



Escola d'Enginyeria de Telecomunicació i
Aeroespacial de Castelldefels

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

TREBALL FINAL DE GRAU

TÍTOL DEL TFG: Metodología de evaluación de emisiones en la red de transporte aéreo de pasajeros a partir de datos de tráfico

TITULACIÓ: Grau en Enginyeria en Sistemes Aeroespacials

AUTOR: Pol Lombart Borrás

DIRECTOR: Dr. César Trapote Barreira

DATA: 05 de febrero del 2020

Título: Metodología de evaluación de emisiones en la red de transporte aéreo de pasajeros a partir de datos de tráfico

Autor: Pol Lombart Borrás

Director: Dr. César Trapote Barreira

Data: 05 de febrero del 2020

Resumen

El objetivo de este estudio es obtener una radiografía completa del estado de la aviación a nivel europeo, tanto desde el punto de vista del tráfico existente, pero también y, sobre todo, respecto a las emisiones que generan las operaciones.

En primer lugar, se ha estudiado la situación del sector a nivel regional: hechos recientes a tener en cuenta y políticas que guían a la aviación. También se ha analizado el impacto del sector en la economía, respecto a puestos de trabajo, producto interior bruto o emisiones atmosféricas. El futuro de la aviación europea ha sido debidamente contemplado, incorporando el crecimiento proyectado o las limitaciones existentes. También se ha pretendido dar cabida a algunas medidas que buscan aumentar la capacidad.

En segundo lugar, se ha focalizado el proyecto en el estudio de los gases de efecto invernadero: dióxido de carbono, óxidos de nitrógeno y óxido de carbono. Cada gas tiene un impacto limitado en la atmósfera, por lo que se ha calculado dicho impacto teniendo en cuenta el tráfico analizado. También se han considerado acuerdos y protocolos a cumplir en el futuro, de aplicación en todos los sectores económicos. De esta manera, se han aplicado políticas para reducir las emisiones.

Una vez se han tenido en cuenta estos aspectos, se debe responder a la siguiente pregunta: ¿qué aporta este proyecto a las ideas expresadas anteriormente? Mediante la evaluación del tráfico, se ha determinado una previsión temporal del total de pasajeros y de las emisiones, teniendo en cuenta escenarios como la inclusión de biocombustible y el uso de aeronaves más eficientes, con más capacidad.

Partiendo de una base de datos a nivel europeo, se ha escogido una cierta cantidad de aeropuertos, de la forma más proporcional posible, y, por lo tanto, de decenas de rutas asociadas. A continuación, se han descargado variables como la cantidad de pasajeros u operaciones, la distancia, el fuel o las emisiones de gases. Después de este proceso, se han introducido los distintos

escenarios: aplicar un diez o veinte por ciento de biocombustible, usar una nueva red aérea, formada por aeronaves con más capacidad, o combinar ambos escenarios. Finalmente, una cuarta medida consiste en eliminar aquellas rutas cuya distancia es inferior a 750 kilómetros, con algunas excepciones insulares, ya que dicho trayecto puede realizarse en otros medios de transporte.

En último lugar, se obtienen las principales conclusiones del proyecto, teniendo en cuenta si se reducirán las emisiones lo suficiente como para cumplir con los acuerdos medioambientales firmados.

Title: Emission assessment methodology in passenger air transport network based on traffic data

Author: Pol Lombart Borrás

Director: Dr. César Trapote Barreira

Date: 5th of February 2020

Overview

The aim of this study is to obtain a complete analysis of the state of the European aviation sector, both from the current traffic, but especially, from the emissions generated by operations.

Firstly, the situation of the regional sector has been studied: recent facts to take into account and policies that guide it. Also, the impact of aviation on the economy has been analyzed, in terms of jobs, GDP or atmospheric emissions. The future of the European aviation has been contemplated, with concepts as projected growth or existing limitations. It has also been pretended to accommodate measures which try to increase capacity.

Secondly, the project has been focused on the study of greenhouse gases such as carbon dioxide, nitrous oxides and carbon oxide. Each gas has its impact on the atmosphere, so this impact has been calculated based on the analyzed traffic. Agreements and protocols have been considered to fulfill in the future, concerning all economic sectors. So, policies have been applied in order to reduce the emissions.

Once these aspects have been taken into account, the following question needs to be answered: what does this project contribute to the ideas expressed earlier? A temporal forecast of passengers and emissions has been determined, based on traffic evaluation and including the use of biofuel and more efficient aircraft, increasing its capacity.

Using a European database, a certain amount of airports has been selected, in a proportional way, and, as a consequence, dozens of routes have also been. After this, some variables have been downloaded, for example, the quantity of passengers or operations, distance, fuel or gas emissions. Next, different scenarios have been introduced: applying a ten or twenty percent of biofuel, using a new air network, or combining both. Finally, a fourth measure consists of removing those routes with a distance lower than 750 kilometers, with some exceptions, because it can be travelled by other means of transport.

Finally, the main conclusions of the project have been obtained, analyzing if emissions will be reduced enough to fulfill the environmental agreements.

ÍNDICE

LISTA DE ILUSTRACIONES	2
LISTA DE TABLAS	3
ABREIATURAS Y SÍMBOLOS	4
INTRODUCCIÓN	7
CAPÍTULO I. OBJETIVOS	10
CAPÍTULO II. BACKGROUND	13
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA	19
CAPÍTULO IV. RESULTADOS	26
4.1. Escenario 1: uso de biocombustible en la aviación europea	37
4.2. Escenario 2: una nueva red de aviación europea	41
4.3. Escenario 3: uso de biocombustibles y la nueva red de aviación regional	44
4.4. Escenario 4: restricciones en los enlaces aéreos	56
CONCLUSIONES	66
BIBLIOGRAFÍA	68
ANEXOS	71

LISTA DE ILUSTRACIONES

3.1.	Variación histórica del número de pasajeros, en millones, a nivel mundial y en la región de la UE ampliada (<i>Banco Mundial</i>)	14
4.1.	Diagrama de flujos de las etapas a desarrollar para obtener las emisiones de los gases de efecto invernadero	19
4.2.	Gráfico con los aeropuertos más transitados a nivel europeo durante los años 2016, 2017 y 2018 [30]	21
4.3.	Crecimiento de la demanda aérea mundial en las próximas décadas [34]	23
4.4.	Ejemplos de las consecuencias medioambientales producidas por la aviación [37]	25
5.1.	Tráfico aéreo europeo de los principales estados, con peso relativo incluido	27
5.2.	Número de vuelos por estados miembro y porcentaje relativo	28
5.3.	Número de rutas según intervalos de combustible consumido	32
5.4.	Gráfico circular con peso relativo de cada estado miembro respecto a las emisiones de gases	35
5.5.	Gráfico circular con peso relativo de cada estado miembro respecto a las emisiones de gases	36
5.6.	Figura correspondiente a las emisiones de gases de efecto invernadero para la nueva red europea	43
5.7.	Figura correspondiente a las emisiones de gases de efecto invernadero para la nueva red europea	43
5.8.	Figura correspondiente a las emisiones de gases de efecto invernadero para la nueva red europea	44
5.9.	Emisiones de CO ₂ de los estados miembro en 5 años	47
5.10.	Emisiones de CO ₂ de los estados miembro en 15-20 años	48
5.11.	Emisiones de NO _x de los estados miembro en 5 años	49
5.12.	Emisiones de NO _x de los estados miembro en 15-20 años	50
5.13.	Emisiones de CO ₂ con la red de aviación y un uso de biocombustible	55
5.14.	Emisiones de NO _x con la red de aviación y un uso de biocombustible	55
5.15.	Red europea de ferrocarril de alta velocidad (https://en.wikipedia.org/wiki/High-speed_rail_in_Europe)	57
5.16.	Emisiones de CO ₂ según las nuevas medidas medioambientales	60
5.17.	Emisiones de NO _x según las nuevas medidas medioambientales	60
5.18.	Emisiones de NO _x según las nuevas medidas medioambientales, aplicando biocombustible y la nueva red europea	63

5.19. Emisiones de NO _x , a quince o veinte años, según las nuevas medidas medioambientales, aplicando biocombustible y la nueva red europea	64
---	----

LISTA DE TABLAS

5.1. Número de pasajeros y operaciones analizados, con su correspondiente relación respecto al total obtenido	29
5.2. 25 rutas con más fuel consumido en el espacio europeo	31
5.3. Emisiones GEI por operación de las 20 rutas más concurridas	33
5.4. 10 rutas con más emisiones de CO ₂ en el espacio europeo	34
5.5. Distribución de las emisiones de gases por estado	35
5.6. Distribución de las emisiones de gases unitarias en las rutas con más pasajeros	38
5.7. Distribución de las nuevas emisiones de gases por estados	39
5.8. Comparación de las emisiones de gases por rutas	40
5.9. Comparación de las emisiones de gases por países	40
5.10. Comparación de operaciones al año en los enlaces más concurridos	42
5.11. Emisiones de los estados miembro a 5 años para un escenario con biocombustible y una nueva red de aviación	45
5.12. Emisiones de los estados miembro a 15-20 años para un escenario con biocombustible y una nueva red de aviación	46
5.13. Emisiones de CO ₂ de los estados miembro a 5 años para un escenario con biocombustible y una nueva red de aviación	51
5.14. Emisiones de CO ₂ de los estados miembro a 15-20 años para un escenario con biocombustible y una nueva red de aviación	52
5.15. Emisiones de NO _x de los estados miembro a 5 años para un escenario con biocombustible y una nueva red de aviación	53
5.16. Emisiones de NO _x de los estados miembro a 15-20 años para un escenario con biocombustible y una nueva red de aviación	54
5.17. Pasajeros en dos escenarios temporales	58
5.18. Rutas aéreas eliminadas siguiendo criterios medioambientales	59
5.19. Emisiones de dióxido de carbono actuales, con biocombustible y la nueva red europea, y añadiendo la reducción de rutas	61
5.20. Emisiones de dióxido de carbono actuales, con biocombustible y la nueva red europea, y añadiendo la reducción de rutas, en un plazo de quince a veinte años	62

