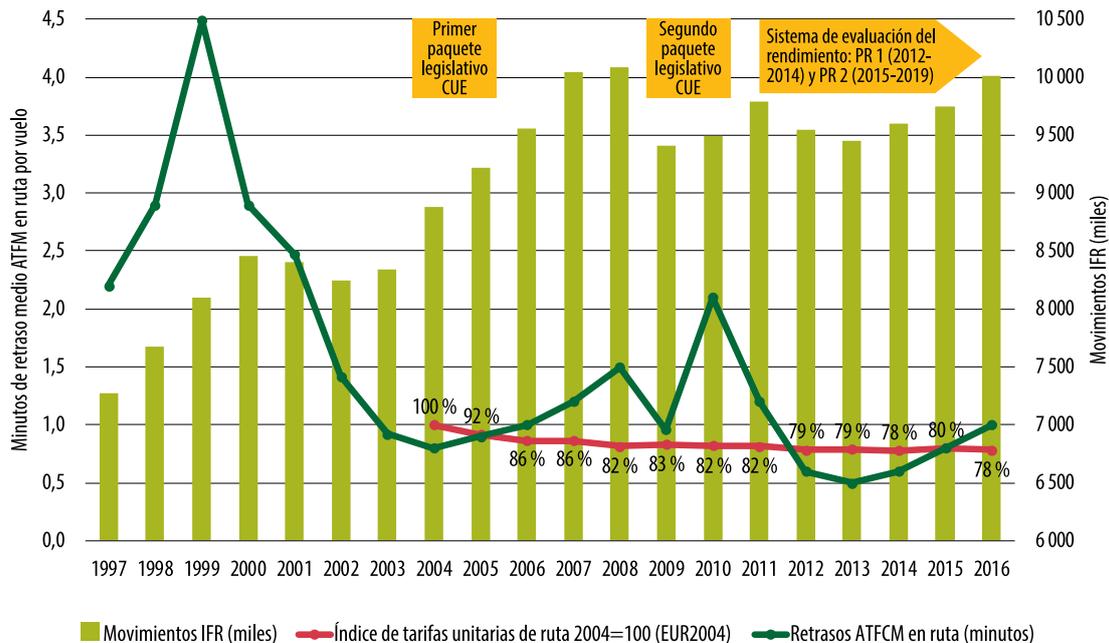


Ilustración 7: Tendencias de tránsito, tarifas unitarias y retrasos en ruta [Tribunal de Cuentas Europeo, (2017)]

II.II. Cambio climático y transporte aéreo

Se conoce como cambio climático a cualquier alteración en las medidas del clima durante un período de tiempo extendido. Este fenómeno está provocado parcial o totalmente con la actividad humana e incluye variaciones, entre otras cosas, en las precipitaciones, los patrones de viento y la temperatura, siendo esta última conocida como calentamiento global.

Tal y como se ha indicado, todas estas variaciones son producto de la acción humana sobre el planeta. Particularmente, provocados por el aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEIs) relacionadas sobre todo con el uso de combustibles fósiles y la deforestación. Esto da lugar a que la mayor parte de los transportes estén estrechamente vinculados con esta problemática, y los medios aéreos no son una excepción.

Una vez entendida la diferencia entre cambio climático y calentamiento global, términos que ocasionalmente son confundidos, cabe destacar que de ahora en adelante únicamente se tratará este último. De esta manera, se procederá a realizar una breve explicación de la relación entre la emisión de GEIs y el transporte aéreo con el calentamiento global para poder comprender las soluciones propuestas en este proyecto para mitigar esta problemática.

II.II.I. Gases de efecto invernadero y calentamiento global

La temperatura media global de un planeta viene determinada en función de su distancia respecto al Sol, su masa y de la composición de la atmósfera de este. Si no fuera por la atmósfera terrestre, la temperatura de la Tierra sería de aproximadamente -18°C según las estimaciones científicas realizadas. No obstante, la presencia de CO_2 , de vapor de agua, metano (CH_4) y otros gases minoritarios dan lugar al efecto invernadero natural, haciendo que la temperatura media del planeta ascienda hasta los 15°C aproximadamente.

El efecto invernadero es un proceso natural que comienza con la radiación solar de alta energía (con longitudes de onda muy pequeñas) que llega a la atmósfera terrestre. Esta refleja el 30% de la radiación y absorbe aproximadamente el 20% de esta energía. El 50% restante llega a la superficie terrestre que, tras calentarse, emite radiación de longitud de onda mucho mayor, concretamente en rayos infrarrojos. La presencia de gases de efecto invernadero, especialmente

CO₂ y vapor de agua, permite la absorción de este tipo de radiación, provocando la elevación de la temperatura media de la atmósfera (*ilustración 8*).



Ilustración 8: Efecto invernadero natural

Este fenómeno es, tal y como se ha indicado, completamente natural y ha permitido el origen y el desarrollo de la vida en la Tierra. No obstante, la problemática comienza con el aumento de la emisión de GEIs en los últimos años provocando una mayor concentración de estos en la atmósfera y, por consiguiente, una intensificación del efecto invernadero. Tal y como se puede apreciar en la *ilustración 9*, el incremento de la emisión de estos gases está estrechamente relacionado con el aumento de la temperatura media global, llegando a diferencias de hasta 0'6°C en los últimos años.

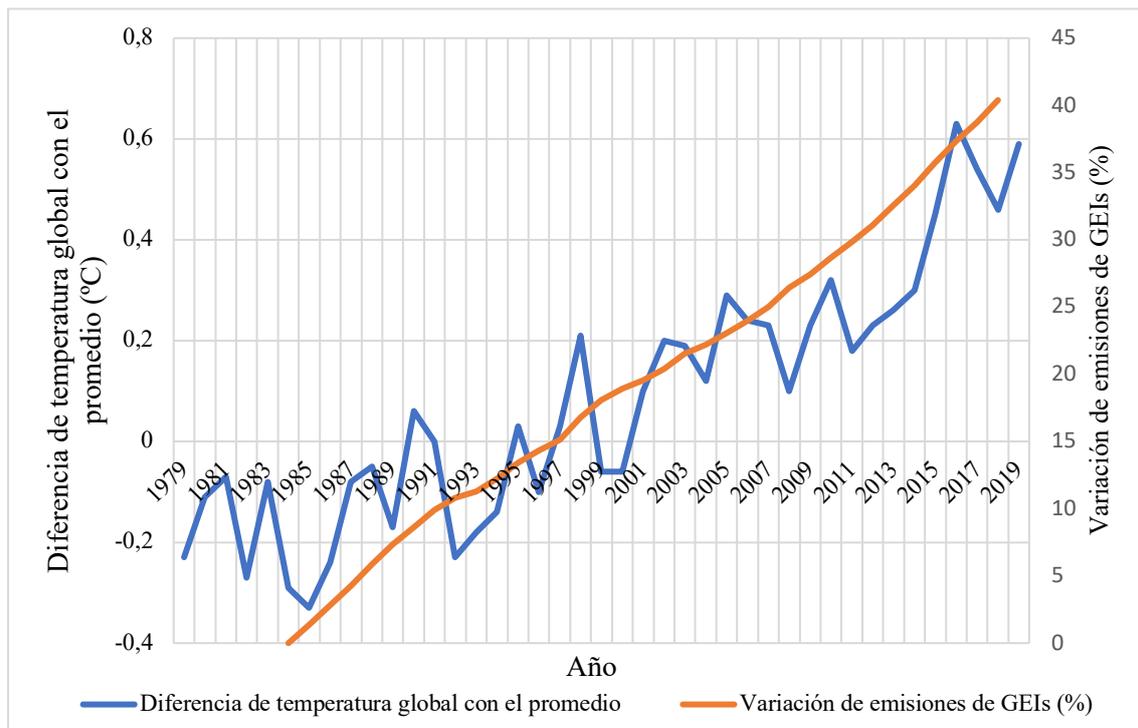


Ilustración 9: Diferencia de la temperatura media global con el promedio en °C y aumento de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero en relación al paso de los años [National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) y Organización Meteorológica Mundial (OMM), (2019)]

La consecuencia directa de este aumento gradual de la temperatura es el calentamiento global, uno de los principales factores del cambio climático. Esto provocaría el deshielo de los glaciares, sequías, pérdida de ecosistemas y, por tanto, extinción de especies, incremento de desastres naturales y consecuencias para la salud de los humanos, entre otras.

II.II.II. Emisiones del transporte aéreo

Este aumento drástico de las perturbaciones climáticas ha dado lugar a que gran parte de la comunidad científica se enfoque en la búsqueda de los causantes y de posibles soluciones a esta problemática. De esta manera, el uso de combustibles fósiles y el crecimiento de los desplazamientos ha colocado al sector del transporte en el punto de mira, resultando ser el causante del 14'3% de las emisiones globales, ya sea de forma directa o indirecta (*ilustración 10*).

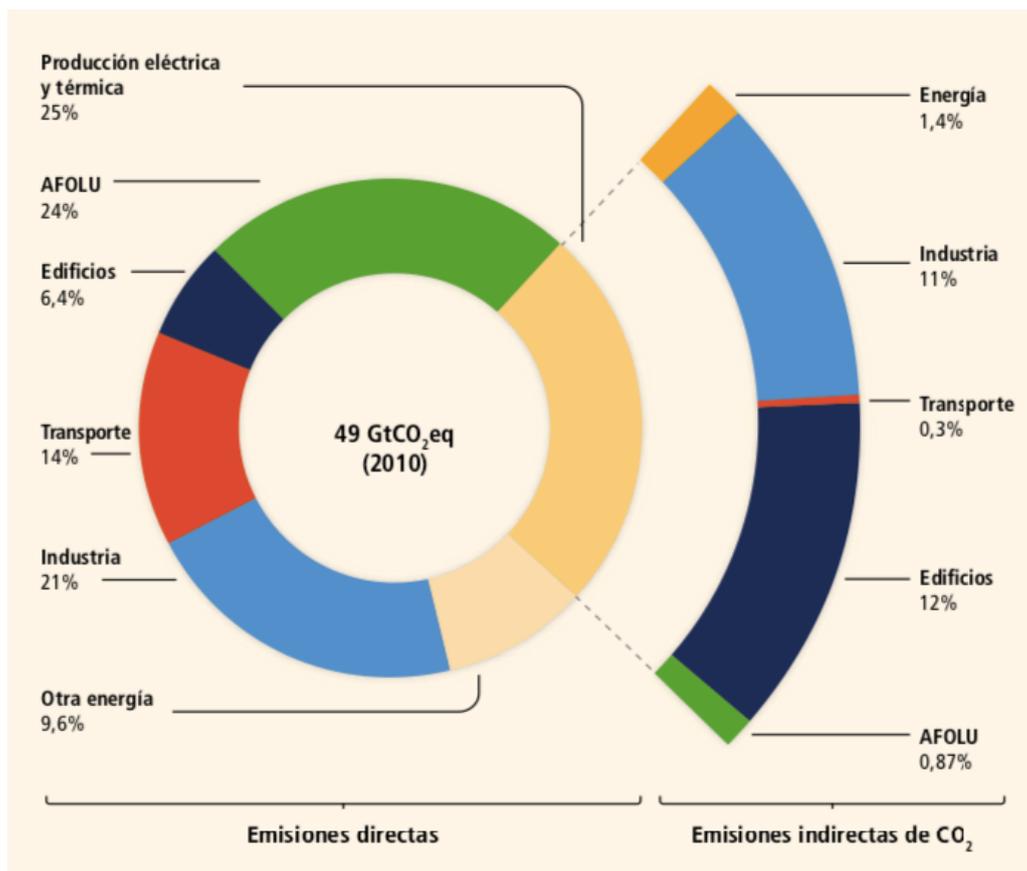


Ilustración 10: Emisiones de gases de efecto invernadero por sector económico [Intergovernmental Panel on Climate Change, (2014)]

Dentro de este porcentaje, la aviación comercial es responsable de aproximadamente un 10-11% de las emisiones totales, tal y como se muestra en la *ilustración 11*. Aunque no sea una de las cifras más altas, es un sector muy criticado y situado en el punto de mira debido a que se trata de uno de los transportes con más emisiones por pasajero, casi triplicando las cifras de CO₂ emitidas por los automóviles (*ilustración 12*). Siendo esto así, ¿cómo es posible que su contribución al calentamiento global sea mucho menor? Principalmente se debe a que, a pesar de la gran expansión del transporte aéreo en los últimos años, sigue siendo un medio de transporte mucho menos extendido que el de carretera (automóviles, camiones, furgonetas...), ya sea por limitaciones tecnológicas o logísticas o por su inaccesibilidad (se estima que menos del 10% de la población mundial ha cogido alguna vez un avión [Stay grounded, (2020)]).

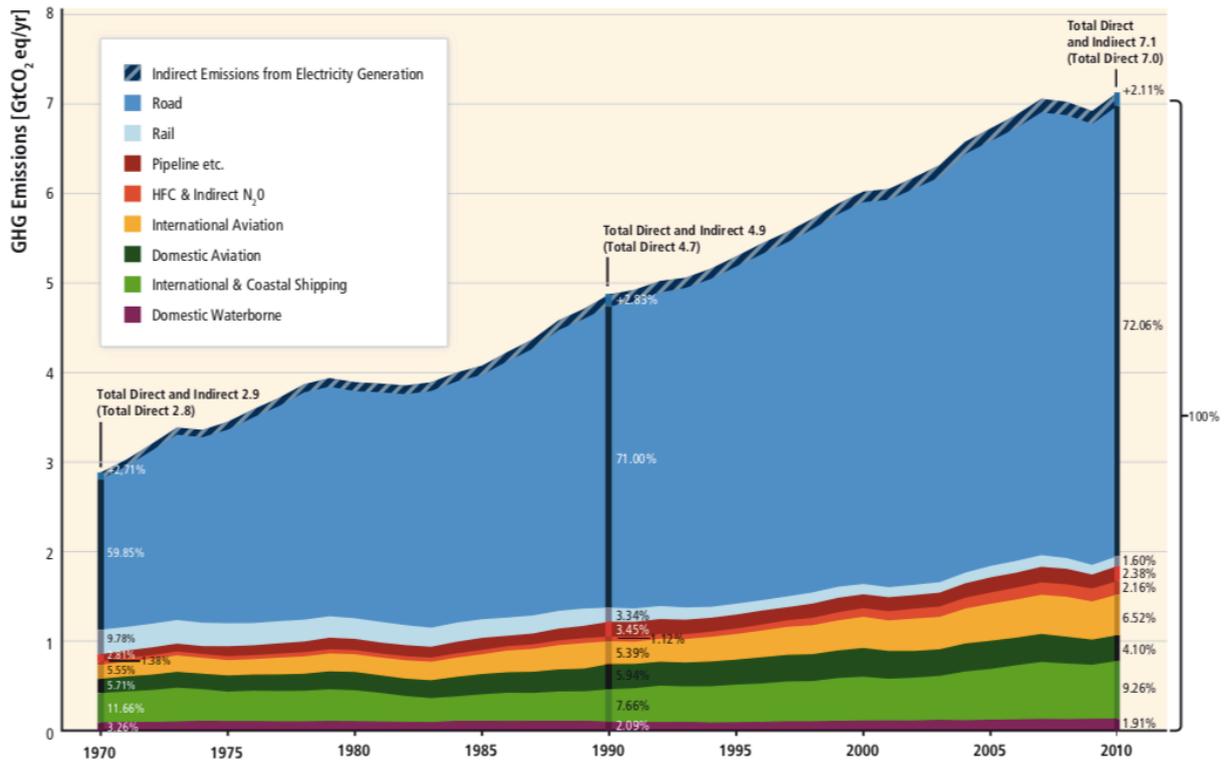


Ilustración 11: Emisiones de Gases de Efecto Invernadero globales por sector de transporte [Intergovernmental Panel on Climate Change, (2013)]