ABREVIATURAS Y SÍMBOLOS

Abreviaturas y acrónimos

A-1: combustible de turbina de aviación
A320: Airbus 320
A321: Airbus 321
ACI: Consejo Internacional de Aeropuertos
AGP: aeropuerto de Málaga-Costa del Sol
AMS: aeropuerto de Ámsterdam-Schiphol
ARN: aeropuerto de Estocolmo-Arlanda
ASK: asientos por kilómetro ofrecidos
ATM: gestión del tráfico aéreo
AUT: Austria
B737: Boeing 737
B787: Boeing 787
BCN: aeropuerto de Barcelona-El Prat
BEL: Bélgica
BER: aeropuertos de Berlín
BGY: aeropuerto de Milán-Bergamo
BMA: aeropuerto de Estocolmo-Brömma
BRU: aeropuerto de Bruselas Zaventem
CAGR: tasa de crecimiento anual compuesto
CAPA: *Centre for Aviation*
CDG: aeropuerto de París-Charles de Gaulle
CH₄: metano
CIA: aeropuerto de Roma-Ciampino
CO: óxido de carbono
CO₂: dióxido de carbono
CORSIA: *Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation*
CPH: aeropuerto de Copenhague
CRL: aeropuerto de Charleroi
CRO: Croacia
CZE: República Checa
DEN: Dinamarca
DUB: aeropuerto de Dublín
EASA: Agencia Europea de Seguridad Aérea
EC: Comisión Europea
ESP: España
ETS: *emissions trading system*
EUROSTAT: Oficina Europea de Estadística
FCO: aeropuerto de Roma-Fiumicino
FIN: Finlandia

FRA: Francia
FRA: aeropuertos de Fráncfort
GEI: gases de efecto invernadero
GER: Alemania
GRE: Grecia
GVA: aeropuerto de Ginebra
HC: hidrocarburos no quemados
HEFA: *hydroprocessed esters and fatty acids*
HUN: Hungría
IATA: Asociación Internacional de Transporte Aéreo
ICAO: Organización de Aviación Civil Internacional
IPCC: Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático
IRE: Irlanda
ISL: aeropuerto de Estambul-Atatürk
ISL: Islandia
IST: aeropuerto de Estambul
ITA: Italia
LCY: aeropuerto de Londres City
LGW: aeropuerto de Londres-Gatwick
LHR: aeropuerto de Londres-Heathrow
LIN: aeropuerto de Milán-Linate
LIS: aeropuerto de Lisboa
LON: aeropuertos de Londres
LTN: aeropuerto de Londres-Luton
MAD: aeropuerto de Madrid-Barajas
MIL: aeropuertos de Milán
MUC: aeropuerto de Múnich
MXP: aeropuerto de Milán-Malpensa
NCE: aeropuerto de Niza
NED: Holanda
NO_x: óxidos de nitrógeno
NOR: Noruega
NYO: aeropuerto de Estocolmo-Skavsta
O₃: ozono
O/D: origen / destino
ORY: aeropuerto de París-Orly
PAR: aeropuertos de París
PIB: producto interior bruto
POL: Polonia
POR: Portugal
PM: partículas en suspensión
PMI: aeropuerto de Palma de Mallorca
ROM: Rumanía
ROM: aeropuertos de Roma

RPK: ingresos pasajero-kilómetro
SAW: aeropuerto de Estambul-Sabiha Gökçen
SEN: aeropuerto de Londres-Stansted
SES: Cielo Único Europeo
SESAR: *Single European Sky ATM Research*
SO₂: dióxido de azufre
STN: aeropuerto de Londres-Stansted
SWE: Suecia
SWI: Suiza
SXF: aeropuerto de Berlín-Schönefeld
TLS: aeropuerto de Toulouse-Blagnac
TUR: Turquía
TXL: aeropuerto de Berlín-Tegel
UE: Unión Europea
UK: Reino Unido
US EPA: Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos
VOCs: compuestos orgánicos volátiles
VST: aeropuerto de Estocolmo-Västerås
WAW: aeropuerto de Varsovia-Chopin
WMI: aeropuerto de Varsovia-Modlin

Símbolos

Kg: kilogramo
Km: kilómetro
MKg: mega kilogramo
%: porcentaje

INTRODUCCIÓN

En los últimos treinta años, la aviación y la industria de las aerolíneas han sufrido cambios importantes, tanto desde el punto de vista de los competidores existentes (compañías de bajo coste) como por conflictos geopolíticos, económicos o incluso sanitarios. Además, existe un componente tecnológico que hace modernizar el sector, haciendo necesario tomar decisiones que tendrán un impacto en el futuro [1].

En el contexto europeo, se ha producido un proceso revolucionario. Desde el punto de vista del acceso a este bien de consumo, el cambio ha sido notorio. La demanda ha aumentado de forma significativa, de manera inversamente proporcional al precio. Este cambio ha hecho posible algunos hechos muy remarcables en la industria: aumento de la facturación en la aviación, aumento de los destinos servidos, y un aumento del empleo y del negocio en otros sectores de la economía.

Desde el punto de vista de la facturación, el sector de la aviación contribuye en 110 000 millones de euros a nivel europeo. Aun así, su impacto indirecto es superior si tenemos en cuenta el sector del turismo. Otro aspecto importante es la cantidad de destinos o aeropuertos servidos. La creación de un mercado único europeo ha hecho aumentar la competición, haciendo posible crear más aerolíneas, que ofrecen más rutas a lo largo de todo el continente y más allá. Ello ha posibilitado un incremento en el empleo del sector, dando lugar a centenares de miles de puestos de trabajo [2].

La industria de la aviación representa un sector esencial dentro de la economía europea, con un total de 1 043 millones de pasajeros anuales (2017), 5 millones de puestos de trabajo, o una contribución del 2 por ciento a la economía global de la Unión. Teniendo en cuenta la situación actual, se están produciendo crecimientos en 2018 cercanos al 6 por ciento, sobre todo en algunos países de Europa Oriental, así como en los Estados Bálticos. Esta tasa de crecimiento aproximada está prevista que se mantenga hasta el año 2050, haciendo necesarios aumentos de capacidad. Otros estudios [3] indican que el número de pasajeros a nivel mundial aumentará de los 3 800 millones en el año 2006 hasta un intervalo entre los 5 600 millones hasta los 7 700, con un crecimiento máximo inferior al 3 por ciento anual. Evidentemente, dicho índice de crecimiento varía según las regiones a considerar.

De esta manera, y analizando la situación de los aeropuertos europeos, se está llegando a una situación límite en torno a la capacidad. En consecuencia, el tráfico se verá limitado en los próximos meses e incluso años. A modo de ejemplo, el crecimiento durante el mes de mayo en el conjunto europeo fue de

un 3 por ciento aproximadamente. Aunque aparecen grandes crecimientos en países como Austria, Polonia o Rumanía, otros estados ya tienen crecimientos negativos (Dinamarca o Suecia). De igual manera, los grandes aeropuertos de la región presentan un tímido avance de poco más de un 1 por ciento (Fráncfort, Londres, Ámsterdam), hecho que refuerza la hipótesis de una saturación en estas infraestructuras [4]. Así, deben encontrarse medidas que puedan aumentar la capacidad futura, relacionada con la eficiencia del espacio aéreo. Algunos ejemplos en esta dirección son el Cielo Único Europeo, posibles nuevas aeronaves y/o rutas más eficientes [5].

Un segundo elemento a tener en cuenta en la aviación actual es estudiar el papel de los gases de efecto invernadero. Estos gases, algunos de los cuales son CO₂ (dióxido de carbono), NO_x (óxidos de nitrógeno), CH₄ (metano) u O₃ (ozono), forman parte de la atmósfera, ya sea de forma natural o producidos por la actividad humana. Los gases de efecto invernadero mantienen la temperatura y la vida del planeta, obteniendo calor por radiación. De esta manera, al producir más gases, se obtiene más calor por radiación. A continuación, se va a desarrollar de forma breve cada gas por separado, señalando su contribución proporcional a la atmósfera.

En primer lugar, el dióxido de carbono aparece por la quema de combustibles fósiles, residuos, materias biológicas u otras reacciones químicas. Su contribución representa un 81 por ciento del total de gases de efecto invernadero en nuestro país el pasado 2018 [6]. En segundo lugar, el metano se emite en el transporte y producción de gas natural, carbón o combustible. Este representa un 12 por ciento de las emisiones producidas. Por último, el óxido de nitrógeno, que totaliza un 6 por ciento aproximadamente de las emisiones de gases, se produce en las combustiones fósiles o en actividades industriales [7].

Respecto al sector analizado, el transporte de tipo aéreo aporta el 2 por ciento del total de gases producidos, pero su proporción será de casi el 5 de aquí al 2050 [8]. Este aumento supone un inconveniente, ya que el objetivo marcado por casi todos los estados es disminuir dichos gases. A raíz del protocolo de Kioto, se ha llegado a la conclusión de que deben combatirse las emisiones de gases, sobre todo de CO₂, también en el caso de las aeronaves existentes y futuras. A modo de aproximación, cada pasajero produce 100 kg de CO₂ por cada hora de vuelo, y cada Kg de fuel corresponde a 3,16 Kg de CO₂ [9].

Una vez analizadas las características esenciales del sector aéreo y medioambiental, deben aportarse soluciones que intenten disminuir la cantidad de gases de efecto invernadero, responsables de la pérdida de ecosistemas y del futuro de seres vivos. La clave de esta medida es el uso eficiente del fuel. Algunas posibles políticas deberían ser el menor uso de combustible o una gestión más eficaz, con la introducción de biocombustibles.

En segundo lugar, un ahorro de tiempo en los procedimientos de taxi, despegue y aterrizaje harían disminuir las emisiones. Este ahorro significa una disminución de la distancia recorrida, por lo tanto, de gases de efecto invernadero. Además, existen investigaciones a nivel europeo con tal de redimensionar las rutas aéreas e incrementar su eficacia, descongestionando los cuellos de botella actuales. Otra investigación presente consiste en un procedimiento de descenso continuo, que consiste en aterrizar linealmente para reducir las emisiones producidas, así como el tiempo de vuelo.

En tercer lugar, el uso de materiales composites en el diseño de aeronaves reduciría su peso, disminuyendo de esta manera el consumo de combustible. Otras medidas que también beneficiarían al medioambiente podrían ser la incorporación de *winglets* integrados, avances en los sistemas de propulsión, y en la energía de uso mediante pilas de combustible. Otra medida podría consistir en el reciclaje de las aeronaves al final de su vida útil.

El trabajo intenta abarcar las ideas y conceptos descritos anteriormente. De esta manera, se produce un análisis completo de la situación de la aviación actual a nivel europeo, así como posibles tendencias futuras. Se parte de una base de datos europea que incluye una serie de aeropuertos, en la mayoría de los casos los más importantes. Aun así, existen excepciones para poder tener una visión del conjunto más detallada. Cada aeropuerto está relacionado con un número de pasajeros anuales y una cantidad de operaciones con los otros, a través de las rutas aéreas. Así, se puede obtener la cantidad de enlaces semanales o los pasajeros en cada enlace. Adicionalmente, se puede predecir el tipo de aeronave usado. Ello permite poder aproximar el para cada ruta.

Teniendo en cuenta la información anterior, el documento también analiza la cantidad de combustible emitido a la atmosfera, así como las emisiones de dióxido de carbono, monóxido de carbono u óxidos de nitrógeno. Una vez determinado el panorama, se introduce el concepto de biocombustible y su aplicación a la aviación comercial, es decir, la sostenibilidad de su uso a nivel continental. Sus consecuencias y beneficios también se desarrollan en extensión.

Un último concepto presente es la introducción de la optimización dentro del sistema europeo de rutas aéreas. Existen múltiples estudios que profundizan en dicha materia. El objetivo es poder determinar qué incremento tendrá en la eficiencia y capacidad del sistema, también presentes en este estudio. Además de las modificaciones en dichas variables, un último escenario del proyecto consiste en combinar esta optimización con el uso de biocombustibles. Esta etapa final puede determinar qué capacidad de mejora existe, qué futuro puede aportar la industria aeronáutica a nivel global.

CAPÍTULO I. OBJETIVOS

El objetivo del documento es evaluar el total de emisiones producidas en la red de transporte aéreo a partir de datos de tráfico. Detalladamente, se busca mejorar la sostenibilidad medioambiental en la aviación comercial, reduciendo las emisiones descritas anteriormente. Otro fin a tener en cuenta es poder establecer una previsión temporal del total de gases, según diversos escenarios contemplados en el proyecto, ya sea mediante el uso de biocombustibles y/o el uso de aeronaves más eficientes. De esta manera, debe obtenerse el porcentaje de reducción de los GEI (gases de efecto invernadero) según el escenario aplicado a varias décadas en vista.

Respecto a la segunda herramienta para mejorar la sostenibilidad, es decir, aumentar la eficiencia, las aerolíneas cada vez obtienen menos ingresos por pasajero, debido a la feroz competencia existente en el sector. En consecuencia, deben reducir los costes producidos. Una manera es disminuir el consumo de combustible por aeronave, a través de nuevos motores. Una segunda opción resulta de utilizar modelos con más capacidad, hecho que disminuya los costes por pasajero, así como los costes totales, ya que la compañía necesitaría menos operaciones para transportar al mismo número de viajeros. Finalmente, una última opción pasa por utilizar aeronaves hechas de materiales compuestos. Sus características son mejores (ej. relación entre resistencia, fuerza y peso), y ya existen procedimientos para abaratar su coste, como es la automatización de sus piezas [10].

Una vez determinados los objetivos centrales del trabajo, deben definirse otros de carácter más específico. Su existencia resulta necesaria para obtener los primeros. Algunos de estos últimos son los detallados a continuación.

Un primer fin es tener un panorama completo de la situación actual de la aviación a nivel europeo. Mediante el uso de bases de datos, se puede obtener el número de pasajeros, vuelos, gases emitidos o cantidad de fuel consumido. A continuación, es necesario poder obtener una red de transporte con nuevas aeronaves, pudiendo reducir las cantidades de los GEI o el fuel. Después de la obtención de estas matrices, cabe estudiar el papel de los biocombustibles y sus ventajas respecto al tradicional, teniendo en consideración tanto el proceso de obtención como el de posterior uso en las aeronaves.

El objetivo último del proyecto consiste en evaluar el nivel de incorporación de las soluciones planteadas a la red aérea. Tanto desde el punto de vista de la nueva flota como del biocombustible usado, debe obtenerse una situación aplicable temporalmente, también desde la proporción nueva tecnología

respecto de la estándar. Todo ello permite poder demostrar analíticamente un crecimiento de la aviación sostenible.

Una vez identificados los motivos del trabajo, deben proporcionarse las herramientas para obtener los objetivos. Partiendo desde la definición misma, un buen comienzo consiste en obtener la información relativa al sector de la aviación y el medioambiente, dentro de un contexto europeo. La obtención del tráfico continental según rutas, con su correspondiente aportación medioambiental, es indispensable para conocer la situación actual. Además, hace falta conocer la investigación presente tanto en aviación como en alternativas al fuel para determinar qué cantidad de emisiones pueden reducirse. En el último caso, deben revisarse los estudios realizados en materia de biocombustible para poder aplicarse en rutas existentes día tras día. De manera relacionada, la industria aeronáutica ya está diseñando aeronaves de mayor capacidad, hecho que podría disminuir la cantidad de frecuencias diarias usadas y, por lo tanto, de emisiones de gases de efecto invernadero. En el siguiente capítulo, se intentará hacer un análisis más pormenorizado de la industria europea del transporte aéreo y su relación medioambiental, en el presente, pero también en las próximas décadas.

En definitiva, los objetivos del trabajo se pueden resumir de una forma detallada a través de una lista:

- Selección de la región a estudiar, aeropuertos y rutas correspondientes
- Obtención de diversos parámetros respecto a los campos anteriores
- Calcular la cantidad de fuel y gases de efecto invernadero para cada ruta aérea
- Determinar qué consecuencias en las variables produce la optimización del espacio europeo
- Analizar y determinar los cambios producidos debido al uso de biocombustibles y una nueva configuración de la flota

- Poder determinar los resultados en un futuro escenario donde se combinasen el uso de *bio-fuel* con la optimización del espacio aéreo europeo

CAPÍTULO II. BACKGROUND

La industria de la aviación ha sufrido una revolución en los últimos 50 años. Desde los aproximadamente 310 millones de pasajeros en el 1970 hasta los cerca de 4 000 millones el pasado 2017 [11], hay una tendencia a utilizar de forma más continua el transporte por aire. De hecho, está previsto que en el año 2036 el número de pasajeros sea cercano a 7 800 millones [12], un crecimiento anual de un 3,5 por ciento. Si se dividen dichos resultados por continentes, se observa que el área de Asia-Pacífico ha pasado de 55 millones de pasajeros en el 1974 a más de 1 270 millones el 2017. Este dato resulta aún más interesante desde el punto de vista de la proporción. El 1974 esta área suponía el 13 por ciento del total de viajeros. En cambio, este porcentaje aumentó al 32 en el 2017. Siguiendo este razonamiento, las zonas correspondientes a la Unión Europea (UE) y América del Norte han descendido desde una proporción del 73 por ciento a un 43 en el mismo periodo temporal. Los datos expuestos anteriormente indican que el centro mundial respecto a esta industria se está desplazando al este.

Un segundo elemento a tener en cuenta es la riqueza que la aviación produce en el contexto global. Un 3,6 por ciento del PIB mundial corresponde a este sector, dando empleo a más de 65 millones de personas, tanto directa como indirectamente. Evidentemente, durante las próximas décadas estará previsto un aumento de la demanda de puestos de trabajo dentro del sector, aunque de manera más focalizada en países asiáticos como China, India, Vietnam o Indonesia, así como en estados africanos (Nigeria, República Democrática del Congo o Etiopía). Una causa principal de este aumento resulta en el incremento de capacidad ofrecido por las aerolíneas, hecho que hace posible el aumento de pasajeros a nivel mundial. Este crecimiento fue de un 6,1 por ciento, expresado en asientos-kilómetro disponibles (ASK), en el año 2017 [13]. Los mayores incrementos se producen en Asia-Pacífico, África y Latinoamérica.

Con el objetivo de producirse estos incrementos en la aviación, es necesario un buen desarrollo e investigación en campos cruciales como pueden ser la capacidad, seguridad, eficiencia o desarrollo económico. Además, debe añadirse el hecho de que el proyecto va destinado a un contexto europeo. En consecuencia, se van a aportar ciertas ideas respecto a la aviación a nivel europeo.

En primer lugar, cabe destacar el hecho de que el estudio se focaliza en el área europea más una serie de países de la región de Asia Central. En consecuencia, a la hora de analizar los datos, se han seleccionado dichos países además de los de Europa geográficamente hablando. En el año 1991, 342 millones de pasajeros utilizaron el transporte aéreo en esta región del mundo. En el 2017,

dicho valor aumentó hasta los 1 021 millones, con un crecimiento medio anual del 2,5 por ciento. El porcentaje total mundial de pasajeros dentro del área estudiada refleja un paulatino descenso desde el 30,2 por ciento inicial hasta el 25,7 actual. Teniendo en cuenta las previsiones futuras, la ICAO [14] prevé un crecimiento global hasta el 2035 de un 4,3 por ciento anual, reducido a un 2,7 en el área de Europa más los países de Asia Occidental seleccionados (Rusia y Turquía). Otros países tenidos en cuenta serían Islandia, Noruega o Suiza.

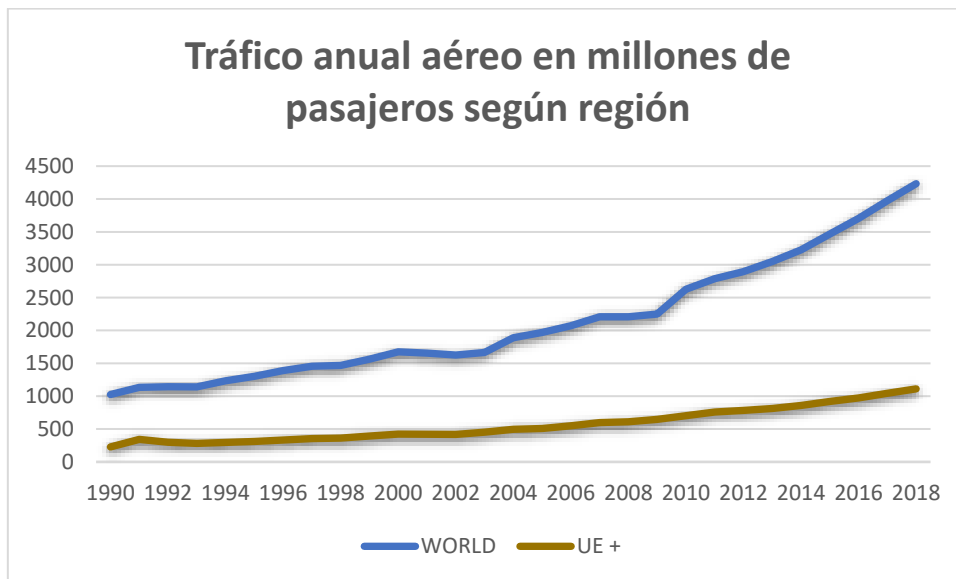


Ilustración 3.1: Variación histórica del número de pasajeros, en millones, a nivel mundial y en la región de la UE ampliada (*Banco Mundial*)

Un segundo elemento a analizar para poder tener una base de datos fidedigna es obtener la congestión del espacio aéreo existente. Uno de los principales inconvenientes existentes en Europa resulta de no disponer de un sistema de navegación aérea único: cada Estado miembro tiene competencias propias en la administración del tráfico aéreo. Esta dispersión competencial aumenta los costes derivados de retrasos, cancelaciones o las longitudes de las rutas. Según IATA, el pasado 2017 hubo un total de 19 millones de minutos de retraso. En el día más concurrido de ese año, hubo un total de 37 000 vuelos en el espacio europeo [15]. En 2030, dicha cifra aumentará hasta los 55 000 vuelos, haciendo inviable este incremento de la demanda. Debe existir una reorganización en la estructura actual, y medidas como el proyecto SESAR (*Single European Sky ATM Research*) pueden ayudar a combatir esta congestión, a través de mayor eficiencia operativa, menores costes o un aumento de la capacidad.