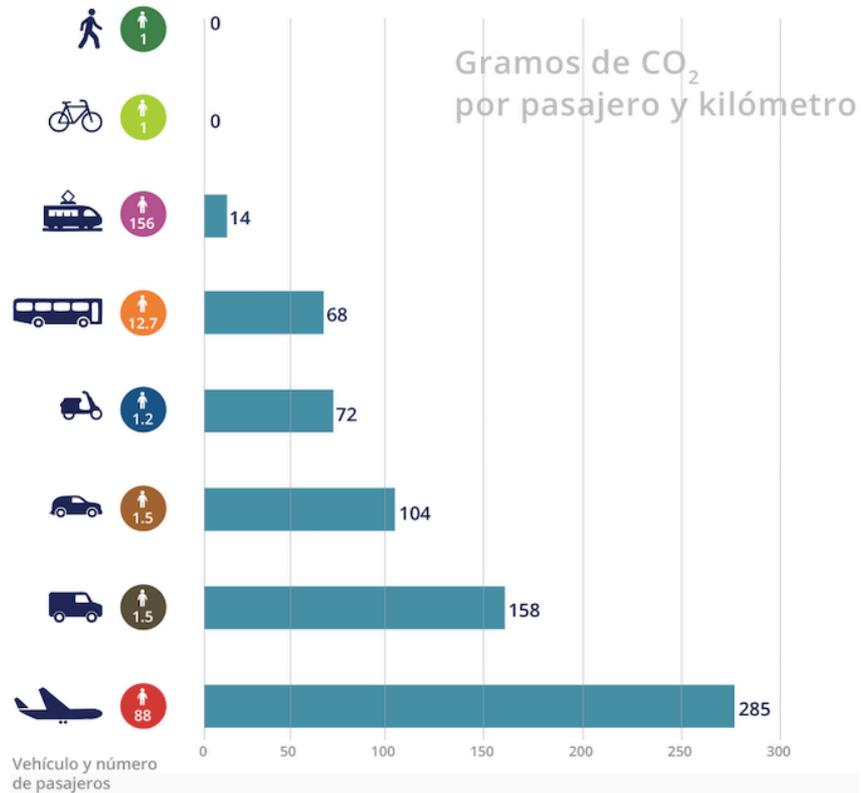


Ilustración 12: Emisiones de CO₂ por pasajero y por kilómetro recorrido en cada sector del transporte [European Environment Agency, (2013)]



La emisión de estos gases que alteran la composición de la atmósfera intensificando la problemática se debe principalmente a los gases de escape del sistema propulsivo del avión. Los tipos de motor más utilizados en aviación son los motores de turbina de gas, cuya generación de energía mecánica se obtiene a partir de la energía térmica aportada al fluido (el aire) a través de un proceso de combustión realizado de manera continua. Este último tiene lugar gracias a la mezcla del aire (cuya velocidad se ha disminuido previamente) y de queroseno, un líquido inflamable obtenido a partir de la destilación del petróleo natural. De esta manera, se consigue que los gases de escape, producto de dicha combustión, provoquen movimiento en la turbina y, posteriormente, sean expulsados al exterior.

La composición de estos gases de escape consta, mayormente, de oxígeno y nitrógeno atmosféricos (91-92%). No obstante, gran parte del porcentaje restante es CO₂, el principal gas de efecto invernadero; seguido de vapor de agua, óxido nítrico (NO), dióxido de nitrógeno (NO₂) e hidrocarburos sin quemar. Asimismo, otro de los agravantes de este medio de transporte es la emisión de estos gases a grandes altitudes, provocando un efecto mucho más directo y dañino sobre la atmósfera. Lo que da lugar a que este incremento se muestre como un factor multiplicador.

II.III. Contaminación acústica

El ruido se define como “un sonido inarticulado, por lo general desagradable” (Real Academia Española). Este, en exceso, puede llegar a provocar alteraciones en las condiciones normales del medioambiente, lo que se denomina contaminación acústica.

La contaminación acústica se caracteriza por estar muy presente en el medio, especialmente urbano, ya que para producirla se requiere de muy poca energía. A pesar de esto, se distingue de otros tipos de contaminación por no dejar residuos, no tener efecto acumulativo en el medio y por ser difícil de cuantificar y medir. No obstante, es un tipo de polución con impactos considerables e incluso irreversibles sobre el medio natural, especialmente, sobre los animales y humanos.

En cuanto al impacto de la contaminación acústica en el ser humano, se caracteriza, principalmente, por originar diversos problemas de salud como malestar, trastornos del sueño, pérdida de atención, concentración y rendimiento, estrés y pérdidas de capacidad auditiva. Este último problema es considerado uno de los efectos más perjudiciales puesto que se trata de una lesión irreversible en el oído. La pérdida de audición depende de diversos factores como el tiempo de exposición, el espacio en el que se da (abierto o cerrado) y, sobre todo, la intensidad del ruido (dB), pudiendo producirse la perforación del tímpano a los 150dB (véase *tabla 1*)

Intensidad del ruido (dB)	Representación	Percepción
150	Perforación del tímpano	Intolerable
140	Cohete espacial (a corta distancia)	
130	Avión “jet” al despegar (25 metros)	
120	Pala mecánica	
110	“Jet” volando a 300 metros	
100	Metro a 50 km/h	Muy ruidoso
90	Avión de hélice volando a 300 metros	
80	Tránsito en autopista	
70	Sonido de la televisión	
60	Unidad de aire acondicionado a 70 metros	Poco ruido
50	Ambiente tranquilo	
40	Música de radio (tono bajo)	
30	Ambiente muy tranquilo	
20	Susurro en un bosque	Silencio
0-10	Apenas audible, umbral de audición	

Tabla 1: Ejemplos de niveles de ruido en dB [Rivas, J. y Ariza, H. (2007)]

Por otro lado, en relación a los efectos de la contaminación acústica sobre la fauna, cabe destacar que según el lugar en el que se de este tipo de polución, puede afectar prácticamente a todos los tipos de animales, independientemente de su hábitat o sus características. Es decir, si se produce una exposición continua de ruido en una zona con fauna marina, este alterará la naturaleza de, por ejemplo, cetáceos, peces o anfibios. De la misma manera que si dicha exposición tuviera lugar en un área aero-terrestre afectaría a mamíferos, aves, reptiles, etc. Sin embargo, la problemática en los animales es mucho mayor que en los humanos. Su sentido del oído es necesario para la supervivencia, ya que de ello depende su orientación y localización, su comunicación con el resto de su especie e incluso su alimentación o reproducción. Así, la pérdida de capacidad auditiva en ellos podría derivar en su muerte e incluso, si se trata de un grupo significativo, en la extinción.

II.III.I. El ruido y el transporte aéreo

Uno de los grandes generadores de ruido en el mundo actual es, tal y como se muestra en la *tabla 1*, ya comentada en el apartado anterior, el transporte aéreo.

El origen del ruido en las operaciones de las aeronaves proviene, en mayor medida, del generado por los motores. Este se debe al ruido del chorro de gases de escape, aunque en el ventilador también se puede llegar a producir una cantidad de ruido considerable. Además, cabe destacar que, a mayor velocidad del chorro, mayor generación de ruido, por lo que, en las operaciones de despegue y aterrizaje, las que más potencia de los motores requieren, es cuando más ruido se origina.

Por otra parte, también se genera ruido aerodinámico. Este es el producido por el flujo de aire contra el fuselaje del avión. No obstante, en la actualidad, se ve enmascarado por el ruido generado por los propulsores en las operaciones de despegue y aterrizaje.

En definitiva, la generación de ruido depende estrechamente del tipo de aeronave que esté realizando las operaciones, dado que es resultado tanto del tipo de motor utilizado como de la propia configuración del fuselaje.



Tal y como se ha nombrado, el principal foco de contaminación acústica se da en las operaciones de despegue y aterrizaje, así, la problemática tiene lugar en los sitios donde estas son constantes, los aeropuertos. En consecuencia, se generan alteraciones en el medio natural que rodea a la infraestructura y, además, tras el crecimiento de los núcleos poblacionales, alteraciones en las personas con domicilios cercanos.

A partir de este impacto y de las diversas quejas, la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) requiere la certificación acústica de los aviones antes de concederles el certificado de tipo que indique la aeronavegabilidad del diseño. La exigencia de las medidas para obtener dicho certificado aumenta a medida que se producen mejoras tecnológicas o estratégicas que reducen la producción de contaminación acústica para asegurar el progreso constante.

II.IV. Soluciones

Actualmente, el sector aéreo se encuentra en constante búsqueda de soluciones para reducir el impacto que crean las operaciones con aeronaves en el medio ambiente, ya sea por compromiso con el medio, presión de las instituciones gubernamentales o por motivos económicos. De esta manera se ha llegado a tener muchísima variedad de propuestas de mejora con el objetivo de llegar a implementarlas con los años.

Cada una de dichas propuestas se enfoca en un sector diferente y hace énfasis en diversas formas de reducir el impacto. Así, se podrían clasificar las más destacables en tres grandes grupos: soluciones administrativas y legislativas, operacionales y estructurales y tecnológicas. A continuación, se muestran algunos ejemplos de cada uno de estos grupos:

- Administrativas y legislativas:
 - Prohibición de modelos que no cumplan ciertos límites en relación al ruido
 - Sistema de tasas (ruido certificado con respecto a los niveles de certificación, cuánto más margen, menos tasas)
 - Establecer categorías de niveles de ruido
 - Colocación de micrófonos en puntos estratégicos con un nivel máximo de ruido cuya superación implica multas e incluso prohibiciones
 - Cumplimentación anual de una huella de impacto acústico global
 - Tasas verdes: impuestos por emisiones de gases que contribuyen al calentamiento global
 - Limitaciones en las emisiones de GEIs cuyo incumplimiento derivaría en multas
 - Proyectos internacionales (*Clean sky*)
- Operacionales:
 - Diseño de trayectorias y procedimientos que disminuyan en número de personas perjudicadas por el ruido
 - Diseño de trayectorias más eficientes para disminuir el consumo de combustible
 - Aproximación en descenso continuo
 - Restricción de operaciones
 - Reducción de la velocidad
 - Cielo único europeo
- Estructurales y tecnológicas:
 - Nuevos sistemas de propulsión
 - Mejoras en la estructura (en el fuselaje, la cabina, el ala, la cola...)
 - Disminución del peso
 - Nuevos motores más eficientes: *Sustainable and Green Engine (SAGE)*
 - Mejora del sistema eléctrico y electrónico
 - Mantenimiento de las aeronaves
 - La transición al uso de biocombustibles y de energías renovables (energía solar)



Bloque III. – Cielo Único Europeo

Ante la problemática ocasionada por el sector aéreo en un mundo en el que cada vez es más importante el impacto medioambiental provocado por la actividad humana y, ante la ineficiencia de la gestión del tráfico aéreo en la Unión Europea; a continuación, se expone en profundidad una propuesta de gran relevancia que se ha comenzado a implantar en los últimos años conocida como el Cielo Único Europeo (CUE) o *Single European Sky* (SES). Asimismo, a esta se le añadirán dos posibles mejoras con el objetivo de reducir la huella ecológica del sector de manera mucho más significativa.

III.I. Principios básicos

El CUE fue una medida impulsada por la Unión Europea ante los desafortunados datos de la gestión del tráfico aéreo en esta región. Con esta se busca desarrollar un modelo de transporte innovador, eficaz, seguro y, principalmente, común a todos los países integrantes para facilitar el tránsito libre tanto de personas como de mercancías.

La principal manera de llevar esto a cabo es la desfragmentación del cielo en Europa para reorganizar el espacio de forma más racional a partir de la introducción de mejoras en la capacidad de tránsito de manera conjunta, evitando emisiones, retrasos y pérdidas económicas.

Así, se definen cinco objetivos internacionales con respecto a diferentes ámbitos (social, competitividad, medioambiente, seguridad y educación) [Comisión Europea, (2020)]:

- Considerar las necesidades del mercado y de los pasajeros, ofreciendo nuevas opciones, más accesibles, rápidas y eficientes.
- Mantener y extender el mercado mediante innovaciones, mejorando la competitividad.
- Reducciones de las emisiones de CO₂ y de la huella ecológica de la aviación en Europa optimizando la eficiencia de los viajes e implementando mejoras tecnológicas.
- Mantener y mejorar la seguridad.
- Priorizar la investigación y la educación con la finalidad de obtener nuevas tecnologías desarrolladas por profesionales.

Para alcanzar estos objetivos, la Unión Europea ha instaurado una nueva estrategia de aviación que sea capaz de estar en continua evolución, en la que los pilares de esta iniciativa son Eurocontrol y, en el ámbito tecnológico, la Empresa Común SESAR.

III.I.I. Single European Sky ATM Research (SESAR)

La Empresa Común SESAR o *SESAR Joint Undertaking* (SESAR JU) se trata del mecanismo desarrollado en 2007 cuyo objetivo es la puesta en marcha del proyecto CUE a partir de la implementación de novedosas tecnologías. Por tanto, esta organización se encarga de coordinar las investigaciones y nuevas propuestas relacionadas con la actualización de la gestión del tráfico aéreo; siendo esto posible gracias a la participación de más de 3.000 expertos de los diferentes países europeos.

La idea fundamental de SESAR consiste en el incremento gradual e ininterrumpido del soporte automatizado, tanto para implementar tecnologías de virtualización como para mejorar los sistemas operativos ya existentes, entre otras cosas. De esta manera, la evolución de estas infraestructuras derivaría en la eliminación de las fronteras nacionales, puesto que permitiría a los proveedores de navegación aérea conectar sus operaciones de manera sencilla y eficaz donde fuera necesario.

Para llevar a cabo esta idea, es necesario tener un programa de trabajo que permita la innovación constante. De esta manera, se impulsó el surgimiento del círculo de innovación SESAR como apoyo a la estrategia de aviación de la Unión Europea. Este reúne tanto los recursos como la experiencia de los integrantes de la organización de forma coordinada para definir, desarrollar e implementar soluciones para cumplir con los objetivos propuestos por la Comisión Europea (*ilustración 13*).



Ilustración 13: Círculo de la innovación de SESAR

III.II. Medidas a implementar y fases

Tal y como se ha comentado anteriormente, los organismos encargados de conseguir que el Cielo Único Europeo sea una realidad son tanto Eurocontrol como SESAR. Ambos trabajan de forma conjunta y coordinada. No obstante, las medidas a implementar por cada uno de ellos y sus respectivas fases son ligeramente diferentes a pesar de que el objetivo final sea el mismo: la mejora de la eficacia del tránsito aéreo europeo.

Por una parte, SESAR es el pilar tecnológico del proyecto (mencionado en el apartado III.I.I), por lo tanto, su implementación se basa en el desarrollo y la puesta en marcha de nuevas tecnologías en todas y cada una de las fases de vuelo que den lugar a la desfragmentación del espacio aéreo. Entre ellas se destacan las siguientes:

- Mejoras en la automatización de los servicios de gestión del flujo de tráfico aéreo apoyado en un servicio de datos común, optimizando el uso de recursos y respondiendo a las demandas con fluidez y eficiencia.
- Avances en la configuración aerodinámica de los aviones incrementando su eficiencia y mejoras en los sistemas propulsivos, llegando a plantear el uso de híbridos de combustibles fósiles con energía solar en el futuro.
- Desarrollar las tecnologías y las infraestructuras de los aeropuertos para optimizar al máximo su capacidad independientemente de las condiciones climáticas.
- Incentivar la evolución de los vuelos no tripulados e introducir áreas que permitan su vuelo para el transporte de mercancías.
- Mejoras en los sistemas de navegación.
- Incrementar la interoperabilidad global y promover la colaboración entre países.
- Optimizar y mejorar las medidas de seguridad.

Con el objetivo de implementar todas estas medidas, la organización ha establecido como límite 2040 para poder hacer frente al incremento del tráfico aéreo. Para ello, se establecen cuatro fases, A, B, C y D (tabla 2 e ilustración 14).

Fase A	Fase B (actual)	Fase C	Fase D
Establecer cuáles son las deficiencias del sistema y ofrecer soluciones de carácter colaborativo entre todos los integrantes del proyecto.	Comenzar a mejorar la eficiencia de los servicios y las infraestructuras integrando las primeras mejoras tecnológicas.	Desfragmentación del cielo europeo con ayuda de la virtualización y la gestión dinámica del espacio aéreo. Asimismo, introducción de niveles más altos de soporte de automatización.	Llegar al cielo europeo digital a través de un sistema totalmente digital con grandes niveles de automatización y conectividad.