Algunos elementos relacionados con el anterior, que dificultan una expansión del crecimiento del sector, son la congestión de algunos aeropuertos y rutas aéreas, la falta de conectividad de aeropuertos regionales, debido a menores

condiciones de oferta y demanda, el mayor impacto de tasas aeroportuarias respecto a otras áreas geográficas, o la titularidad de las industrias del sector (pública, privada o público-privada).

Teniendo en cuenta la información introducida anteriormente, se debe plantear el papel del sector medioambiental en la aviación. En primer lugar, es necesario comentar los gases de efecto invernadero más perjudiciales para la atmósfera. El óxido de nitrógeno NO_x, monóxido de carbono o, posteriormente, el dióxido de carbono CO₂, suponen una prioridad para la Comisión Europea, no solamente respecto al transporte aéreo. Como medida a aplicar, la Comisión publicó una directiva para limitar estas emisiones (*Directiva 2008/50/EC*) en todos los campos de transporte [16]. De forma resumida, esta directiva pretende establecer criterios de calidad para reducir los efectos perjudiciales para la vida humana y el medio ambiente, obtener información sobre los niveles de calidad del aire, mejorar los niveles existentes y fomentar la cooperación entre Estados miembros con tal de reducir este tipo de contaminación [17].

Un aspecto esencial antes de desarrollar el papel de la industria medioambiental en la aviación es determinar el nivel de emisiones total y en este sector. De esta forma, la emisión total de GEI en 2017 se sitúa a nivel nacional en unos 340,2 millones de toneladas de CO₂-equivalente, un 18 por ciento superior al año anterior pero un 23 por ciento inferior al máximo del año 2005. Esta cifra se expresa en CO₂-equivalente ya que así lo indica el Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC). Por sectores, el transporte aporta el 26 por ciento de las emisiones totales, mientras que tanto la industria como la generación eléctrica contribuyen en una quinta parte, respectivamente. Por último, la aviación emite 2,81 millones de toneladas de CO₂-equivalente, un 5 por ciento superior al 2016 pero casi un 30 por ciento inferior respecto al año 2005 [18].

El papel de la aviación en la industria medioambiental sigue siendo minoritaria, aunque en claro ascenso. Las emisiones globales de CO₂ producidas por la aviación corresponden a más de un 2 por ciento del total, aunque para 2050 el porcentaje podría crecer entre un 300 y un 700 por ciento [19]. Sin embargo, las aeronaves emiten otras sustancias descritas anteriormente, hecho que hace incrementar el impacto en el cambio climático como mínimo al doble del valor anterior. La razón es el incremento en la cantidad de NO_x debido al tráfico aéreo presente en altitud de crucero [20]. También debe añadirse que menos del 10 por ciento de la población mundial ha viajado en transporte aéreo alguna vez en su vida. Sin embargo, los perjuicios para la atmosfera son muy sustanciales, y deben revisarse y reducirse en la medida de lo posible.

Algunas medidas están en funcionamiento, como recibir ayudas por reducciones en emisiones o mejoras en las tecnologías o sistemas presentes en tráfico aéreo. Aun así, las emisiones de gases de efecto invernadero deben reducirse en un porcentaje muy importante, y hace falta un gran abanico de medidas para poder llegar a cierta sostenibilidad. Según el programa *EU Emissions Trading System*, está prevista una reducción para el año 2030 del 43 por ciento en las emisiones totales [21]. Sin embargo, este decremento incluye todos los sectores productivos, por lo que deben obtenerse análisis específicos para la aviación comercial. Además, debe tenerse en cuenta el siguiente objetivo: para 2050, las emisiones de gas de efecto invernadero en el transporte deberán ser un 60 por ciento inferiores a las actuales [22].

Para el año 2020, las emisiones correspondientes a la aviación serán un 70 por ciento superiores al 2007. Teniendo en cuenta este dato, así como el crecimiento hasta 2050, deben producirse reducciones para poder cumplir con el Protocolo de Kyoto y el Acuerdo de París. Con tal de avanzar en esta dirección, el proyecto CORSIA (*Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation*) pretende estabilizar las emisiones de CO₂ para el año que viene. Aunque las primeras fases son voluntarias, está previsto que un 80 por ciento de las emisiones suplementarias producidas a partir de 2020 puedan ser compensadas con este ahorro [23].

Algunas prioridades de acción serían el uso de tecnologías avanzadas, el desarrollo de alternativas energéticas menos contaminantes o el uso de vehículos sin emisiones. Dentro de las prioridades enumeradas, el proyecto se focaliza en el uso de tecnologías energéticas menos dañinas para la atmósfera. En concreto, el uso de fuel renovable (*biofuel*) contribuye a la política europea respecto a cambio climático, energía o medioambiente. A pesar de esta afirmación, no todos los extractos acaban resultando beneficiosos al cambio climático.

A modo de ejemplo, los agrocombustibles (extraídos a base de aceite de palma o colza) emiten menos dióxido de carbono que los actuales. Sin embargo, si se tiene en cuenta la producción y la deforestación, su impacto a la atmósfera es mayor que el fuel actual. Esta es la razón por la cual la Comisión Europea ha pedido disminuir su uso del 4 por ciento actual a un 3 por ciento en 2030, a pesar de haber potenciado su uso a lo largo de esta década [24].

Existen otros tipos de *biofuel* que pueden resultar beneficiosos no solamente para la aviación sino también para la producción de gases de efecto contaminante. Así, la soja, la canola, la camelina, la jatropha y las algas pueden servir como sustitutos del combustible convencional. Si, además, se apartan aquellos utilizados en cultivos alimenticios, se pueden obtener los biocombustibles candidatos. Estos últimos tipos pueden complementarse en

cuanto a su uso, pero resulta especialmente significativo el hecho de que las algas pueden crecer en aguas contaminadas, hecho que hace posible su extensión a gran escala. De hecho, ya existen precedentes en el uso de estas extracciones como fuel destinado a la aviación [25].

Según la Unión Europea, sólo existe una única meta respecto al uso de biocombustibles en la aviación continental: el consumo de 2 millones de toneladas para el año 2020 [26]. Sin embargo, sí existe una cuota mínima de un 10 por ciento de uso de biocombustibles en la industria del transporte. Es por ello que resulta esencial su mayor uso en la flota de aeronaves. La prueba de esta concienciación por parte de aerolíneas y otros agentes es el uso de *biofuel* en 2.000 vuelos, progreso no suficiente para los ambiciosos objetivos que debemos obtener. Una meta adicional por parte de las instituciones comunitarias es la creación de un plan con metas específicas y horizontes temporales concretos. Medidas que ya deberían estar en implementación o incluso en marcha son el abastecimiento del primer millón de toneladas de biocombustible en la aviación, la creación de la segunda serie de plantas destinadas a biocombustible y su posterior uso en la mayoría de aeropuertos de la Unión Europea, es decir, su comercialización [27].

Otra prioridad consiste en el uso de nuevas tecnologías eléctricas. En este sentido, se están produciendo investigaciones e incluso nuevos modelos de aeronave que incorporarían motores eléctricos. Ya existen predicciones para incorporar dichos modelos en el mercado aeronáutico de corto radio en las próximas dos décadas. También existen ya aeronaves que utilizan energía solar para su funcionamiento, aunque de momento no puede aplicarse a la aviación comercial [28]. Otro ejemplo de investigación consiste en el uso de hidrógeno como combustible en trayectos de corta distancia. Sin embargo, un inconveniente es el coste de producir y almacenar dicho gas [29]. Finalmente, otros mecanismos para suministrar energía eléctrica serían baterías, capacitadores o celdas de combustible.

Un factor a tener en cuenta es observar y analizar los grupos de interés existentes en la industria de la aviación, así como en su vertiente más medioambiental. De forma muy resumida, se puede interpretar que los viajeros o las agencias de viaje son grupos de interés, ya que tienen interés en el futuro de la aviación, pero poco poder de decisión. De manera un poco diferente, los diversos proveedores (aeronaves, combustible...) tienen cierto poder e interés en la industria. Por último, los organismos oficiales, ya sea en forma de aeropuertos, navegación aérea o aviación civil, tienen gran interés y poder de decisión en la aviación. Podría añadirse que esos organismos oficiales también tienen a su disposición amplias medidas en el campo del medioambiente, de forma consensuada con el sector de la industria y del transporte.

Sin embargo, existen otros grupos de interés contrapuestos a los deseos de la industria de la aviación: en primer lugar, hay una cierta competencia entre el transporte aéreo y el ferroviario hasta un cierto límite radial. Ello debe añadirse al hecho de que las emisiones producidas en tren son hasta diez veces menores. Un segundo grupo podría corresponder a aquellos ciudadanos que sufren los efectos de la contaminación acústica producida por los ruidos de los motores, ya sea cerca del hogar o en situaciones cotidianas. Esos ciudadanos tendrán deseos de reducir el número de vuelos que sobrevuelan una zona particular, deseo seguramente opuesto al de una aerolínea o incluso del mismo aeropuerto.

De forma parecida, aquel sector de la población más preocupado por el cambio climático tendrá opiniones y decisiones contrarias a esta industria. Existe un movimiento global que pone en cuestión el cómo está utilizándose este medio de transporte, así como la cantidad de gases que produce cuando sólo una pequeña porción de la población lo ha utilizado.

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA

La finalidad de este apartado es poder realizar una descripción detallada de la metodología desarrollada en este trabajo. Con el objetivo de cuantificar las emisiones, deben evaluarse datos de tráfico a nivel europeo, analizando no solamente variables como número de pasajeros, vuelos o distancias, sino también cantidades de combustible consumidas o emisiones que producen los vuelos seleccionados. Después de dicho estudio, se buscan escenarios donde poder reducir el impacto en la atmósfera, ya sea a través de una nueva flota de aeronaves más grandes y eficientes, o de un uso progresivo de biocombustibles. En este capítulo, se desarrollará el análisis de los datos a tener en cuenta, su integración y, a través de cálculos y estimaciones, la respuesta al desafío planteado.

Resulta especialmente relevante para su comprensión la creación de un diagrama de flujos para poder detallar las distintas etapas del proceso, y así obtener la variable deseada, esto es, las emisiones vertidas a la atmosfera.

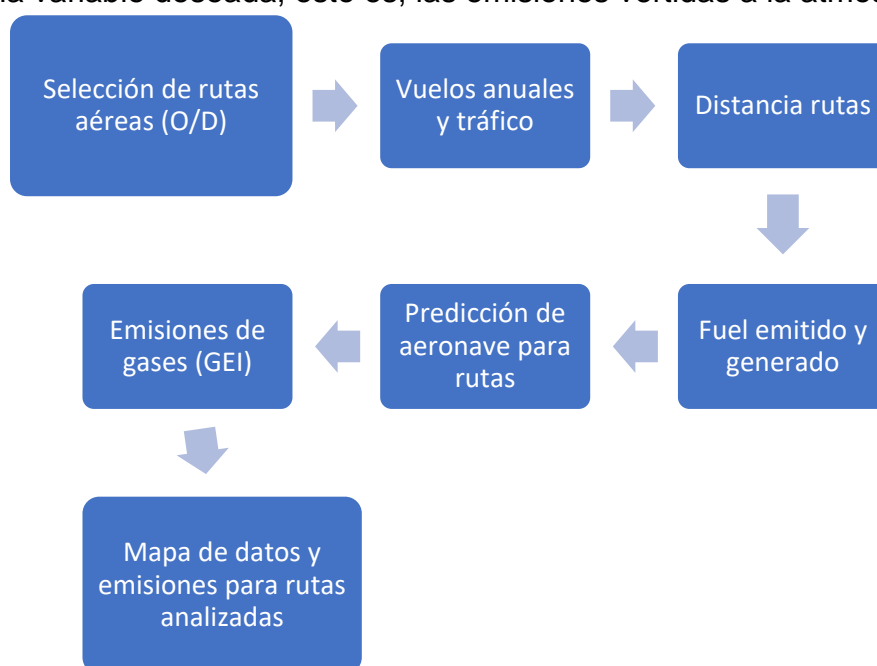


Ilustración 4.1: Diagrama de flujos de las etapas a desarrollar para obtener las emisiones de los gases de efecto invernadero

Una primera etapa inicial consiste en partir de unos datos, a través de los cuales se irán obteniendo variables a tener en cuenta. Mediante la base de datos de Eurostat, se pueden obtener datos respecto una ruta entre dos puntos dentro del continente. En consecuencia, existirán rutas definidas con origen y destino, con unos campos determinados. Antes de poder extraerlos, deben escogerse los

aeropuertos afectados. Deben prevalecer aquellos con más pasajeros, pero también una presencia mínima en la mayoría de estados miembro. Analizando dicha estadística del año 2018, el aeropuerto londinense de Heathrow albergó 80,1 millones de pasajeros. En segundo lugar, el aeropuerto de Charles de Gaulle en París tuvo un total de 72,2 millones y el aeropuerto de Schiphol, en Ámsterdam, 71,1 millones. Otros aeropuertos que forman parte del top 10 de la lista serían Fráncfort, Estambul, Madrid, Barcelona, Múnich o Moscú. Sin embargo, también están presentes instalaciones más modestas, pero que representan a un estado miembro de la Unión. La razón es tener una representación lo más amplia posible, y que englobe a casi la totalidad de países de la región. A continuación, se aporta una lista de los aeropuertos seleccionados:

- Aeropuertos de Bruselas (BRU, CRL)
- Aeropuerto de Praga
- Aeropuerto de Copenhague
- Aeropuertos de Berlín (TXL, SXF)
- Aeropuerto de Fráncfort
- Aeropuerto de Hamburgo
- Aeropuerto de Múnich
- Aeropuerto de Dublín
- Aeropuerto de Atenas
- Aeropuerto de Barcelona
- Aeropuerto de Madrid
- Aeropuerto de Málaga
- Aeropuerto de Palma de Mallorca
- Aeropuerto de Toulouse
- Aeropuerto de Lyon
- Aeropuerto de Marsella
- Aeropuertos de París (CDG y ORY)
- Aeropuerto de Zagreb
- Aeropuertos de Milán (MXP, LIN, BGY)
- Aeropuerto de Venecia
- Aeropuertos de Roma (FCO, CIA)
- Aeropuerto de Nápoles
- Aeropuerto de Budapest
- Aeropuerto de Ámsterdam
- Aeropuerto de Viena
- Aeropuertos de Varsovia (WAW y WMI)
- Aeropuerto de Oporto
- Aeropuerto de Lisboa
- Aeropuerto de Bucarest
- Aeropuerto de Helsinki
- Aeropuerto de Gotemburgo
- Aeropuertos de Estocolmo (ARN, NYO, BMA, VST)
- Aeropuerto de Birmingham
- Aeropuerto de Mánchester
- Aeropuertos de Londres (LHR, LGW, STN, LTN, LCY, SEN)
- Aeropuerto de Keflavík
- Aeropuerto de Oslo
- Aeropuerto de Ginebra
- Aeropuerto de Zúrich
- Aeropuertos de Estambul (ISL, SAW)¹

¹ Las estadísticas de tráfico aéreo de pasajeros corresponden al año 2018. En consecuencia, no se puede tener en cuenta la entrada en servicio del nuevo

aeropuerto de Estambul (IST), inaugurado en octubre del año 2018.

Teniendo en cuenta el listado saliente, cabe destacar que conforme el país tiene más importancia económica o turística, la cantidad de aeropuertos representados aumenta. También, debe tenerse en cuenta el hecho de que algunas ciudades disponen de más de un aeropuerto importante, y su tráfico debe estudiarse. Este es el caso de Bruselas, Berlín, París, Milán, Varsovia, Estocolmo, Londres o Estambul. Para complementar el listado anterior, se aporta un gráfico con los aeropuertos europeos con mayor tráfico de pasajeros:

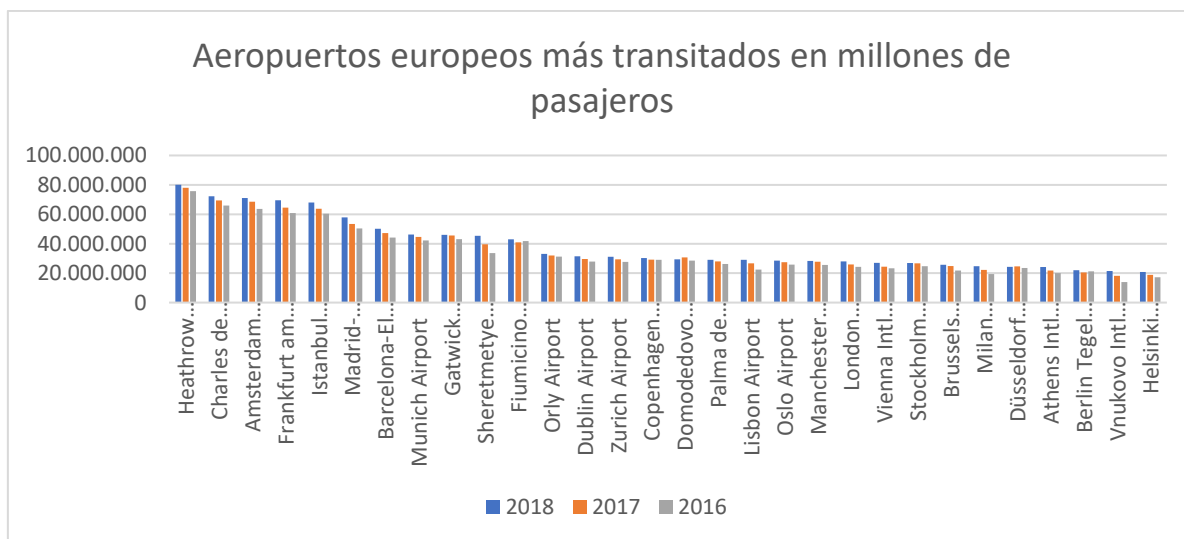


Ilustración 4.2: Gráfico con los aeropuertos más transitados a nivel europeo durante los años 2016, 2017 y 2018 [30]

En segundo lugar, deben obtenerse variables referidas al tráfico anual. Algunos de estos campos hacen referencia al número de pasajeros anuales, la cantidad de vuelos en ese periodo de tiempo, o la distancia entre O-D. Además de dichos resultados, indirectamente se puede calcular la cantidad de pasajeros por aeronave o la frecuencia presente en cada ruta aérea. Un aspecto a tener en cuenta en este análisis es la extracción de variables en la base de datos de Eurostat correspondientes al año 2017. No todos los países continentales disponen de información completa respecto al año 2018. En consecuencia, y para mantener una coherencia temporal, se ha decidido partir de un año anterior.

Una tercera etapa corresponde en poder determinar la cantidad de combustible emitido y generado en una ruta. No solamente resulta productivo poder cuantificar dicha cantidad emitida por una aeronave, sino que se debe, también, estudiar su producción para emisión posterior.

Un elemento fundamental a la hora de cuantificar las emisiones es el uso de biocombustibles. Según el programa CORSIA, impulsado por la Organización de

Aviación Civil Internacional, a partir del año 2020 debe haber un crecimiento neutro en carbono [31]. Eso implica, además de medidas enfocadas a mejoras operacionales, una sustitución progresiva del combustible por alternativas sostenibles. Esa es la razón por la cual resulta importante determinar la relación existente entre cantidad de combustible tradicional y *biofuel*.