Tabla 2: Fases establecidas por SESAR para alcanzar los objetivos del Cielo Único Europeo

FOUR-PHASE APPROACH TO IMPROVEMENTS

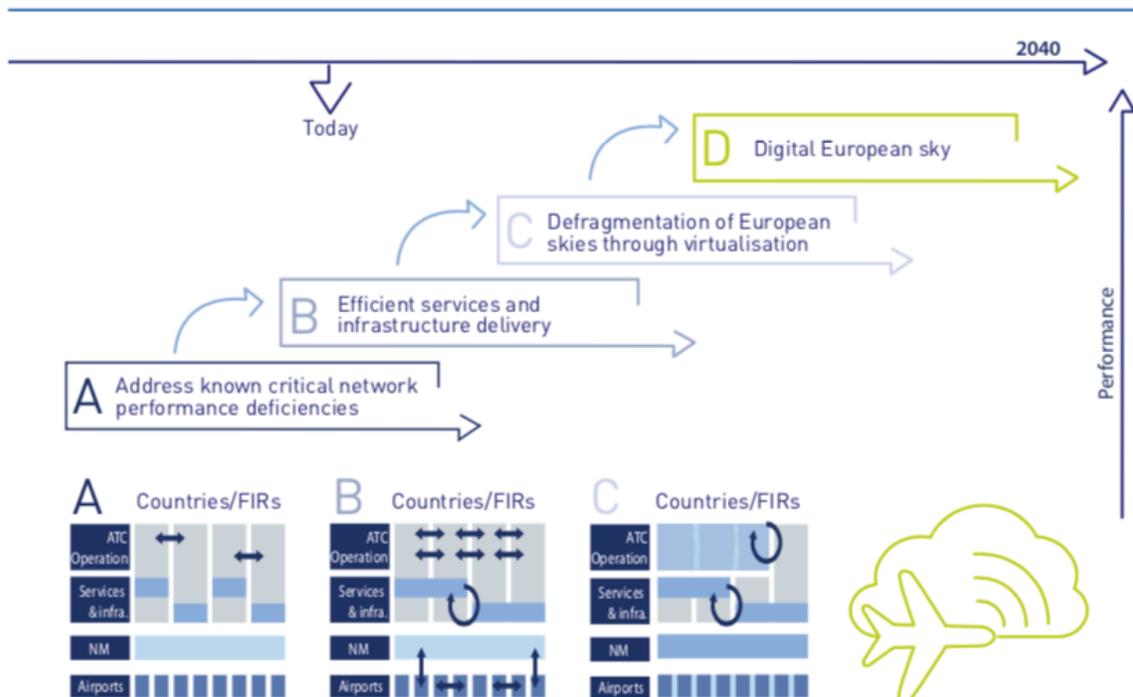


Ilustración 14: Fases establecidas por SESAR para alcanzar los objetivos del Cielo Único Europeo

Por otro lado, Eurocontrol se hace cargo de la gestión del flujo de tráfico en Europa, tal y como se ha comentado anteriormente, por lo tanto, en este proyecto, su intervención es necesaria con objeto de identificar las deficiencias de la red ATM europea y promover mejoras significativas en esta. Es evidente que su objetivo final es la eliminación de las fronteras nacionales en el espacio aéreo para alcanzar la realidad del Cielo Único Europeo, pero esto es necesario implementarlo de forma gradual, por lo que en 2004 se propuso la definición de un nuevo concepto, los FABs (*Functional Airspace Blocks*).

Los FABs fueron creados como respuesta a la fragmentación europea y estos son regiones transfronterizas del espacio aéreo operacional cuyo objetivo es la cooperación entre los distintos

proveedores de servicios de navegación aérea para optimizar gestión y utilización del espacio. Actualmente existen 9 FABs declarados por la comisión Europea (*ilustración 15*). Estos se definen teniendo en cuenta diversos criterios como los flujos de tráfico, la fluidez y flexibilidad para transferir las responsabilidades de control y la compatibilidad de las configuraciones del espacio aéreo superior e inferior, entre otros.

No obstante, la implementación está siendo muy lenta en la mayoría de ellos, lo que ha generado aún más deficiencias en el sistema de gestión del tráfico aéreo europeo, provocando costes adicionales de hasta 5 billones de euros cada año [Comisión Europea, (2020)], además, de emisiones y retrasos en los vuelos.

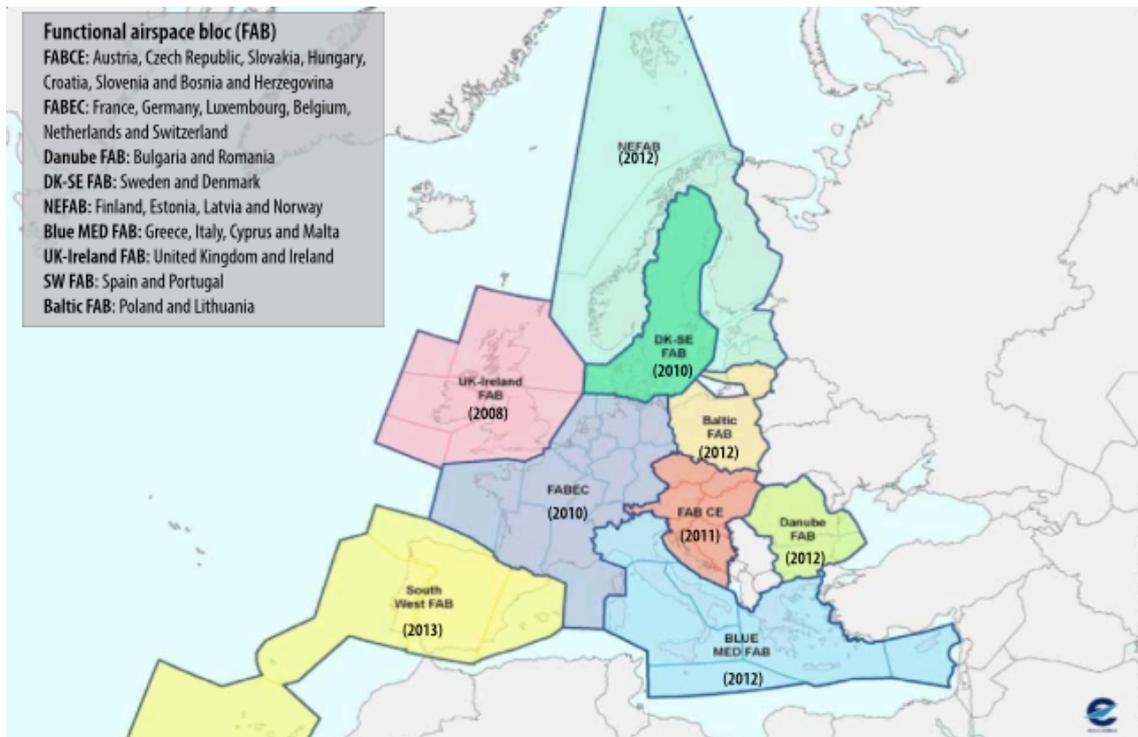


Ilustración 15: Functional Airspace Blocks definidos en Europa

Para llevar a efecto esta medida se establecieron tres períodos de referencia (RP1, RP2 Y RP3). De esta manera, se establecen objetivos en diferentes campos como seguridad o medio ambiente que deberían cumplirse para el final de cada período. El primero de ellos tuvo lugar entre los años 2012 y 2014 y el segundo desde 2015 hasta 2019. Sin embargo, aunque se ha adquirido cierta experiencia en cada uno de ellos y se han obtenido mejoras, en ninguno de los dos ciclos se alcanzaron los objetivos propuestos.

El tercer período de referencia tendrá lugar desde el año 2020 hasta el año 2024 y los nuevos objetivos han sido establecidos con respecto a los marcados para RP2 y sus correspondientes resultados. Todo esto se muestra en la *tabla 3*.

	Objetivos para RP2	Resultados en RP2 (2017)	Objetivos para RP3
Eficiencia media del vuelo horizontal (crucero) del último plan de vuelo archivado	De 3'70% a 3'90%	4'73%	3'90%
Eficiencia media de vuelo horizontal (crucero) de la trayectoria actual	De 2'20% a 2'40%	2'81%	2'40%
Media de retrasos en crucero	De 0'24 a 0'50 minutos	0'94 minutos	0'5 minutos
Coste unitario promedio (DUC) en ruta	De 42'25€ a 37'77€	46'38€	37'56€

Tabla 3: *Objetivos para RP3 en referencia con los objetivos y resultados obtenidos en RP2 [Performance Review Body of the Single European Sky, (2018)]*

Es evidente la lentitud del desarrollo del proyecto, lo que, como ya se ha comentado, provoca grandes pérdidas y hace aún más visible la ineficiencia del sistema aéreo europeo. Para los próximos años es necesaria una gran inversión que permita cumplir los objetivos propuestos para el año 2024. Asimismo, parece que simplemente la desfragmentación del cielo es una medida insuficiente para contribuir de forma real a la reducción de la huella ecológica en Europa; por lo que añadir algunas medidas complementarias como la reducción de la velocidad en los trayectos o las aproximaciones en descenso continuo, sería de gran ayuda.

III.III. Reducción de la velocidad

Una pequeña reducción en la velocidad de crucero en los trayectos conlleva enormes ahorros de combustible, disminuyendo, así, la emisión de gases de efecto invernadero a la atmósfera. Esta medida podría complementar de forma muy efectiva a la propuesta del Cielo Único Europeo, puesto que la reducción del tiempo de vuelo motivado por las rutas más directas podría impulsar pequeñas disminuciones de velocidad. Es decir, el tiempo de vuelo sería aproximadamente el mismo que con un cielo fragmentado, pero sin retrasos motivados por congestión del tráfico aéreo y con significativas disminuciones de emisiones de gases nocivos.

Para comprender mejor esta propuesta, se expondrá un ejemplo. En este, la situación a estudiar consiste en un vuelo con salida en el Aeropuerto Madrid – Barajas Adolfo Suárez (LEMD), Madrid, España, con destino al Aeropuerto de Varsovia – Chopin (EPWA) situado en Varsovia, Polonia. Para este trayecto, el modelo de avión empleado será un A320 con dos motores V2527 – A5 y una altitud de vuelo en crucero de 10.400m (aproximadamente 34.000 pies).

En primer lugar, cabe destacar que el consumo específico indica la eficiencia de un motor para transformar carburante en energía mecánica y se expresa como la cantidad de carburante que hay que consumir (en gramos) para obtener un determinado empuje en kiloNewtons (kN), durante un segundo (g/kNs). Este depende estrechamente del número de mach y por ello se puede observar como a medida que se disminuye el número de mach, disminuye el consumo específico, lo que aumenta la eficiencia y disminuye el consumo total. Para este tipo de aeronave esto se muestra en la *ilustración 16*.

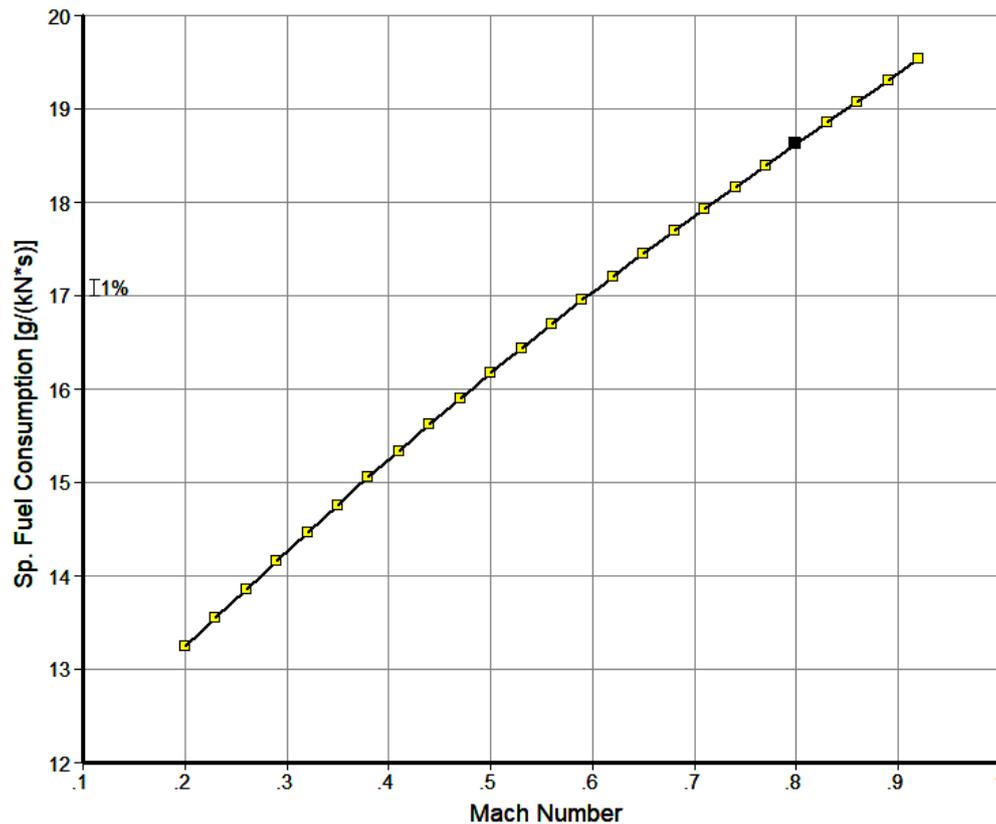


Ilustración 16: Consumo específico en función del número de Mach para para un modelo de motor V2527 – A5 [Obtenida a partir del software GasTurb]

Por un lado, se ha planteado una posible ruta para este vuelo en la que se mantiene el modelo de gestión del tráfico aéreo actual. Esta se expone en la *ilustración 17* y ha sido diseñada con ayuda de las herramientas proporcionadas por *SimBrief*. La distancia total recorrida es de 1358 NM (2515'02km) con una velocidad verdadera (TAS) de crucero de 450kts (231'5m/s) y mach 0'78. De esta manera, el trayecto tiene una duración estimada de 3 horas y 6 minutos (sin tener en cuenta que podría haber retrasos provocados por congestión en zonas donde el tráfico aéreo es muy denso, por ejemplo, Suiza). Así, se consumirían, de forma estimada, 5604'64kg de combustible.

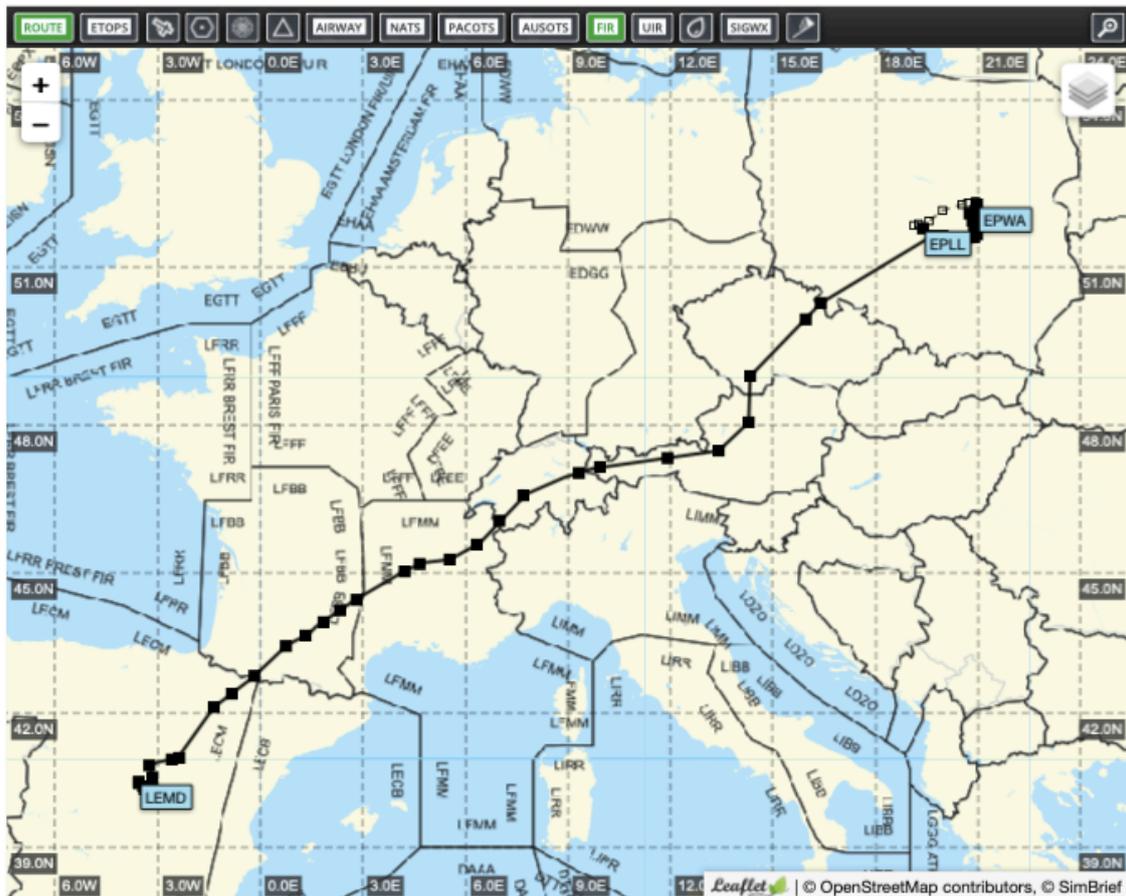


Ilustración 17: Ruta LEMD – EPWA propuesta con el modelo de fragmentación actual del cielo europeo

De forma contraria, si se hiciera una ruta directa (*ilustración 18*), la distancia a recorrer sería de 1211NM (2243km). Por lo tanto, con la misma velocidad se realizaría el trayecto en 2 horas y 55 minutos.