Una relación importante a determinar es el porcentaje de fuel Jet A-1 usado respecto al biocombustible. Teniendo en cuenta su producción limitada respecto al tradicional pero también los beneficios del primero, una proporción razonable a medio plazo sería 80-20, es decir, un 80 por ciento de fuel Jet A-1 y un 20 de tipo bio. Sin embargo, durante los primeros años o incluso alguna década, esa relación sería 90-10. Aún no está suficientemente desarrollada la infraestructura de producción para generar biocombustible en grandes cantidades.

Según la recomendación anterior, algunas de esas alternativas son la *jatropha*, el alga, la camelina, o incluso un tratamiento específico del alcohol y la cetona. De hecho, a día de hoy, existen varias certificaciones en distintos continentes, ya sea en Tailandia, Sudáfrica, Países Bajos o Reino Unido [32]. Además, varias aerolíneas o empresas del sector han empezado a establecer acuerdos con dichos proveedores.

Una materia prima sostenible para su uso como biocombustible es la camelina. A nivel europeo, ya ha finalizado un proyecto que ha sido capaz de producir 4000 toneladas de HEFA (*Hydroprocessed Esters and Fatty Acids*), destinadas a uso experimental y comercial. El resultado pudo comprobarse mediante 18 vuelos entre Ámsterdam y las Antillas Holandesas, no existiendo ningún fallo o problema en cuanto a rendimiento. Otros ejemplos de vuelos con biocombustible han sido el enlace Fráncfort-Hamburgo, con más de 1000 vuelos, una prueba Helsinki-San Francisco, o Chicago-Los Ángeles. Aun así, cabe destacar que la mayoría de estos casos han sido una mezcla entre fuel tradicional y sus alternativas sostenibles (desde un 12 por ciento de *biofuel* hasta un 30 en el caso de United Airlines). Este último concepto de mezcla será debidamente aplicado en el proyecto.

En cuarto lugar, y teniendo en cuenta variables aparecidas anteriormente, debe preverse para cada ruta qué aeronave es la más usada en la industria de la aviación comercial. Conceptos como la cantidad de pasajeros a nivel anual, la distancia en kilómetros entre dos puntos, o el número de vuelos existente, podrán ayudar a determinar dicha flota. Con tal de aplicar futuras políticas de la aviación en dicho proyecto, es decir, aeronaves más sostenibles, con menos emisiones y más capacidad, se ha determinado una sustitución de la flota existente por una más eficiente en un futuro a medio y largo plazo. Esta medida ayudará a reducir el número de frecuencias, hecho que repercute en las emisiones producidas cada día, y disminuir la congestión de ciertos sectores en el espacio aéreo,

beneficioso para reducir los retrasos y aumentar la eficiencia resultante. Pero para poner en práctica este proyecto global, hacen falta análisis más precisos y rigurosos del crecimiento de la aviación en un futuro no muy lejano.

La aviación se caracteriza por ser la red de transporte mundial más rápida, contribuyendo de forma dinámica al crecimiento y empleo de la Unión Europea, así como al turismo y comercio. Por estas razones, el sector tiene previsto un crecimiento sostenido a lo largo de los próximos años. Según las últimas proyecciones de la ICAO, la demanda aumentará un 4,3 por ciento a nivel anual hasta 2035, así como un 4,1 hasta 2045. Estos valores significarán 15,5 millones de puestos de trabajo en todo el mundo, y un total de 200.000 vuelos diarios a mediados de la década de los años 2030 [33]. La región de Asia-Pacífico tiene previsto un crecimiento superior, alrededor del 6 por ciento, hasta 2035. En ese año, dicho continente representará el 40 por ciento del tráfico aéreo mundial. Además, China tiene previsto convertirse en el primer país en número de pasajeros en el próximo 2023.

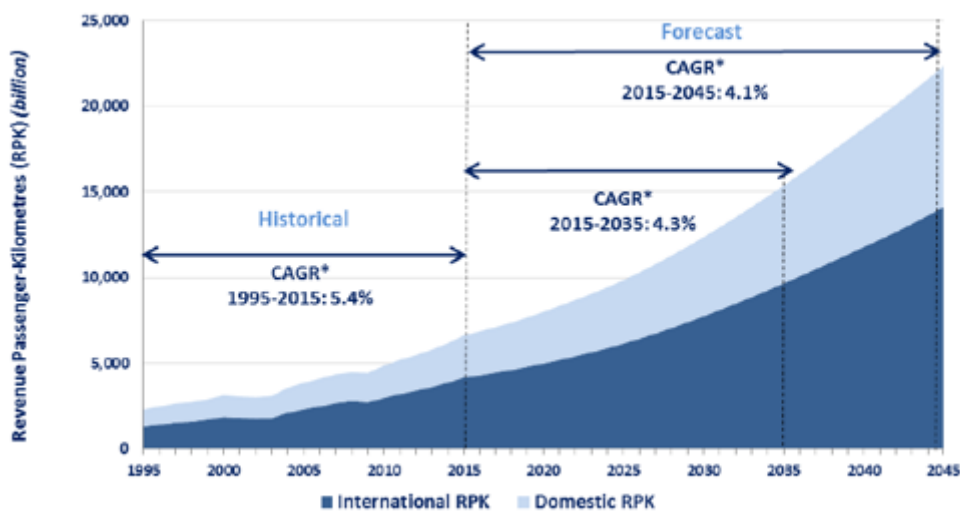


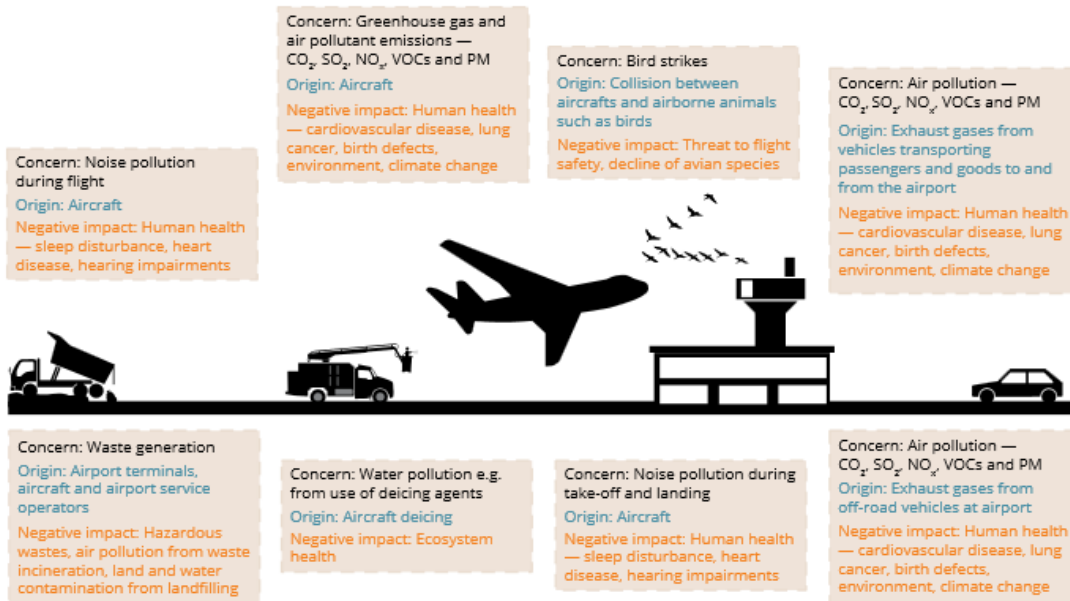
Ilustración 4.3: Crecimiento de la demanda aérea mundial en las próximas décadas [34]

Si se enfoca el análisis a nivel europeo, se prevé un crecimiento cercano al 5 por ciento hasta el año 2030. Sin embargo y según Eurocontrol, los aeropuertos europeos de 2040 no podrán absorber unos 1,5 millones de vuelos por falta de capacidad. Además, el retraso medio por vuelo se incrementará en unos 5 minutos. Eso tendrá una consecuencia en términos de empleo de entre 434.000 y 818.000 puestos de trabajo perdidos, así como entre 28.000 y 52.000 millones respecto al PIB [35].

Otro aspecto a tener en cuenta es la mayor accesibilidad de la población a la industria de la aviación. A nivel mundial, la mitad de la sociedad dispone de un aeropuerto internacional en un radio de como máximo 100 kilómetros (el 74 por ciento dispone de cualquier aeropuerto en ese límite). Y esa proporción debería aumentar, ya que está prevista la construcción de nuevas instalaciones por todo el mundo. A modo de resumen, existen proyectos para nuevos aeropuertos en diversas ciudades de China (Chengdu, Qingdao, Xiamen), India (Bombay, Pune), Sudamérica (Colombia o Brasil) o África (Addis Ababa, Luanda) [36]. En cambio, no existen proyectos significativos a nivel europeo, a excepción del nuevo aeropuerto de Berlín-Brandeburgo.

Por último, es importante poder captar la cantidad de dióxido de carbono emitido por cada enlace, ya que se trata de la principal fuente de contaminación medioambiental. Aun así, el total de emisiones de monóxido de carbono o de óxidos de nitrógeno son importantes ya que no sólo contribuyen al calentamiento global, sino que pueden resultar más dañinos para el ser humano. Estas variables deben obtenerse mediante investigaciones realizadas² (*EcoPassenger Environmental Methodology and Data / Emissions of HC, CO, NOX, CO2 and SO2 from civil aviation in China in 2010*), (*EASA Greenhouse gas emission savings, Impact of a Jet A-1/HEFA blend on the performance and emission characteristics of a miniature turbojet engine*). Algunos ejemplos de las presiones medioambientales por parte de la aviación se pueden resumir en esta figura:

² Estudios realizados en miles de vuelos y distintos tipos de aeronave indican que, para un tiempo de vuelo de casi 250 minutos, un 10 por ciento de las emisiones de NO_x corresponden al despegue y aterrizaje, dos tercios de estas se producen en la fase de crucero, y un valor cercano al 25 por ciento en las fases de ascenso y descenso. Respecto a las emisiones de CO, el aterrizaje y despegue producen entre un 25 y 30 por ciento de las emisiones totales, la fase de crucero aporta casi un 35 por ciento y el ascenso y descenso, poco menos del 30. Finalmente, en el caso del CO₂, la relación anterior será de un 8 por ciento, un 70-75 por ciento y, por último, algo menos del 20 para ascenso y descenso [38].



Note: CO₂, carbon dioxide; NO_x, nitrogen oxides; PM, particulate matter; SO₂, sulphur dioxide; VOC, volatile organic compound.