El planteamiento propuesto es realizar una reducción de velocidad en crucero con el objetivo de reducir el consumo de combustible y llegar al destino en el mismo tiempo que en la situación anterior (*ilustración 18*). Así, se ha determinado que la velocidad podría reducirse hasta un mach de 0,73, es decir, una velocidad verdadera de 420kts (216'07m/s), para que el tiempo en ejecutar la ruta sea de 3 horas y 6 minutos.

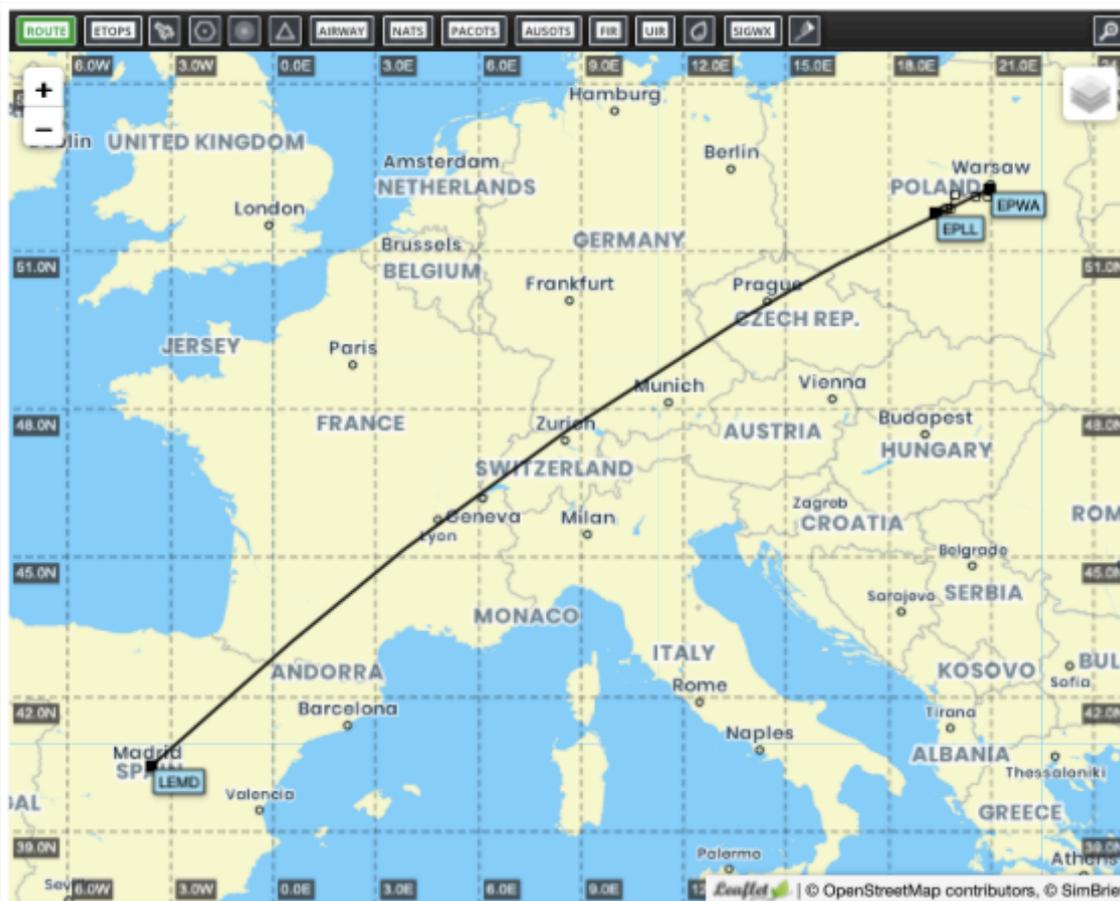


Ilustración 18: Ruta LEMD – EPWA propuesta con el modelo del Cielo Único Europeo

En la *tabla 4* se comparan los resultados del consumo de combustible en las tres situaciones [véanse anexos I, II, III y IV].

Ruta LEMD – EPWA	Modelo de fragmentación actual	Modelo del Cielo Único Europeo sin reducción de velocidad	Modelo del Cielo Único Europeo con reducción de velocidad
Duración del trayecto (minutos)	186	175	186
Altitud en crucero (ft)	34.000	34.000	34.000
TAS en crucero (kts)	450	450	420
Mach en crucero	0'78	0'78	0'73
Combustible consumido en crucero (kg)	5604'64	5424'33 (-3'22%)	5362'92 (-4'31%)
Gases emitidos en crucero (kg)	17654'62	17086'64 (-3'22%)	16893'20 (-4'31%)

Tabla 4: Resultados aproximados para la aplicación de la desfragmentación del cielo europeo y la reducción de velocidad en un vuelo LEMD – EPWA



En conclusión, tras haber estudiado, de forma aproximada, la emisión de gases en cada una de las tres situaciones, cabe destacar que la desfragmentación del espacio aéreo europeo es una medida muy efectiva, pero insuficiente. No obstante, si esta se complementa con reducciones de velocidad en crucero se alcanzan mejoras del orden de hasta 1% más.

III.IV. Aproximación en descenso continuo

Asimismo, la implantación de nuevos métodos y nuevas tecnologías en los aeropuertos europeos también contribuiría a reducir considerablemente el impacto medioambiental creado por este sector del transporte, como, por ejemplo, la aproximación en descenso continuo (CDA).

Para comprender las modificaciones de este tipo de aproximación, en primer lugar, es necesario entender en qué consisten las aproximaciones convencionales.

La aproximación convencional o por instrumentos (IFR) se caracteriza por estar formada por tres fases (cuatro si se tiene en cuenta la aproximación frustrada) limitadas por cuatro puntos, el IAF, el IF, el FAF y el MAPt (*Missed Approach Point*) o DA (*Decission Altitude*). Dichas fases son las siguientes:

- **Aproximación inicial:** El objetivo de esta es alinear la aeronave con la pista y realizar el descenso más significativo, así, las pendientes alcanzan hasta un 8%. Tiene lugar desde el punto de referencia de aproximación inicial (IAF) hasta el punto de referencia de aproximación intermedia (IF) (color verde en la *ilustración 19*).
- **Aproximación intermedia:** El propósito principal de este tramo es la configuración de la aeronave (cambios en los *flaps* o ajustes en la velocidad) o emprender el descenso final. Esta etapa abarca desde el IF hasta el punto de referencia de aproximación final (FAF) y se recomienda que sea lo más horizontal posible y con la longitud mínima necesaria para volar fácilmente y poder realizar los cambios necesarios en la configuración (color amarillo en la *ilustración 19*).
- **Aproximación final:** Consiste en volar el G/S (Glide Slope), o sea, el descenso final a la pista con una velocidad controlada y una pendiente suave. Comprende desde el IF hasta el MAPt y su pendiente óptima es del 5'2%, siendo 6'5% la máxima permitida (color rojo en la *ilustración 19*).
- **Aproximación frustrada:** Este tramo se encuentra después del MAPt y se utiliza cuando el piloto no obtiene referencia visual de la pista en dicho punto que le permita completar el aterrizaje, ya sea por meteorología o por otros factores.

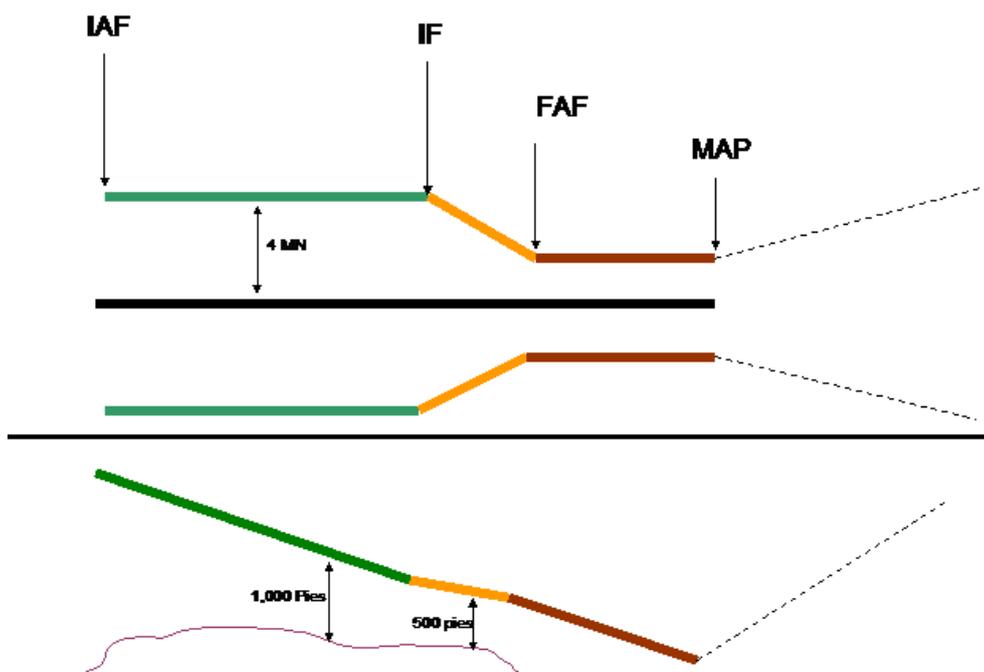


Ilustración 19: Aproximación por instrumentos (IFR)

De forma contraria, la aproximación en descenso continuo evita el uso de segmentos horizontales durante la operación, de manera que se empieza el descenso lo antes posible y a la máxima altitud, hasta interceptar la senda de planeo (GS) del sistema de aterrizaje por instrumentos (*Instrument Landing System, ILS*) también utilizado en algunas aproximaciones IFR. Así, en lugar de acercarse a un aeropuerto de manera escalonada y pidiendo permisos constantes para descender a una nueva altitud, el CDA opta por un descenso suave y de ángulo constante que comienza en el punto de inicio del descenso continuo (*Top Of Descent, TOD*), tal y como se muestra en la *ilustración 20*.

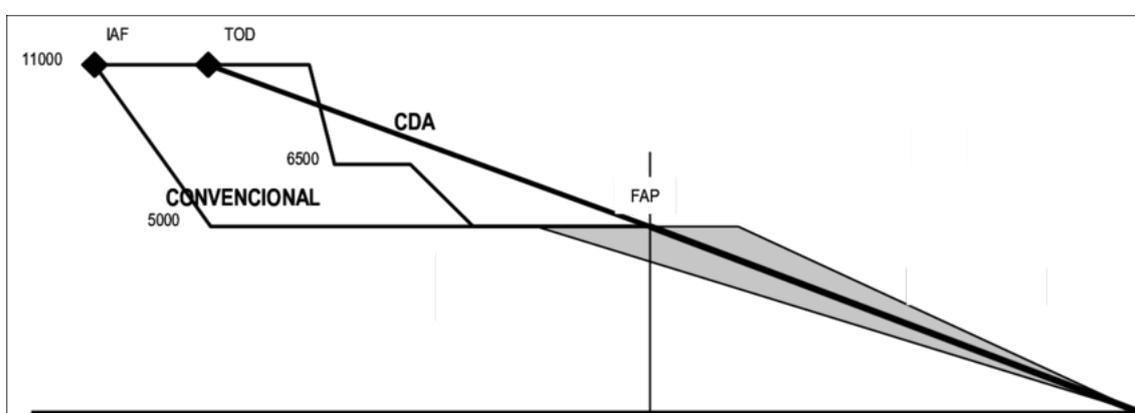


Ilustración 20: Aproximación en descenso continuo (CDA)

Los dos inconvenientes que presenta este tipo de operación son la gran influencia que ejerce el viento, ya que si hay demasiado viento de cara, aumenta considerablemente la deceleración del avión, lo que provoca una reducción de la distancia necesaria para frenar con respecto a la usual (sucede de forma contraria si el viento es de cola); y que cada aeronave desciende a una velocidad óptima diferente, por lo que los tiempos de aterrizaje son muy variables y complican la gestión del tráfico de entrada en el aeropuerto si la densidad de tráfico es media –

alta. No obstante, estas desventajas quedan relegadas a un segundo plano cuando los efectos medioambientales locales son de gran importancia dado que este tipo de aproximación presenta tres grandes ventajas:

- **Reducción del ruido:** Según Eurocontrol, la aproximación en descenso continuo reduce entre 1 y 5 decibelios el ruido en las zonas que se encuentran a distancias superiores a 18km del aeropuerto. Esto se puede apreciar en diversos estudios realizados en diferentes aeropuertos como, por ejemplo, los principales de Londres: Heathrow, Gatwick y Stansted. Los resultados obtenidos en diferentes años determinaron la mejora del ruido mostrada en la *ilustración 21*.

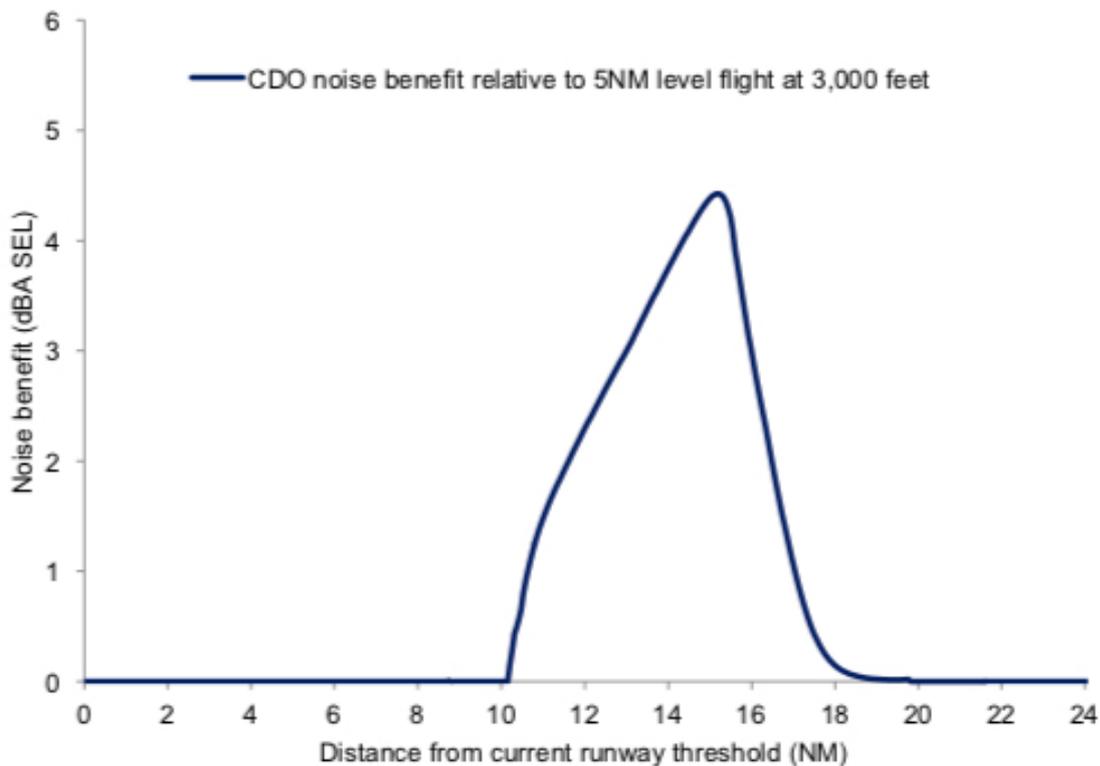


Ilustración 21: Mejora en los niveles de ruido para una aproximación en descenso continuo en los principales aeropuertos de Londres para un Boeing 777

- **Reducción del consumo de combustible:** Como las CDA se caracterizan por los perfiles de descenso optimizados con un empuje mínimo del motor, se disminuye de forma notoria el consumo de combustible en las operaciones de aproximación y, por ende, se reducen las emisiones de gases de efecto invernadero. Todos los aeropuertos en los que se ha implementado esta medida han experimentado significativas mejoras en consumo de combustible, como, por ejemplo, en el aeropuerto de Ahmedabad en la India (*tabla 5*) o en el aeropuerto de Praga (*ilustración 22*).

Ahorro anual de combustible	1.164 toneladas
Ahorros en los costos anuales	USD 1,3 millones
Reducción de emisiones	3.678 toneladas

(Basada en datos de operaciones CDO en Ahmedabad)

Tabla 5: Ahorro anual en combustible, costes y emisiones en el aeropuerto de Ahmedabad [OACI, 2014]

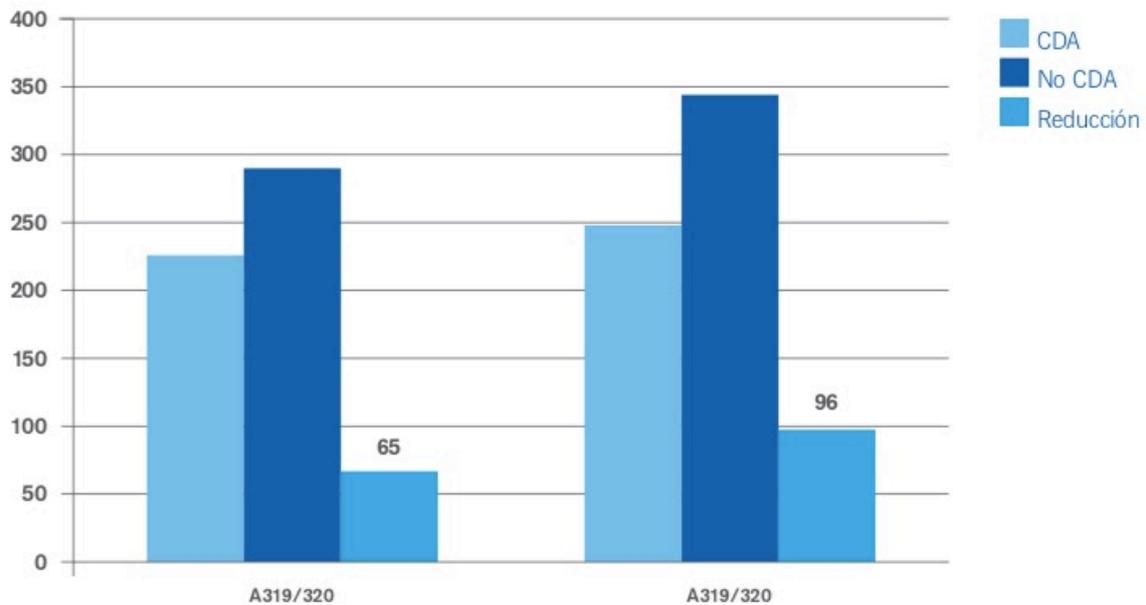


Ilustración 22: Kg de combustible ahorrado por vuelo en el aeropuerto de Praga [OACI, 2014]

Estos resultados junto con otros estudios han concluido en que la implementación de la CDA supondría el ahorro de una media de 340.000 toneladas de combustible al año en Europa [Eurocontrol, 2017]

- **Disminución del tiempo en el que la aeronave llega al umbral de la pista:** La velocidad media con la que se realiza la aproximación es mayor, por lo que el tiempo en el que la aeronave llega al umbral de pista es ligeramente menor. Aunque este valor depende en gran medida del tipo de aeronave que está realizando la aproximación, la media de ahorro de tiempo es de entre 1 y 3 minutos.

Por lo tanto, con los años se ha ido demostrando con diversos estudios y recogidas de datos de diferentes aeropuertos que la implementación de las aproximaciones de descenso continuo es una forma muy efectiva de reducir las emisiones tanto de ruido como de gases contaminantes. Así, pese a que sea necesario cambiar los sistemas de gestión y control del tráfico convencionales e incluir nuevos tipos de formación para este tipo de operaciones en la instrucción de pilotos comerciales y controladores, se trata de una medida que complementa muy bien al proyecto del Cielo Único Europeo y a las reducciones de velocidad en crucero debido a las grandes ventajas que presenta. Esto derivaría en una reducción aun más notable del impacto medioambiental del sector aéreo en Europa y, por tanto, de la huella ecológica europea.

III.V. Estimación del ahorro

Una vez aclaradas cada una de las propuestas y sus respectivos resultados de forma individual, es necesario hacer un estudio aproximado de las ventajas, tanto económicas como ambientales, que supondría para Europa aplicarlas.

En primer lugar, se calculará el ahorro aproximado de emisiones, de combustible y económico que supondría la desfragmentación del cielo europeo y la propuesta de la reducción de la velocidad en los nuevos trayectos. Para ello, se escogerá un aeropuerto modelo a estudiar que corresponda con uno de los que poseen una mayor densidad de tráfico al año en Europa. En este caso, se ha elegido el aeropuerto de Madrid – Barajas Adolfo Suárez. Una vez hecho esto, se extraen los datos de los vuelos anuales del banco de datos de AENA con el fin de analizar los trayectos más transitados cuyos destinos sean ciudades europeas. En este estudio se han evaluado 44 destinos europeos y para ello, se ha seguido el mismo método descrito en el apartado III.III.

Asimismo, cabe destacar que, para calcular los costes estimados, se han utilizado los datos que se encuentran en la *tabla 6*.

Datos utilizados para el cálculo de costes	
Precio JetA1 (€/galón)	1,69
Precio JetA1 (€/litros)	0,44645098
Densidad JetA1 (kg/l)	0,804
Precio JetA1 (€/kg)	0,5553

Tabla 6: Precio (en diferentes unidades) y densidad del combustible utilizado para realizar el estudio

Los resultados para cada uno de los trayectos se encuentran en el *anexo V* y la suma de todos ellos con su comparación para las tres situaciones propuestas se muestran en la *tabla 7*.

Resultados de la reducción de velocidad y la desfragmentación			
	Cielo fragmentado	Cielo Único Europeo sin reducción de velocidad	Cielo Único Europeo con reducción de velocidad
Combustible consumido (toneladas)	237.338,44	215.990,19	215.055,22
Gases emitidos (toneladas)	747.616,07	680.369,10	677.423,94
Porcentaje de reducción	-	-8,99%	-9,39%
Costes	131.791.015,95 €	119.936.607,30 €	119.417.429,04 €
Ahorro económico	-	11.854.408,65 €	12.373.586,91 €

Tabla 7: Resultados de la reducción de velocidad y la desfragmentación a partir del aeropuerto modelo LEMD

Es evidente que, tanto con reducción de velocidad como sin ella, se obtienen mejoras significativas en la disminución de la contaminación atmosférica generada por el sector aéreo, por lo que el Cielo Único Europeo será una muy buena medida para cumplir el objetivo. No obstante, si, además, se aplica la reducción de velocidad comentada anteriormente, el porcentaje de ahorro (tanto económico como de gases emitidos) aumenta aún más. Por lo tanto, de ahora en adelante se asumirá que se realizan ambas propuestas, logrando reducciones de un 9'39%.

Como el aeropuerto estudiado es uno de los más relevantes de Europa, es posible aceptar que la disminución en aeropuertos semejantes será similar y, como estos son responsables de la mayor parte del tráfico aéreo generado dentro de Europa, se puede admitir que el porcentaje de reducción de emisión de CO₂ a la atmósfera será aproximadamente el mismo que el obtenido para este caso concreto.

Por otro lado, según estimaciones de Eurocontrol, si se implantaran las medidas de aproximación en descenso continuo en todos los aeropuertos europeos, las cifras de ahorro de combustible y de reducción de emisiones serían las mostradas en la *tabla 8*, en la que también se ha incluido el ahorro económico, utilizando, de nuevo, los datos expuestos en la *tabla 6*.

Resultados de la aproximación en descenso continuo	
Combustible ahorrado (toneladas)	340.000,00
Reducción de emisiones (toneladas)	1.100.000,00
Ahorro económico	188.797.677,64 €

Tabla 8: Resultados de la implantación de la DCA [Eurocontrol, (2009)]

Con el objetivo de mostrar el impacto total de las tres propuestas, se localizan las emisiones generadas por el sector aéreo en Europa para el año más reciente posible (los datos más actualizados encontrados corresponden al año 2017) (ilustración 23) y se aplican los porcentajes y las cantidades de reducción pertinentes, obteniendo las cifras mostradas en la tabla 9.

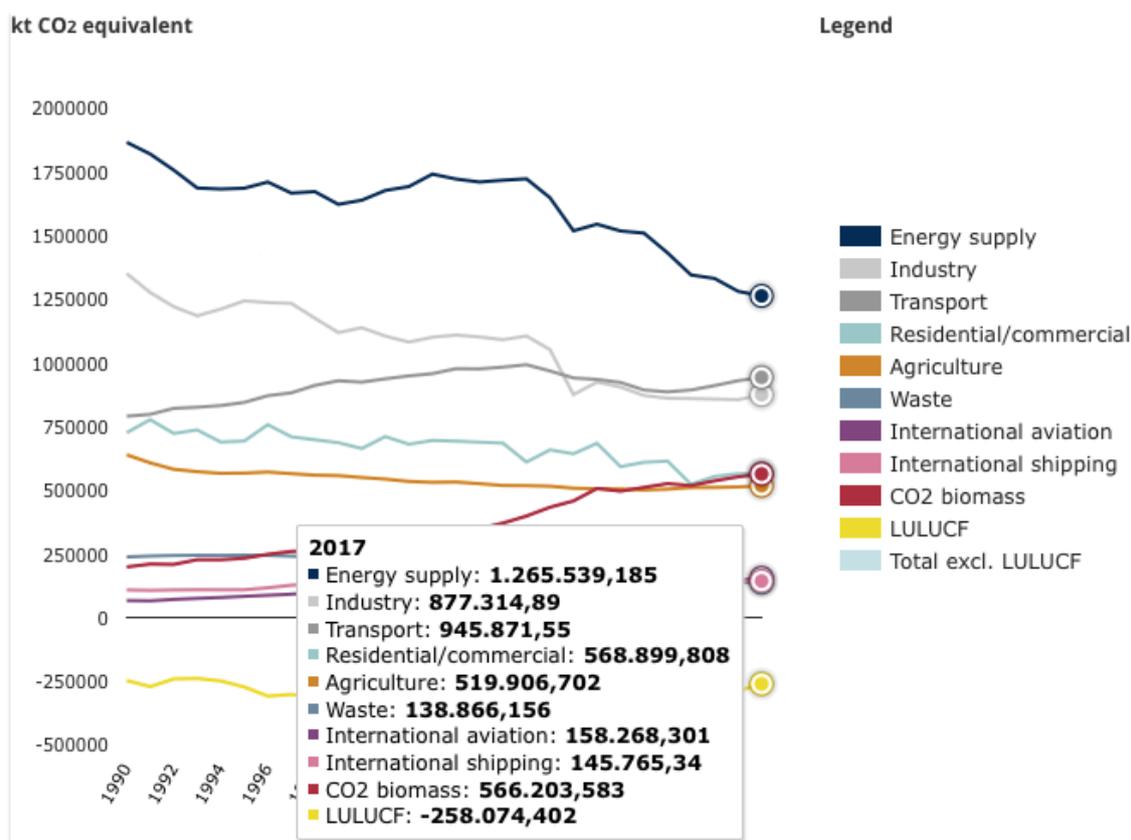


Ilustración 23: Emisiones de CO₂ en diferentes sectores de Europa [European Environment Agency, (2020)]

Resultados totales	
Estimación de emisiones totales en 2017 por aviación internacional (toneladas)	158.268.301,00
Reducciones de emisiones por velocidad (toneladas)	14.859.484,64
Reducciones de emisiones por CDA (toneladas)	1.100.000,00
Reducción de emisiones total (toneladas)	15.959.484,64
Reducción de emisiones total (%)	-10,08%
Ahorro económico total	2.808.252.571,42 €

Tabla 9: Resultados totales aproximados obtenidos

Como se puede observar en la *tabla 9*, si se aplicaran estas tres medidas, las emisiones podrían verse reducidas hasta casi un 10%, es decir, se evitaría la producción de casi 16 millones de toneladas de CO₂ al año. Asimismo, el ahorro de combustible generaría un gran beneficio económico, reduciendo los costes actuales hasta en 2.800 millones de euros cada año.

III.V.I. Reducción de la huella ecológica en Europa

A continuación, se realizará una valoración de cómo afectarían dichos datos obtenidos a la huella ecológica europea.

En primer lugar, es necesario aplicar el porcentaje de reducción obtenido al porcentaje de contribución del transporte aéreo y, así, al total de emisiones generadas por todos los medios de transporte. Seguidamente, al porcentaje de emisiones de todos los sectores de la industria, con la finalidad de observar si las emisiones del transporte se verían reducidas de manera significativa. Los resultados obtenidos se muestran en la *tabla 10*.

Contribución de la reducción calculada a diferentes sectores	
Reducción a aplicar (%)	-10,08%
Contribución del sector aéreo a las emisiones del transporte (%)	10,50%
Contribución (reducida) del sector aéreo a las emisiones del transporte (%)	9,44%
Contribución del sector aéreo a las emisiones de todos los sectores (%)	14,30%
Contribución (reducida) del sector aéreo a las emisiones de todos los sectores (%)	12,94%

Tabla 10: Contribución de la reducción calculada a diferentes sectores

Tal y como se puede observar en los resultados mostrados, las medidas propuestas contribuirían a reducir casi un 1'5% las emisiones globales generadas en Europa.

La huella ecológica es un indicador del impacto ambiental generado en la Tierra por parte del ser humano y su estilo de vida. Esta representa el área del planeta que sería necesaria, por una parte, para satisfacer la demanda de recursos (extracción de combustibles fósiles, pesca, ganadería...) y, por otra, para asumir los residuos generados por la población y la producción de dichos recursos (emisiones de gases, deshechos sólidos, vertidos...). En los últimos años se ha convertido en un indicador de gran relevancia. De esta manera, a continuación, se calculará el impacto de la reducción de las emisiones de carbono obtenida sobre la huella ecológica europea actual. Para ello, es necesario tener presente que la aportación de la huella de carbono sobre esta es de un 47'5% y, así, los resultados se muestran en la *tabla 11*.

Huella ecológica en Europa	
Huella ecológica actual (millones de hectáreas globales) [WWF, (2019)]	2.300,00
Huella ecológica (reducida) (millones de hectáreas globales)	2.283,61

Tabla 11: Reducción de la huella ecológica en Europa

Observando los datos obtenidos, se puede llegar a la conclusión de que las medidas expuestas son eficientes para cumplir con su objetivo ya que reducen en gran manera las emisiones. Sin embargo, a pesar de ser efectivas, son insuficientes, puesto que, aunque en la huella ecológica se disminuya una cifra muy considerable de superficie (aproximadamente unas 16 millones de hectáreas), este indicador comprende tantos sectores de la actividad humana que el porcentaje de reducción es muy pequeño. Por lo tanto, además de mejorar el impacto del sector de la aviación comercial, se deben desarrollar nuevas tecnologías y propuestas para el resto de los sectores.