Ilustración 4.4: Ejemplos de las consecuencias medioambientales producidas por la aviación [37]

Habiendo pormenorizado las distintas etapas, el resultado final es la existencia de un mapa, donde para cada ruta añadida en el estudio se obtiene una cantidad de gases GEI, según el escenario a aplicar. De esta manera, se obtendrán valores exactos de los distintos gases contaminantes para fuel convencional, para un escenario posterior aplicando una mezcla de combustible con fuel sostenible, un tercer caso donde se aplicarán mejoras en la flota de aeronaves, pero con combustible tradicional, y un último escenario donde se combinarán ambas aplicaciones.

Una vez se disponen de todos los datos para cada ruta, y teniendo en cuenta el tipo de aeronave escogida para los escenarios E0 y E2, se pueden obtener los parámetros más importantes. En este proyecto, resulta fundamental encontrar la cantidad de fuel o biocombustible usado (en Kg), así como las emisiones producidas por cada gas de efecto invernadero, sobre todo de CO₂. Algunas variables interesantes podrían ser los kilogramos de dióxido por pasajero o por kilómetro y pasajero. Finalmente, una conclusión podría corresponder a un gráfico de las cantidades de CO₂ producidas (totales o por pasajero) según el porcentaje de *biofuel* introducido. Todos los resultados correspondientes a las distintas métricas se desarrollarán en el siguiente apartado. Una vez analizado, se plantearán algunas políticas con el objetivo de disminuir de forma adicional las emisiones producidas.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS

A partir de los capítulos anteriores, se deben descargar a través de una base de datos (Eurostat) unos puntos de partida iniciales. Estas variables corresponderán a unos orígenes y unos destinos, que conformarán distintas rutas aéreas. En este proyecto, se ha decidido partir de los aeropuertos y enlaces especificados anteriormente, aunque se puede incrementar el alcance total descargando nuevas rutas y sus variables en la base de datos mencionada. Ello haría más realista el resultado obtenido. A partir del O/D, también se puede obtener la cantidad de pasajeros anuales, el número de vuelos, o la distancia entre ambos puntos. Asimismo, se determina una posible aeronave como uso en dicha ruta. A través de esta elección y mención aparte, merecen los campos relativos a la cantidad de fuel emitido en cada enlace, pero también el fuel generado para ser utilizado, así como las emisiones para cada gas de efecto contaminante tenido en cuenta. La forma escogida de obtener los resultados ha sido Matlab. Esta opción resulta interesante desde el punto de vista de la programación, con un lenguaje sencillo y de entendimiento. Los resultados se presentan en forma de matriz, desglosada en 1191 filas por 14 columnas. Cada columna representa una variable, ordenadas de la siguiente manera:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----

1. Origen
2. Destino
3. Aeronave
4. Vuelos anuales
5. Pasajeros anuales en miles
6. Distancia (en km)
7. Combustible emitido (Kg)
8. Combustible generado (Kg)
9. Emisiones de CO₂ por pasajero (Kg)
10. Emisiones totales anuales de CO₂ (MKg)
11. Emisiones de CO₂ por km y aeronave
12. Emisiones de CO₂ por km y pasajero
13. Emisiones de NO_x por Kg de queroseno (g)
14. Emisiones de CO (Kg)

De la misma manera, las filas representan la multiplicación de los orígenes y destinaciones quitando un aeropuerto sobrante. Sin embargo, se ha considerado una ruta como el total de pasajeros que aterrizan o despegan desde un

aeropuerto. Las instalaciones seleccionadas serían los siguientes, en el orden aparecido en la matriz: Bruselas, Praga, Copenhague, Berlín, Frankfurt, Hamburgo, Múnich, Dublín, Atenas, Barcelona, Madrid, Málaga, Palma de Mallorca, Toulouse, Lyon, Marsella, Niza, París, Zagreb, Milán, Venecia, Roma, Nápoles, Budapest, Ámsterdam, Viena, Varsovia, Oporto, Lisboa, Bucarest, Helsinki, Gotemburgo, Estocolmo, Birmingham, Manchester, Londres, Keflavík, Oslo, Ginebra, Zúrich y Estambul. Aquellos destinos con más de un aeropuerto han sido unidos en una sola infraestructura. A continuación, deben detallarse las razones de esta selección.

Todos los países tienen sus características concretas respecto al sector de la aviación. De esta manera, es necesario un estudio del tráfico existente en los estados miembro, analizándolo por aeropuertos. A través de las estadísticas publicadas en Eurostat, se puede filtrar el tráfico por país o incluso destino. En el caso de este análisis, se ha procedido a obtener tanto el número de pasajeros como la cantidad de operaciones a nivel europeo, agrupadas por instalaciones y por estados. Dicha búsqueda se resume en el siguiente gráfico:

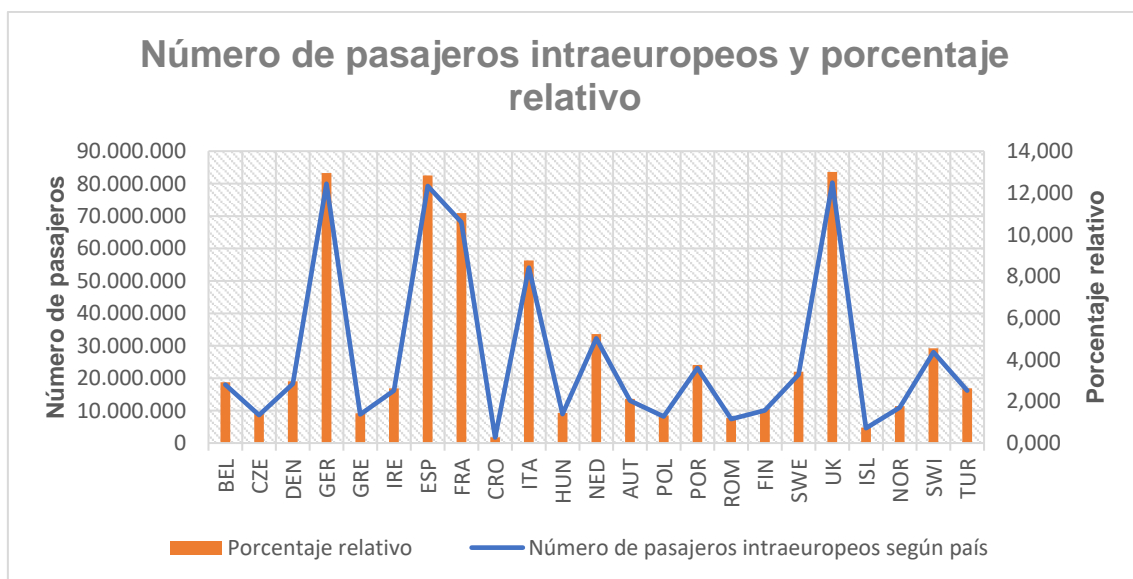


Ilustración 5.1: Tráfico aéreo europeo de los principales estados, con peso relativo incluido

Como puede deducirse, los países con más peso específico corresponden a Alemania, España, Francia y Reino Unido. El primer país por volumen corresponde a Alemania, con aproximadamente 78,6 millones, que equivale a un 13 por ciento del total. En segundo lugar, tanto Reino Unido como España aportan más de 78 millones, es decir, un 12,9 por ciento respectivamente. Por último, Francia e Italia completan el top 5 con 67,4 y 53,3 millones. Las razones de estos resultados son distintas: en primer lugar, la fortaleza económica de

países como Alemania o Reino Unido. En segundo lugar, la pujanza de sectores como el turismo en España o Francia permiten aumentar los valores obtenidos.

De la misma manera, se puede observar un comportamiento similar para el número de vuelos operado a nivel continental:

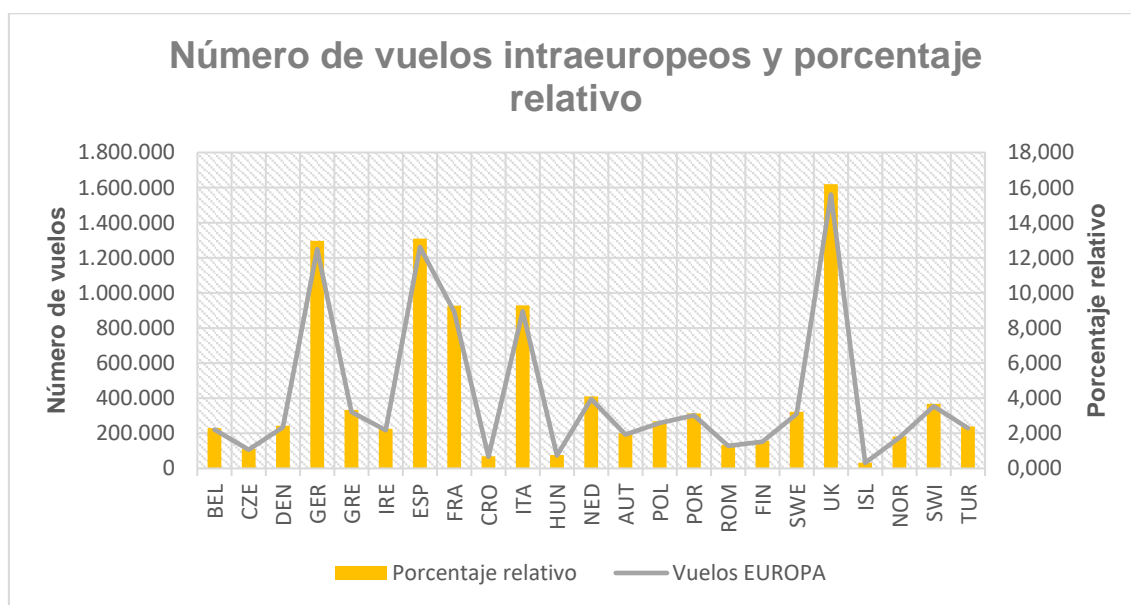


Ilustración 5.2: Número de vuelos por estados miembro y porcentaje relativo

El gráfico indica un claro líder a nivel europeo: el Reino Unido opera más de 1,56 millones de vuelos, dato que corresponde a más de un 16 por ciento. Después, aparecen Alemania y España, con 1,25 millones de operaciones y un 13 por ciento del total. Otros datos significativos son el cambio que se produce entre pasajeros y operaciones en Grecia, ya que existe un incremento en el peso relativo del 1,4 por ciento al 3,3. Una posible causa podría consistir en el peso que tienen los vuelos insulares dentro de la aviación helena, con decenas de destinos y, por lo tanto, de frecuencias. Un segundo cambio es el notorio incremento del peso del Reino Unido respecto al número de vuelos.