III.VI. Presupuesto

Finalmente, se hará una estimación del presupuesto global del proyecto. Para ello, se calcularán los costes de personal, de equipos y de consumo de energía eléctrica.

En primer lugar, se realizarán los cálculos necesarios para tasar los costes de personal. Así, es necesario tener en cuenta las horas de trabajo del ingeniero superior recién graduado, el autor del trabajo. Estas son el total de las horas de trabajo individual (la realización del proyecto, cálculos, redacción, revisiones, etc.) y de las horas de reuniones. Considerando que el ingeniero ha dedicado aproximadamente un total de 5 horas diarias durante dos meses y se han tenido 15 reuniones de alrededor de media hora cada una, los costes de personal son los mostrados en la *tabla 12*.

Costes de personal			
Concepto	Unidades (horas)	Coste unitario (€/h)	Importe (€)
Ingeniero superior recién graduado	207,5	41,27	8563,53
TOTAL			8563,53

Tabla 12: Costes de personal del presente proyecto

Por otro lado, también es necesario hacer una valoración del material y los equipos empleados. Se consideran, además, las instalaciones en las que se ha realizado el proyecto (cabe destacar que no hay costes de oficina puesto que se ha trabajado en casa de forma puntual por las condiciones de excepcionalidad provocadas por el COVID-19) y las licencias de los *softwares* necesarios. Todo ello con sus respectivos períodos de amortización y período amortizado, es decir, el número de años durante los que se ha amortizado dicho bien material (disminuyendo su valor) y el período de tiempo durante el que ha sido utilizado dicho bien para la realización del proyecto. De esta manera, el coste de amortización viene definido por la siguiente ecuación:

Coste de amortización

$$= \frac{\text{Coste total}}{\text{Período de amortización (meses)}} \cdot \text{Período amortizado (meses)}$$

Los resultados de los costes de los equipos se muestran en la *tabla 13*.

Costes de equipos				
Concepto	Coste total (€)	Período de amortización (años)	Período amortizado (meses)	Coste de amortización (€)
Portátil MacBook Air 13 pulgadas	1095	5	2	36,5
Software MATLAB	500	4	2	20,83
Software Office	283,2	4	2	11,8
Ipad Pro 10 pulgadas	569	3	2	31,61
Apple pencil	99	0,2	2	82,5
Instalaciones	186000	18	2	1722,22
TOTAL				1905,47

Tabla 13: Costes de equipos del presente proyecto

Por último, al utilizar continuamente un equipo electrónico, es necesario calcular el coste del consumo eléctrico. Haciendo uso de la *página web OuterVision® Power Supply Calculator* se hace una estimación del coste del consumo generado por el portátil durante un año (*ilustración 25*). Así, se puede calcular de forma sencilla el costo de energía eléctrica producido durante estos dos meses de trabajo (*tabla 14*).



Ilustración 24: Consumo aproximado del modelo de portátil utilizado

	Coste unitario (€/año)	Unidades (meses)	Total (€)
Consumo eléctrico	58,71	2	9,785

Tabla 14: Coste del consumo eléctrico del presente proyecto

Para concluir, una vez se tienen todos los costes necesarios, se hace una suma de todos ellos y se incluyen tanto el IVA como el beneficio industrial (derecho de los constructores a obtener un beneficio económico que, en defecto de pacto, se fija en el 15% del valor de la construcción) para, finalmente, obtener el presupuesto global del proyecto, tal y como se muestra en la *tabla 15*.

Presupuesto global	
Concepto	Importe (€)
Costes de personal	8563,53
Costes de equipos	1905,47
Consumo eléctrico	9,79
PRESUPUESTO TOTAL DE EJECUCIÓN MATERIAL	10478,78
IVA	2200,54 (21%)
Beneficio industrial	1571,82 (15%)
PRESUPUESTO TOTAL	14251,14

Tabla 15: Presupuesto global del presente proyecto



Bloque IV. – Conclusiones

IV. Conclusiones

En este trabajo se ha podido comprobar el impacto medioambiental que genera el sector aéreo, especialmente la emisión de gases contaminantes a la atmósfera a grandes alturas, lo cuál es aún más perjudicial, y la contaminación acústica. Esta última genera problemas fisiológicos tanto a la fauna que se encuentra en las cercanías de las infraestructuras aeroportuarias como a las poblaciones de humanos colindantes. Asimismo, se ha comprobado que este impacto es creciente con los años a causa del exponencial aumento del tráfico aéreo.

Es por esto que, ante la urgencia de solventar o disminuir la velocidad de la reciente problemática de la emergencia climática, es necesario llevar a cabo nuevas medidas que permitan reducir el impacto de la actividad humana.

Asimismo, se ha comprendido que una de las regiones con mayor ineficiencia en la gestión del tráfico aéreo es Europa a causa del sistema de cielo fragmentado mediante el cuál cada país administra su espacio aéreo, generando pérdidas económicas de hasta 5 billones de euros al año y emitiendo más GEIs de los necesarios para realizar los trayectos.

Con motivo de mejorar esta cuestión, la Comisión Europea generó en 2009 un nuevo plan denominado el Cielo Único Europeo con el que se pretende unificar todo el espacio aéreo de la superficie europea para poder realizar vuelos con trayectorias mucho más eficientes. Este proyecto tenía intención de estar implantado para el año 2020, aunque esto dista mucho de la realidad actual.

De esta manera, en esta memoria se ha propuesto mejorar esta solución a partir de la introducción de dos medidas complementarias que ayudan a reducir el impacto medioambiental del sector y la huella ecológica europea. Dichas propuestas son la reducción de la velocidad en la fase de crucero de los trayectos en línea recta y el establecimiento de métodos de aproximaciones en descenso continuo en todas las infraestructuras aeroportuarias europeas.

Como se ha podido comprobar con diversos ejemplos y cálculos, los resultados obtenidos son muy satisfactorios puesto que las emisiones dentro del sector aéreo se reducen hasta casi un 10%, lo que corresponde con una disminución de aproximadamente un 1'5% de las emisiones totales de Europa. Esto significa que, poniendo en práctica las medidas propuestas, se consigue evitar la emisión a la atmósfera de 16 millones de toneladas de CO₂ en Europa.

Asimismo, se ha estimado la reducción de la huella ecológica que supone evitar estas emisiones y este consumo innecesario de combustible. Además, se ha llegado a la conclusión de que esta se reduce hasta casi 17 millones de hectáreas, lo que corresponde a reducir una superficie similar a la que ocupa un país como Uruguay.

Además de esto, también se generan grandes beneficios económicos, ya que la reducción del consumo de combustible genera ahorros de hasta 2'8 billones de euros al año para Europa y reducciones en los retrasos de los vuelos comerciales, gracias a la descongestión del flujo aéreo en las zonas más transitadas. Esto último, aumenta la satisfacción de los pasajeros, generando fidelización de los clientes y buena propaganda del servicio. Así, se provoca una mayor demanda del transporte aéreo europeo y se potencian otros sectores económicos como el turismo o el transporte de mercancías.

No obstante, la realidad es que el proyecto principal (CUE) arrastra unos 20 años de retraso en su implantación, lo que ha derivado en una degradación aún más grave del medio ambiente y ha generado enormes pérdidas económicas cada año.

Por otro lado, tal y como se ha comentado, este proyecto genera grandes beneficios para el sector de la aviación comercial y, aunque la reducción de superficie de la huella ecológica europea sea significativa, esta sigue siendo desproporcionada. Esto implica que el sector del transporte aéreo no es el único ni el más influyente. Por tanto, por muchas mejoras que se pongan en práctica, siempre serán necesarias pero insuficientes. Es decir, para actuar contra la emergencia climática existe un gran margen de mejora que las demás industrias (agricultura, ganadería, textil...) y el resto de transportes (terrestre, marítimo...) también deben estrechar con urgencia.



Sin embargo, aparentemente, la actitud predominante es la indiferencia por parte de las empresas y gobiernos ante el cuidado del medio ambiente y ante los cambios sugeridos por las organizaciones especializadas y los científicos e investigadores.

Aunque la mayor parte de las personas estén cada vez más concienciadas y tomen medidas para llevar una vida más sostenible (evitando el uso del coche, reduciendo el consumo de plásticos, modificando las dietas, etc.), los grandes cambios recaen en los grandes sectores de la industria. Así, la implantación de novedosas propuestas para aminorar el impacto que se genera deben desarrollarse con urgencia, por muy pequeño que sea el cambio. Cada paso, por modesto que sea, es necesario para reducir la gravedad de la situación de emergencia climática que se está viviendo actualmente.

Referencias

- ALONSO RODRIGO, G. y RUIZ DE VILLA, A. *El impacto ambiental del transporte aéreo y las medidas para mitigarlo*. Madrid, España: Universidad Politécnica de Madrid. [Consulta: 13 de abril de 2020]
- AMABLE ÁLVAREZ, I. et al. (2017). *Contaminación ambiental por ruido*. Revista médica electrónica. <http://www.revmedicaelectronica.sld.cu/index.php/rme/article/view/2305/html_263> [Consulta: 28 de abril de 2020]
- ARNALDO VALDÉS, R., GÓMEZ COMENDADOR, V. y PÉREZ SANZ, L. (2013). *Definición e integración de procedimientos de descenso continuo para la mitigación de ruido en la operación del TMA y del aeropuerto de Madrid – Barajas*. Madrid, España: Universidad Politécnica de Madrid. <http://oa.upm.es/44299/1/INVE_MEM_2012_239955.pdf> [Consulta: 24 de mayo de 2020]
- España. Decisión de la Comisión (2009/339/CE) por la que se modifica la Decisión 2007/589/CE en relación con la inclusión de directrices para el seguimiento y la notificación de emisiones y datos sobre las toneladas – kilómetro resultantes de las actividades de la aviación. *BOLETÍN OFICIAL DEL ESTADO*, 23 de abril de 2009, num. 2887. <<https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-2009-80674>> [Consulta: 25 de mayo de 2020]
- España. Real Decreto 1271/2018, de 11 de octubre, por el que se desarrolla la estructura orgánica básica del Ministerio de Asuntos Exteriores, Unión Europea y Cooperación y por el que se modifica el Real Decreto 595/2018, de 22 de junio, por el que se establece la estructura orgánica básica de los departamentos ministeriales. *BOLETÍN OFICIAL DEL MINISTERIO DE DEFENSA*, 18 de octubre de 2018, num. 204. <https://publicaciones.defensa.gob.es/media/downloadable/files/links/b/o/bod_20181018_204-al.pdf> [Consulta: 11 de junio de 2020]
- CABALLERO, M., LOZANO, S. y ORTEGA, B. (2017). *Efecto invernadero, calentamiento global y cambio climático: una perspectiva desde las ciencias de la Tierra*. México: Universidad Nacional Autónoma de México. <http://www.revista.unam.mx/vol.8/num10/art78/oct_art78.pdf> [Consulta: 22 de abril de 2020]
- CHÁVEZ MIRANDA, J. (2006). *Ruido: Efectos sobre la salud y criterio de su evaluación al interior de recintos*. Ciencia y trabajo. <http://sgpwe.izt.uam.mx/files/users/uami/patt/3._Contaminacion_Fisica/3_ruidoefectos.pdf> [Consulta: 28 de abril de 2020]
- CISNEROS SANCHIZ, J. *Perturbaciones climáticas y esporádicas causadas por los aviones*. <https://repositorio.aemet.es/bitstream/20.500.11765/5305/1/2A_Cisneros.pdf> [Consulta: 27 de abril de 2020]
- CIVIL AVIATION AUTHORITY (2017). *Review of arrival noise controls*. Londres, Reino Unido. <https://publicapps.caa.co.uk/docs/33/CAP1554ReviewofArrivalNoiseControls_July2017.pdf> [Consulta: 24 de mayo de 2020]

- CREUTZIG, F. et al. (2014). *Transport*. En: *Climate change 2014: mitigation of climate Change*. Intergovernmental Panel on Climate Change. <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/WGIIIAR5_SPM_TS_Volume-3.pdf> [Consulta: 24 de abril de 2020]
- DE ESTEBAN ALONSO, A. (2003). *Contaminación acústica y salud*. Madrid, España: Universidad Rey Juan Carlos. <<https://revistas.ucm.es/index.php/OBMD/article/view/OBMD0303110073A/21658>> [Consulta: 28 de abril de 2020]
- DE QUIROGA, C. (2019). *El Tribunal de Cuentas de la UE destapa el fracaso del cielo único*. Madrid, España: ABC. <https://www.abc.es/economia/abci-tribunal-cuentas-destapa-fracaso-cielo-unico-201907100233_noticia.html?ref=https%3A%2F%2Fwww.google.com%2F> [Consulta: 23 de mayo de 2020]
- ENAIRES (2020). *Guía de tasas de navegación aérea 2020*. Madrid, España: ENAIRES. <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwj7xrKwovXpAhUM6OAKHcrnCYAQFjAAegQIARAB&url=https%3A%2F%2Fwww.enaire.es%2Fdocs%2Fes_ES%2Fgu%25C3%25ADa_de_tarifas_2020&usg=AOvVaw1IKyhMAcRmmtAgvGGx_J70> [Consulta: 4 de mayo de 2020]
- EUROCONTROL (2019). *Comparison of air traffic management-related operational performance: U.S./Europe*. <<https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/2019-05/us-europe-comparison-operational-performance-2017.pdf>> [Consulta: 30 de abril de 2020]
- EUROCONTROL (2017). *Continuous climb and descent operations*. <<https://www.eurocontrol.int/concept/continuous-climb-and-descent-operations>> [Consulta: 24 de mayo de 2020]
- EUROCONTROL (2009). *European Joint Industry – CDA Action Plan*. <<https://www.eurocontrol.int/publication/european-joint-industry-cda-action-plan>> [Consulta: 28 de mayo de 2020]
- EUROPA PRESS (2011). *Iberia dice que el espacio aéreo europeo es “de los más ineficientes del mundo” por no volar en línea recta*. Málaga, España: EuropaPress. <<https://www.europapress.es/andalucia/turismo-00476/noticia-iberia-dice-espacio-aereo-europeo-mas-ineficientes-mundo-no-volar-linea-recta-20111212191252.html>> [Consulta: 3 de mayo de 2020]
- EUROPEAN COMMISSION (2020). *Eurostat, transport, air transport*. <<https://ec.europa.eu/eurostat/web/transport/data/database>> [Consulta: 28 de mayo de 2020]
- EUROPEAN COMMISSION (2015). *Report from the Commission to the European Parliament and the Council on the implementation and progress of the Single European Sky during the 2012-2014 period*. Bruselas, Bélgica. <<https://ec.europa.eu/transparency/regdoc/rep/1/2015/EN/1-2015-663-EN-F1-1.PDF>> [Consulta: 19 de mayo de 2020]

- EUROPEAN COURT OF AUDITORS (2017). *Single European Sky: a changed culture but not a single sky*. Luxemburgo, Luxemburgo. <<https://op.europa.eu/webpub/eca/special-reports/single-european-sky-18-2017/en/>> [Consulta: 17 de mayo de 2020]
- EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY (2019). *European aviation environmental report 2019*. <<https://ec.europa.eu/transport/sites/transport/files/2019-aviation-environmental-report.pdf>> [Consulta: 24 de abril de 2020]
- EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY (2019). *Total Greenhouse gas emission trends and projections in Europe*. <<https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/greenhouse-gas-emission-trends-6/assessment-3>> [Consulta: 28 de mayo de 2020]
- EPDATA (2020). *El cambio climático, en datos y gráficos*. <<https://www.epdata.es/datos/cambio-climatico-datos-graficos/447>> [Consulta: 24 de abril de 2020]
- ESTEVAN, A. (2005). *Modelos de transporte y emisiones de CO₂ en España*. España: revista de Economía Crítica. <http://revistaeconomiacritica.org/sites/default/files/4_modelos_transporte.pdf> [Consulta: 27 de abril de 2020]
- FINGER, M. *et al.* (2017). *The Single European Sky performance scheme*. Florencia, Italia. <https://cadmus.eui.eu/bitstream/handle/1814/47384/PB_2017_19_FSR.pdf?sequence=1&isAllowed=y> [Consulta: 19 de mayo de 2020]
- GONZÁLEZ, M. *et al.* (2003). *Cambio climático mundial: origen y consecuencias*. <<http://eprints.uanl.mx/1287/>> [Consulta: 22 de abril de 2020]
- HEUWIESER, M. (2017). *El espejismo de volar verde*. Viena, Austria: Stay Grounded. <<https://stay-grounded.org/wp-content/uploads/2019/04/El-espejismo-de-la-aviacion-verde.pdf>> [Consulta: 27 de abril de 2020]
- IATA (2019). *Mayor conectividad y eficiencia – Estadística del transporte aéreo mundial 2018*. Montreal, Canadá. <<https://www.iata.org/contentassets/f8d2fbbfe2664612a1e4e65a22422dc3/2019-07-31-01-sp.pdf>> [Consulta: 29 de abril de 2020]
- JORDÁ SANUY, C. (2008). *Impacto ambiental del transporte aéreo y de las infraestructuras aeroportuarias*. Barcelona, España: Natural Sciences Museum of Barcelona. <<http://www.ciccp.es/revistaIT/textos/pdf/03.%20Cristofol%20Jorda%20Sanuy.pdf>> [Consulta: 28 de abril de 2020]
- KOBENKO, S. (2014). *European airspace measures towards a more sustainable ATM*. Trabajo de Fin de Máster. Barcelona, España: Universidad Politécnica de Cataluña. <<https://upcommons.upc.edu/handle/2117/78788>> [Consulta: 13 de mayo de 2020]
- MARTÍN, P. (2009). *Bajar los humos, y el ruido*. Madrid, España: Ministerio de fomento. <<http://www.fomento.gob.es/AZ.BBMF.Web/documentacion/pdf/A22176.pdf>> [Consulta: 24 de mayo de 2020]

- MARTÍNEZ, J. y FERNÁNDEZ, A. (2004). *Cambio climático: una visión desde México*. México: Instituto Nacional de Ecología. <<http://cambioclimatico.gob.mx:8080/xmlui/handle/publicaciones/129>> [Consulta: 23 de abril de 2020]
- MOBILITY AND TRANSPORT, EUROPEAN COMMISSION (2020). *Functional airspace blocks (FABs)*. Bruselas, Bélgica. <<https://ec.europa.eu/transport/modes/air/single-european-sky/functional-airspace-blocks-fabs>> [Consulta: 19 de mayo de 2020]
- MOBILITY AND TRANSPORT, EUROPEAN COMMISSION (2020). *Performance and Charging Schemes*. <<https://ec.europa.eu/transport/modes/air/single-european-sky/ses-performance-and-charging/performance-and-charging-schemes>> [Consulta: 20 de mayo de 2020]
- MONZÓN DE CÁCERES, A. y PÉREZ MARTÍNEZ, P. (2008). *Consumo de energía por el transporte en España y tendencias de emisión*. Madrid, España: Universidad Politécnica de Madrid. <<https://revistas.ucm.es/index.php/OBMD/article/view/OBMD0808110127A>> [Consulta: 28 de abril de 2020]
- OACI (2014). *Informe de navegación aérea*. Montreal, Canadá. <https://www.icao.int/airnavigation/Documents/AN_REPORT_2014_SP.PDF> [Consulta: 24 de mayo de 2020]
- PERFORMANCE REVIEW BODY OF THE SINGLE EUROPEAN SKY (2018). *PRB Advice to the Commission in the setting of Union-wide performance targets for RP3*. Bruselas, Bélgica. <<https://ec.europa.eu/transport/sites/transport/files/2018-prb-advice.pdf>> [Consulta: 20 de mayo de 2020]
- REDACCIÓN TOURINEWS (2020). *Vuelos más directos, la propuesta de las aerolíneas contra el cambio climático*. <https://www.tourinews.es/resumen-de-prensa/notas-de-prensa-empresas-turismo/vuelos-directos-propuestas-aerolineas-cambio-climatico_4458960_102.html> [Consulta: 27 de abril de 2020]
- PAGE, D. (2020). *Vuelos en línea recta y sin rodeos, el plan de las aerolíneas contra el cambio climático*. España: El Independiente. <<https://www.elindependiente.com/economia/2020/01/26/vuelos-en-linea-recta-y-sin-rodeos-el-plan-de-las-aerolineas-contra-el-cambio-climatico/>> [Consulta: 27 de abril de 2020]
- RIVAS, J y ARIZA, H (2007). *Tratado de otología y audiología*. Diagnóstico y tratamiento médico quirúrgico. Bogotá, Colombia: Editorial AMOLCA
- SEMARNAT (2007). *¿Y el medio ambiente? Problemas en México y en el mundo*. Semarnat, México. <<http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/libros2009/CG007297.pdf>> [Consulta: 28 de mayo de 20]
- SEMPRÚN, A. (2019). *Volar en línea recta para acabar con 10 millones de toneladas de CO₂ en Europa*. España: El Economista. <<https://www.economista.es/empresas-finanzas/noticias/10246528/12/19/Volar-en-linea-recta-para-acabar-con-10-millones-de-toneladas-de-CO2-en-Europa.html>> [Consulta: 24 de abril de 2020]



SESAR JU (2020). *European ATM master plan, executive view*. Luxemburgo: Oficina de publicaciones de la Unión Europea. <<https://www.sesarju.eu/sites/default/files/documents/reports/European%20ATM%20Master%20Plan%202020.pdf>> [Consulta: 18 de mayo de 2020]

SESAR JU (2020). *SESAR*. <<http://www.sesar.eu>> [Consulta: 18 de mayo de 2020]

SESAR JU (2008). *El futuro de la gestión del tránsito aéreo en Europa: El Cielo Único Europeo y la JU SESAR*. <https://www.cdti.es/recursos/doc/Programas/Cooperacion_internacional/P.Marco_I%20D_de_la_UE/Transporte/22818_20102010200813505.pdf> [Consulta: 16 de mayo de 2020]

SIMÓN DEL FRAILE, M. (2017). *El primer vuelo comercial de la historia de la aviación civil*. [Consulta: 30 de abril de 2020]

WWF (2019). *Vivir por encima de los límites de la naturaleza en Europa*. Bruselas, Bélgica. <http://awsassets.wwf.es/downloads/wwf_overshoot_europa_esp_.pdf> [Consulta: 28 de mayo de 2020]



Anexos

ANEXO I. Código de Matlab para calcular el consumo en crucero con fragmentación del cielo

```
% Clean up workspace
clc; clear all;
% Add the files needed
addpath(' ../lib/kml', ' ../lib/geo', ' ../lib_bada', ' ../BADA_3.14');

% Load the Constants & global variables
run Constants;
run Globals;

%- LOAD AIRCRAFT MODEL
aircraft='A320';
% Load a color to represent this aircraft results
color='b';
close all;
[ac]
LoadAircraftBADA([' ../BADA_3.14/bada_314_96b6f733f5b65f32a5e7/' ,aircra
ft, ' __.OPF' ]);

%- SET WIND CONDITIONS
% Set Wind in NED
Wind=[0;0;0]*KTS2MPS;

%- SET INITIAL STATE
% Set initial velocity in knots
V_0 = 450;

% Set initial altitude in ft
h_0 = 34000;

% Set initial course in degrees
psi_0=0;

% Set initial FPA in degrees
gamma_0=0.5;

% LEMD
lat_0 = 42.213611*pi/180.0;
lon_0 = -1.220405*pi/180.0;

% Find out aircraft initial weight
W_0=ac.mass.m_ref*G_CONST;

psi_dot=0;

%- SOLVE DIFFERENTIAL EQUATION
% Set initial state vector
% State vector x = [V; psi; gamma; h; r; lat; lon; W]
x_0=[V_0*KTS2MPS; psi_0*pi/180; gamma_0*pi/180; h_0*FT2M; 0; lat_0;
lon_0; W_0];

% Integrate
% Set BADA function
BADAfunction=@BADA_climb;
% Set termination event
```



```
RangeTarget = 1097.62*NM2M;  
options = odeset('Events', @RangeEvent);  
  
[ t,x ] = integrate(0,8784.6,x_0,options);  
  
%- PLOT RESULTS  
consumption=x(1,8)-x(end,8);  
fprintf('Consumption of %s (%.1f Kg) \n Height=%.1f ft. \n TAS=%.1f  
knots \n Range=%g NM \n is: %g Kg\n',aircraft, x(1,8)/G_CONST, h_0, V_0,  
RangeTarget/NM2M, consumption/G_CONST);
```



ANEXO II. Código de Matlab para calcular el consumo en crucero con Cielo Único Europeo sin reducción de velocidad

```
% Clean up workspace
clc; clear all;
% Add the files needed
addpath('../lib/kml','../lib/geo','../lib_bada','../BADA_3.14');

% Load the Constants & global variables
run Constants;
run Globals;

%- LOAD AIRCRAFT MODEL
aircraft='A320';
% Load a color to represent this aircraft results
color='b';
close all;
[ac]
LoadAircraftBADA(['../BADA_3.14/bada_314_96b6f733f5b65f32a5e7/',aircraft,
ft, '__.OPF']);

%- SET WIND CONDITIONS
% Set Wind in NED
Wind=[0;0;0]*KTS2MPS;

%- SET INITIAL STATE
% Set initial velocity in knots
V_0 = 450;

% Set initial altitude in fth_0 = 34000;

% Set initial course in degrees
psi_0=0;

% Set initial FPA in degrees
gamma_0=0.5;

% LEMD
lat_0 = 42.213611*pi/180.0;
lon_0 = -1.220405*pi/180.0;

% Find out aircraft initial weight
W_0=ac.mass.m_ref*G_CONST;

%- SET TURN PARAMETERES
psi_dot=0;

%- SOLVE DIFFERENTIAL EQUATION
% Set initial state vector
% State vector x = [V; psi; gamma; h; r; lat; lon; W]
x_0=[V_0*KTS2MPS; psi_0*pi/180; gamma_0*pi/180; h_0*FT2M; 0; lat_0;
lon_0; W_0];

% Integrate
% Set BADA function
BADAfunction=@BADA_climb;

% Set termination event
RangeTarget = 1061.79*NM2M;
```



```
options = odeset('Events', @RangeEvent);  
  
[ t,x ] = integrate(0,7200,x_0,options);  
  
%- PLOT RESULTS  
consumption=x(1,8)-x(end,8);  
fprintf('Consumption of %s (%.1f Kg) \n Height=%.1f ft. \n TAS=%.1f  
knots \n Range=%g NM \n is: %g Kg\n',aircraft, x(1,8)/G_CONST, h_0, v_0,  
RangeTarget/NM2M, consumption/G_CONST);
```



ANEXO III. Código de Matlab para calcular el consumo en crucero con Cielo Único Europeo con reducción de velocidad

```
% Clean up workspace
clc; clear all;
% Add the files needed
addpath('../lib/kml','../lib/geo','../lib_bada','../BADA_3.14');

% Load the Constants & global variables
run Constants;
run Globals;

%- LOAD AIRCRAFT MODEL
aircraft='A320';
% Load a color to represent this aircraft results
color='b';
close all;
[ac]
LoadAircraftBADA(['../BADA_3.14/bada_314_96b6f733f5b65f32a5e7/',aircraft,
'___.OPF']);

%- SET WIND CONDITIONS
% Set Wind in NED
Wind=[0;0;0]*KTS2MPS;

%- SET INITIAL STATE
% Set initial velocity in knots
420;

% Set initial altitude in ft
h_0 = 34000;

% Set initial course in degrees
psi_0=0;

% Set initial FPA in degrees
gamma_0=0.5;

% Set coordinates of initial point
% LEMD
lat_0 = 42.213611*pi/180.0;
lon_0 = -1.220405*pi/180.0;

% Find out aircraft initial weight
W_0=ac.mass.m_ref*G_CONST;

%- SET TURN PARAMETERES
psi_dot=0;

%- SOLVE DIFFERENTIAL EQUATION
% Set initial state vector
% State vector x = [V; psi; gamma; h; r; lat; lon; W]
x_0=[V_0*KTS2MPS; psi_0*pi/180; gamma_0*pi/180; h_0*FT2M; 0; lat_0;
lon_0; W_0];

% Integrate
% Set BADA function
BADAfunction=@BADA_climb;
```



```
% Set termination event
RangeTarget = 1061.79*NM2M;
options = odeset('Events', @RangeEvent);

[ t,x ] = integrate(0,8784.6,x_0,options);

%- PLOT RESULTS
consumption=x(1,8)-x(end,8);
fprintf('Consumption of %s (%.1f Kg) \n Height=%.1f ft. \n TAS=%.1f
knots \n Range=%g NM \n is: %g Kg\n',aircraft, x(1,8)/G_CONST, h_0, V_0,
RangeTarget/NM2M, consumption/G_CONST);
```



ANEXO IV. Determinación de emisiones de CO₂ para las actividades de la aviación

Emisiones de CO₂ = Consumo de combustible (toneladas) · factor de emisión

Combustible	Factor de emisión (t CO ₂ /t de combustible)
Gasolina de aviación (AvGas)	3'10
Gasolina para motores de reacción (Jet B)	3'10
Queroseno para motores de reacción (Jet A1 o Jet A)	3'15

Tabla 16: Factores de emisión para combustibles de aviación [BOE, (2009)]

ANEXO V. Datos obtenidos para trayectos desde Madrid a 44 destinos europeos

V.I. Espacio aéreo fragmentado

AEROPUERTO DESTINO	Cielo fragmentado					Precio (€)	
	Operaciones	Distancia en crucero (NM)	Tiempo (min)	Combustible por trayecto(kg)	Combustible total (kg)		Gases emitidos
LISBOA	6.314	131,00	20,00	753,56	4.757.958,90	14.987.570,53	2.642.034,09 €
OPORTO	4.756	85,00	14,00	536,19	2.550.110,13	8.032.846,90	1.416.043,73 €
LONDRES HEATHROW	4.556	446,50	64,00	2.197,86	10.013.450,16	31.542.368,00	5.560.341,57 €
PARIS ORLY	4.134	339,80	57,00	1.691,95	6.994.521,30	22.032.742,10	3.883.968,76 €
ROMA FIUMICINO	4.067	577,00	79,00	2.984,60	12.138.368,20	38.235.859,83	6.740.281,55 €
BRUSELAS	3.964	539,00	76,00	2.793,36	11.072.879,04	34.879.568,98	6.148.628,96 €
FRANKFURT INTERNACIONAL	3.936	716,60	100,00	3.687,14	14.512.583,04	45.714.636,58	8.058.652,87 €
PARIS CHARLES DE GAULLE	3.872	300,20	56,00	1.591,32	6.161.591,04	19.409.011,78	3.421.453,17 €
LONDRES GATWICK	3.415	547,30	78,00	2.835,13	9.681.968,95	30.498.202,19	5.376.274,27 €
AMSTERDAM SCHIPHOL	3.398	648,50	89,00	3.344,42	11.364.339,16	35.797.668,35	6.310.473,06 €
MUNICH FRANZ JOSEF STRAUSS	3.226	852,90	112,00	4.373,08	14.107.556,08	44.438.801,65	7.833.746,54 €
ZURICH	3.174	704,80	96,00	3.627,76	11.514.510,24	36.270.707,26	6.393.861,15 €
MILAN MALPENSA	2.773	503,30	70,00	2.764,49	7.665.930,77	24.147.681,93	4.256.793,90 €
GINEBRA COINTRIN	2.173	542,10	75,00	2.650,86	5.760.318,78	18.145.004,16	3.198.631,79 €
VENECIA MARCO POLO	1.936	643,00	89,00	3.316,74	6.421.208,64	20.226.807,22	3.565.615,53 €
DUBLIN	1.895	619,20	82,00	3.016,08	5.715.471,60	18.003.735,54	3.173.728,72 €
DUSSELDORF	1.883	622,00	88,00	3.029,29	5.704.153,07	17.968.082,17	3.167.443,68 €
VIENA INTERNACIONAL	1.823	794,10	110,00	3.844,81	7.009.088,63	22.078.629,18	3.892.057,81 €
TOULOUSE BLAGNAC	1.690	181,60	25,00	1.076,91	1.819.977,90	5.732.930,39	1.010.610,59 €
MILAN LINATE	1.572	488,00	68,00	2.394,53	3.764.201,16	11.857.233,65	2.090.213,05 €
LONDRES STANSTED	1.531	519,70	73,00	2.544,73	3.895.981,63	12.272.342,13	2.163.389,07 €
BERLIN TEGEL	1.411	948,20	130,00	4.852,68	6.847.131,48	21.568.464,16	3.802.125,06 €
LYON SATOLAS	1.290	290,50	42,00	1.457,96	1.880.768,40	5.924.420,46	1.044.366,78 €
MARSELLA	1.247	253,90	35,00	1.357,90	1.693.301,30	5.333.899,10	940.268,69 €
BUCAREST OTOPENI INTERNACIONA	1.216	1.126,70	154,00	5.750,99	6.993.203,84	22.028.592,10	3.883.237,19 €
NIZA COTE D-AZUR	1.153	374,80	51,00	1.967,08	2.268.043,24	7.144.336,21	1.259.415,58 €
ROMA CIAMPINO	1.147	570,40	78,00	2.784,92	3.194.303,24	10.062.055,21	1.773.755,98 €
ATENAS ATHINAI	1.132	1.102,90	146,00	5.631,21	6.374.529,72	20.079.768,62	3.539.695,32 €
NANTES ATLANTIQUE	1.091	306,10	40,00	1.621,10	1.768.620,10	5.571.153,32	982.092,26 €
PRAGA RUZYNE	1.016	989,40	134,00	5.060,02	5.140.980,32	16.194.088,01	2.854.721,02 €
COPENHAGUE	1.005	980,10	135,00	5.013,22	5.038.286,10	15.870.601,22	2.797.696,22 €
BURDEOS	987	117,70	15,00	664,64	656.002,64	2.066.408,32	364.269,93 €
MILAN BERGAMO	928	598,90	77,00	3.094,82	2.871.992,96	9.046.777,82	1.594.781,18 €
BUDAPEST FERIEGY	856	1.019,40	141,00	5.211,00	4.460.616,00	14.050.940,40	2.476.923,36 €
BASEL MULHOUSE EUROAIRPORT CH	786	557,90	78,00	3.055,63	2.401.725,18	7.565.434,32	1.333.647,46 €
NAPOLES	750	623,50	81,00	3.036,49	2.277.367,50	7.173.707,63	1.264.593,22 €
LEIPZIG	730	778,90	110,00	4.000,67	2.920.489,10	9.199.540,67	1.621.710,47 €
FLORENCIA PERETOLA	704	558,5	77,00	2.891,50	2.035.616,00	6.412.190,40	1.130.351,69 €
TURIN CITTA DI TORINO	695	497,3	68,00	2.732,50	1.899.087,50	5.982.125,63	1.054.539,15 €
HAMBURGO FUHLBUETTEL	683	843,3	122,00	4.324,76	2.953.811,08	9.304.504,90	1.640.213,74 €
ESTOCOLMO ARLANDA	646	1259,9	179,00	6.421,33	4.148.179,18	13.066.764,42	2.303.431,16 €
MANCHESTER INTERNACIONAL	591	631	88,00	3.256,35	1.924.502,85	6.062.183,98	1.068.651,97 €
SOFIA VRAZHDEBNA	588	1.081,40	141,00	5.523,01	3.247.529,88	10.229.719,12	1.803.312,06 €
LONDRES LUTON APT	580	571,90	80,00	2.958,93	1.716.179,40	5.405.965,11	952.972,60 €
TOTAL ESTUDIO	87.320			137.723,52	237.338.435,43	747.616.071,60	131.791.015,95 €

V.II. Cielo Único Europeo sin reducción de velocidad

Destino	Cielo Único Europeo sin reducción de velocidad					Precio (€)
	Distancia en crucero (NM)	Tiempo (min)	Combustible por trayecto (kg)	Combustible total (kg)	Gases emitidos	
LISBOA	69,00	10,00	419,13	2.646.374,19	8.336.078,70	1.469.497,95 €
OPORTO	83,50	13,67	527,57	2.509.099,14	7.903.662,29	1.393.270,85 €
LONDRES HEATHROW	429,40	62,00	2.116,81	9.644.186,36	30.379.187,03	5.355.294,08 €
PARIS ORLY	294,50	49,00	1.476,95	6.105.711,30	19.232.990,60	3.390.423,86 €
ROMA FIUMICINO	552,40	77,00	2.860,80	11.634.873,60	36.649.851,84	6.460.697,40 €
BRUSELAS	510,80	72,00	2.651,44	10.510.308,16	33.107.470,70	5.836.240,51 €
FRANKFURT INTERNACIONAL	670,10	89,00	3.453,13	13.591.519,68	42.813.286,99	7.547.198,09 €
PARIS CHARLES DE GAULLE	235,50	46,00	1.265,00	4.898.080,00	15.428.952,00	2.719.841,56 €
LONDRES GATWICK	483,70	68,00	2.515,11	8.589.100,65	27.055.667,05	4.769.418,40 €
AMSTERDAM SCHIPHOL	642,40	88,00	3.313,73	11.260.054,54	35.469.171,80	6.252.565,14 €
MUNICH FRANZ JOSEF STRAUSS	700,20	102,00	3.604,61	11.628.471,86	36.629.686,36	6.457.142,59 €
ZURICH	546,00	75,00	2.828,59	8.977.944,66	28.280.525,68	4.985.338,53 €
MILAN MALPENSA	474,60	66,00	2.611,46	7.241.578,58	22.810.972,53	4.021.156,52 €
GINEBRA COINTRIN	430,90	61,00	2.123,92	4.615.278,16	14.538.126,20	2.562.805,29 €
VENECIA MARCO POLO	593,50	84,00	3.067,63	5.938.931,68	18.707.634,79	3.297.813,26 €
DUBLIN	588,50	77,00	2.870,72	5.440.014,40	17.136.045,36	3.020.770,84 €
DUSSELDORF	593,10	85,00	2.892,34	5.446.276,22	17.155.770,09	3.024.247,95 €
VIENA INTERNACIONAL	746,90	108,00	3.621,14	6.601.338,22	20.794.215,39	3.665.639,19 €
TOULOUSE BLAGNAC	178,40	23,00	1.059,23	1.790.098,70	5.638.810,91	994.019,05 €
MILAN LINATE	449,90	65,00	2.213,97	3.480.360,84	10.963.136,65	1.932.600,13 €
LONDRES STANSTED	501,00	67,00	2.456,16	3.760.380,96	11.845.200,02	2.088.091,74 €
BERLIN TEGEL	869,50	119,00	4.456,62	6.288.290,82	19.808.116,08	3.491.807,95 €
LYON SATOLAS	287,00	40,00	1.441,33	1.859.315,70	5.856.844,46	1.032.454,37 €
MARSELLA	247,00	32,00	1.323,08	1.649.880,76	5.197.124,39	916.157,81 €
BUCAREST OTOPENI INTERNACIONA	1.096,40	152,00	5.598,50	6.807.776,00	21.444.494,40	3.780.271,47 €
NIZA COTE D-AZUR	336,10	48,00	1.772,22	2.043.369,66	6.436.614,43	1.134.657,20 €
ROMA CIAMPINO	550,50	75,00	2.690,67	3.086.198,49	9.721.525,24	1.713.726,79 €
ATENAS ATHINA	1.077,20	142,00	5.501,88	6.228.128,16	19.618.603,70	3.458.400,39 €
NANTES ATLANTIQUE	230,00	36,00	1.237,21	1.349.796,11	4.251.857,75	749.524,62 €
PRAGA RUZYNE	791,10	111,00	4.062,06	4.127.052,96	13.000.216,82	2.291.700,04 €
COPENHAGUE	909,50	127,00	4.657,92	4.681.209,60	14.745.810,24	2.599.416,18 €
BURDEOS	111,90	14,00	634,52	626.267,29	1.972.741,97	347.758,27 €
MILAN BERGAMO	469,10	67,00	2.441,64	2.265.841,92	7.137.402,05	1.258.193,21 €
BUDAPEST FERIEGY	982,50	134,00	5.025,29	4.301.648,24	13.550.191,96	2.388.650,58 €
BASEL MULHOUSE EUROAIRPORT CH	522,70	73,00	2.867,94	2.254.200,84	7.100.732,65	1.251.729,07 €
NAPOLES	610,00	79,00	2.972,56	2.229.420,00	7.022.673,00	1.237.968,58 €
LEIPZIG	730,30	104,00	3.756,09	2.741.945,70	8.637.128,96	1.522.567,59 €
FLORENCIA PERETOLA	627	73,00	2.732,97	1.924.010,88	6.060.634,27	1.068.378,78 €
TURIN CITTA DI TORINO	431	64,00	2.378,97	1.653.384,15	5.208.160,07	918.103,20 €
HAMBURGO FUHLBUETTEL	807,3	117,00	4.143,59	2.830.071,97	8.914.726,71	1.571.502,99 €
ESTOCOLMO ARLANDA	1224,5	176,00	6.243,17	4.033.087,82	12.704.226,63	2.239.522,39 €
MANCHESTER INTERNACIONAL	619,4	83,00	3.197,98	1.890.006,18	5.953.519,47	1.049.496,40 €
SOFIA VRAZHDEBNA	1.038,00	139,00	5.304,60	3.119.104,80	9.825.180,12	1.731.999,24 €
LONDRES LUTON APT	563,00	78,00	2.914,14	1.690.201,20	5.324.133,78	938.547,24 €
TOTAL ESTUDIO			127.304,38	215.990.191,15	680.369.102,14	119.936.607,30 €

V.III. Cielo Único Europeo con reducción de velocidad

Destino	Cielo Único Europeo con reducción de velocidad				Gases emitidos	Porcentaje de reducción	Precio (€)
	Distancia en crucero (NM)	Tiempo (min)	Combustible por trayecto (kg)	Combustible total (kg)			
LISBOA	69,00	20,00	425,95	2.689.460,93	8.471.801,92	-43,47%	1.493.423,46 €
OPORTO	83,50	14,00	530,59	2.523.486,04	7.948.981,03	-1,04%	1.401.259,72 €
LONDRES HEATHROW	429,40	64,00	2.115,81	9.639.630,36	30.364.835,63	-3,73%	5.352.764,19 €
PARIS ORLY	294,50	57,00	1.478,02	6.110.134,68	19.246.924,24	-12,64%	3.392.880,11 €
ROMA FIUMICINO	552,40	79,00	2.846,10	11.575.088,70	36.461.529,41	-4,64%	6.427.499,60 €
BRUSELAS	510,80	76,00	2.644,95	10.484.581,80	33.026.432,67	-5,31%	5.821.954,98 €
FRANKFURT INTERNACIONAL	670,10	100,00	3.422,66	13.471.589,76	42.435.507,74	-7,17%	7.480.602,53 €
PARIS CHARLES DE GAULLE	235,50	56,00	1.265,90	4.901.564,80	15.439.929,12	-20,45%	2.721.776,62 €
LONDRES GATWICK	483,70	78,00	2.499,42	8.535.519,30	26.886.885,80	-11,84%	4.739.665,36 €
AMSTERDAM SCHIPHOL	642,40	89,00	3.303,65	11.225.802,70	35.361.278,51	-1,22%	6.233.545,53 €
MUNICH FRANZ JOSEF STRAUSS	700,20	112,00	3.571,76	11.522.497,76	36.295.867,94	-18,32%	6.398.296,52 €
ZURICH	546,00	96,00	2.802,08	8.893.801,92	28.015.476,05	-22,76%	4.938.615,14 €
MILAN MALPENSA	474,60	70,00	2.602,62	7.217.065,26	22.733.755,57	-5,86%	4.007.544,59 €
GINEBRA COINTRIN	430,90	75,00	2.120,47	4.607.781,31	14.514.511,13	-20,01%	2.558.642,38 €
VENECIA MARCO POLO	593,50	89,00	3.050,73	5.906.213,28	18.604.571,83	-8,02%	3.279.645,15 €
DUBLIN	588,50	82,00	2.860,83	5.421.272,85	17.077.009,48	-5,15%	3.010.363,89 €
DUSSELDORF	593,10	88,00	2.880,24	5.423.491,92	17.083.999,55	-4,92%	3.011.596,12 €
VIENA INTERNACIONAL	746,90	110,00	3.604,12	6.570.310,76	20.696.478,89	-6,26%	3.648.410,04 €
TOULOUSE BLAGNAC	178,40	25,00	1.061,17	1.793.377,30	5.649.138,50	-1,46%	995.839,62 €
MILAN LINATE	449,90	68,00	2.209,56	3.473.428,32	10.941.299,21	-7,72%	1.928.750,59 €
LONDRES STANSTED	501,00	73,00	2.452,71	3.755.099,01	11.828.561,88	-3,62%	2.085.158,74 €
BERLIN TEGEL	869,50	130,00	4.410,40	6.223.074,40	19.602.684,36	-9,11%	3.455.594,10 €
LYON SATOLAS	287,00	42,00	1.442,57	1.860.915,30	5.861.883,20	-1,06%	1.033.342,61 €
MARSELLA	247,00	35,00	1.323,36	1.650.229,92	5.198.224,25	-2,54%	916.351,70 €
BUCAREST OTOPENI INTERNACIONA	1.096,40	154,00	5.576,08	6.780.513,28	21.358.616,83	-3,04%	3.765.132,82 €
NIZA COTE D-AZUR	336,10	51,00	1.769,24	2.039.933,72	6.435.791,22	-10,06%	1.132.749,26 €
ROMA CIAMPINO	550,50	78,00	2.684,20	3.078.777,40	9.698.148,81	-3,62%	1.709.605,95 €
ATENAS ATHINA	1.077,20	146,00	5.469,40	6.191.360,80	19.502.786,52	-2,87%	3.437.983,94 €
NANTES ATLANTIQUE	230,00	40,00	1.239,65	1.352.458,15	4.260.243,17	-23,53%	751.002,82 €
PRAGA RUZYNIE	791,10	134,00	4.022,04	4.086.392,64	12.872.136,82	-20,51%	2.269.121,88 €
COPENHAGUE	909,50	135,00	4.616,23	4.639.311,15	14.613.830,12	-7,92%	2.576.150,50 €
BURDEOS	111,90	15,00	636,17	627.901,76	1.977.890,56	-4,28%	348.665,87 €
MILAN BERGAMO	469,10	77,00	2.433,70	2.258.473,60	7.114.191,84	-21,36%	1.254.101,68 €
BUDAPEST FERIEGY	982,50	141,00	4.987,58	4.269.368,48	13.448.510,71	-4,29%	2.370.726,04 €
BASEL MULHOUSE EUROAIRPORT CH	522,70	78,00	2.853,92	2.243.181,12	7.066.020,53	-6,60%	1.245.609,96 €
NAPOLES	610,00	81,00	2.966,74	2.225.055,00	7.008.923,25	-2,30%	1.235.544,75 €
LEIPZIG	730,30	110,00	3.731,87	2.724.265,10	8.581.435,07	-6,72%	1.512.749,78 €
FLORENCIA PERETOLA	527,00	77,00	2.719,63	1.914.619,52	6.031.051,49	-5,94%	1.063.163,88 €
TURIN CITTA DI TORINO	431,00	68,00	2.367,63	1.645.502,85	5.183.333,98	-13,35%	913.726,81 €
HAMBURGO FUHLBUETTEL	807,30	122,00	4.122,04	2.815.353,32	8.868.362,96	-4,69%	1.563.329,91 €
ESTOCOLMO ARLANDA	1.224,50	179,00	6.217,27	4.016.356,42	12.651.522,72	-3,18%	2.230.231,66 €
MANCHESTER INTERNACIONAL	619,40	88,00	3.188,53	1.884.421,23	5.935.926,87	-2,08%	1.046.395,15 €
SOFIA VRAZHDEBNA	1.038,00	141,00	5.273,71	3.100.941,48	9.767.965,66	-4,51%	1.721.913,38 €
LONDRES LUTON APT	563,00	80,00	2.906,23	1.685.613,40	5.309.682,21	-1,78%	935.999,69 €
TOTAL ESTUDIO			126.707,53	215.055.218,80	677.423.939,23	-8,66%	119.417.429,04 €