Antes de continuar con otras variables o componentes a analizar, debe determinarse si las rutas y tráfico analizados suponen una parte considerable y suficiente de la aviación europea. Para ello, se ha encontrado el número total de pasajeros en las rutas seleccionadas, así como el indicador total en el año 2017. A nivel general, el número total de pasajeros en el marco establecido es de 607,87, en un total de 1177,68 millones en el contexto general continental. Este dato supone poco más de la mitad del tráfico existente actual. A nivel de vuelos, se ha obtenido un valor de 4.684.620 operaciones, un 48,6 por ciento del total

entre países europeos. Por estados, se incorpora la siguiente tabla que especifica el resultado anterior.

País	Pasajeros	Número de vuelos	% Pasajeros EUROPA	% Vuelos EUROPA
BEL	18.014.470	148.048	73,429	66,919
CZE	8.656.190	74.663	75,318	70,216
DEN	18.031.680	144.413	72,967	61,498
GER	78.677.740	631.696	55,382	50,579
GRE	8.718.320	57.400	20,926	17,844
IRE	16.163.010	116.293	56,102	53,388
ESP	78.153.550	526.947	43,366	41,781
FRA	67.406.240	507.433	67,250	56,803
CRO	1.719.180	19.296	23,106	28,986
ITA	53.322.190	409.834	45,541	45,779
HUN	8.893.110	59.633	83,829	81,062
NED	31.125.880	242.407	64,205	61,286
AUT	12.506.040	111.113	61,856	57,570
POL	8.057.220	77.768	26,599	30,066
POR	22.561.340	177.586	57,942	58,772
ROM	7.345.540	56.584	46,480	44,017
FIN	10.025.370	81.041	65,413	53,399
SWE	20.343.710	178.046	64,593	57,305
UK	78.518.970	586.982	41,607	37,619
ISL	4.588.500	27.149	90,176	85,235
NOR	10.916.150	87.024	52,823	49,466
SWI	27.932.120	250.094	69,852	70,536
TUR	16.198.290	113.170	47,895	49,283
TOTAL	617.295.580	4.683.970	52,416	48,622

Tabla 5.1: Número de pasajeros y operaciones analizados, con su correspondiente relación respecto al total obtenido

Una vez queda clarificado el resultado de dichas variables, deben desarrollarse los resultados obtenidos, comparándolos con los distintos aeropuertos y rutas existentes. En términos de pasajeros, la ruta Dublín-Londres es la más concurrida, con casi 4,9 millones de pasajeros. En segunda posición, la ruta Ámsterdam-Londres tiene 4,68 millones de pasajeros, y el enlace París-Toulouse casi 3,26 millones. Las otras rutas con un mínimo de 3 millones son las correspondientes a Barcelona-Londres (3,12 millones), Niza-París (3,08 millones) y Londres-Madrid, con 3,03 millones.

Un campo similar al anterior corresponde al número de vuelos anuales. Dicho resultado debería ser parecido al número de pasajeros, ya que, si la aeronave es de dimensiones homologables, un aumento de viajeros va inevitablemente relacionado con un incremento de las frecuencias. De esta manera, Ámsterdam-

Londres tiene un número anual de vuelos cercano a 38.200, Dublín-Londres dispone de una frecuencia por año de 37.500 vuelos y el enlace Milán-Londres llega a una oferta de 23.300. Debe resaltarse el hecho de que hasta 44 enlaces O-D (o D-O) tienen como mínimo 10.000 vuelos anuales. Por contra, aproximadamente 100 rutas O-D/D-O tienen un máximo de 1.000 vuelos anuales.

Cuando se han podido concretar las variables, debe analizarse qué aeronave sería la adecuada para cada enlace. Teniendo en cuenta la distancia (rango), pero también la cantidad de pasajeros anual y el número de operaciones, se puede obtener una buena radiografía y proponer una posible aeronave. Así, para cada ruta existente. A modo de simplificación y teniendo en cuenta la gran variedad de modelos que podrían utilizarse, se ha decidido partir de cuatro en concreto: B737, B787, A320 y A321. Estas aeronaves son de las más recurrentes en el continente, ya que su alcance llega a cualquier punto de Europa y su capacidad es acorde a la demanda existente.

Se han determinado las siguientes condiciones: si una ruta supera un límite determinado y estudiado, que corresponde al alcance de una aeronave *narrow-body* (en torno a 7400 kilómetros), ésta correspondería a un B787. A partir de esta distinción, debe clasificarse un enlace según la demanda: si la división entre pasajeros y operaciones, y teniendo en cuenta una ocupación del 80 por ciento, es inferior a 140 pasajeros por operación, se ha propuesto un B737. En caso contrario, es decir, un valor superior, se puede seleccionar un A320 o A321. A321 corresponderá si la división anterior es superior a 180. La razón del número seleccionado hace referencia a la capacidad: si se calcula el 80 por ciento de un avión de 180 plazas, como puede suceder en el A320, se obtiene un número similar a 140. Este 80 por ciento se ha cogido como referencia a la hora de determinar un load-factor real. Es sabido que dicho indicador aumenta en periodos vacacionales, pero disminuye en temporada baja. De esta manera, se puede determinar la flota para la red europea de aviación.

Un apunte final respecto a este punto es la ausencia de aeronaves A321 en los enlaces. Teniendo en cuenta los límites propuestos, ninguna ruta tiene la demanda suficiente como para incorporar estos modelos de forma continuada, y varias veces al día. Aun así, algunos operadores están empezando a introducir el modelo con el objetivo de poder reducir las frecuencias diarias. En este estudio, también se incorporará esta posible solución.

Respecto al fuel emitido, el programa calcula la cantidad para una ruta seleccionada, dentro de la matriz de destinos existente. Teniendo en cuenta el número de kilómetros de cada enlace, la herramienta *ICAO Carbon Emissions Calculator* proporciona el valor total y por pasajero del combustible consumido. En la siguiente tabla, aparecen las 25 rutas con más consumo:

Ruta	Distancia (km)	Fuel consumido (Kg)
Madrid – Estambul	2.738,1	15.313
Lisboa – Estambul	3.236,5	14.455
Ámsterdam – Keflavík	2.017,3	14.108
Lisboa – Helsinki	3.361,5	13.951
Madrid – Helsinki	2.948,4	13.429
Málaga – Helsinki	3.333,6	13.406
Ámsterdam – Estambul	2.211,9	13.224
Múnich – Keflavík	2.679,9	13.109
Berlín – Keflavík	2.387,5	12.527
Barcelona – Estambul	2.232,7	12.469
Dublín – Estambul	2.954,1	12.388
Londres – Estambul	2.499,8	12.295
Mánchester – Estambul	2.701,8	12.287
Málaga – Estambul	2.911,5	12.113
Palma de Mallorca – Oslo	2.345,3	12.033
Madrid – Keflavík	2.891,3	11.795
Lisboa – Estocolmo	2.989,6	11.711
Fráncfort – Keflavík	2.376,5	11.551
Viena – Lisboa	2.299,1	11.537
Madrid – Estocolmo	2.592,8	11.533
Barcelona – Helsinki	2.603,5	11.511
Lisboa – Bucarest	2.975,6	11.480
Estocolmo – Keflavík	2.134,9	11.457
Barcelona – Keflavík	2.966,4	11.383
Bruselas – Keflavík	2.128,8	11.382

Tabla 5.2: 25 rutas con más fuel consumido en el espacio europeo

Según la tabla anterior, destinos situados en extremos del espacio físico europeo tenderán a tener enlaces con mayor consumo de combustible, como es el caso de algunos destinos escandinavos o Estambul. Sin embargo, la mayoría de rutas tienen un valor de consumo mucho más reducido, con un valor medio de 5.300 kilogramos. Con el objetivo de analizar todos los enlaces, se puede dividir el conjunto de la red en intervalos de combustible gastado en cada ruta.

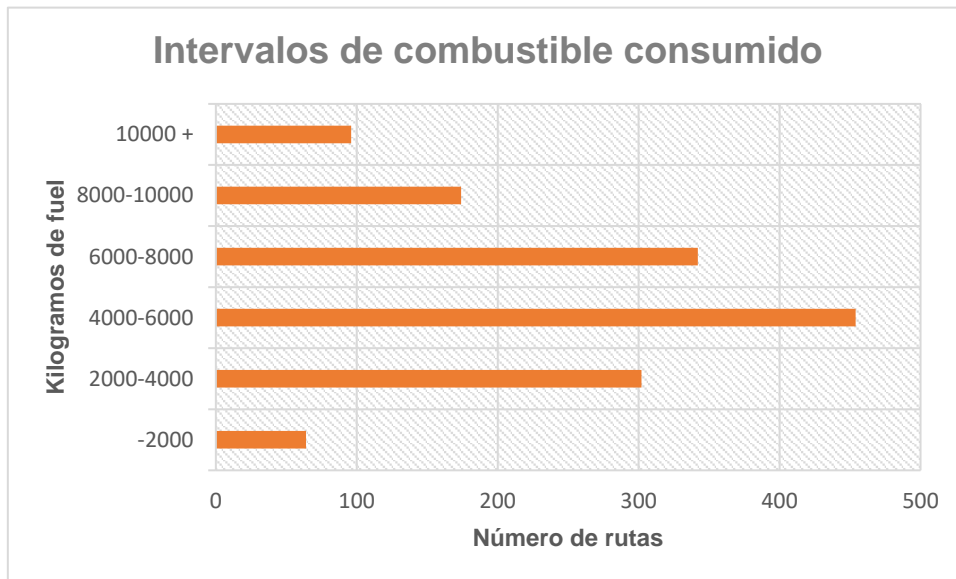


Ilustración 5.3: Número de rutas según intervalos de combustible consumido

Según la división anterior, existen decenas de rutas con alto consumo, pero también otras donde dicho consumo es muy reducido. Ello podría parecer positivo a primera vista. Pero unos niveles tan reducidos hacen prever que las rutas deberían ser cortas, tanto en distancia como en tiempo de vuelo. En siguientes apartados, se intentará determinar si algunos enlaces existentes podrían ser suprimidos debido a causas distintas.

Por último, hace falta obtener resultados específicos respecto a las emisiones de gases de efecto invernadero. No resulta una ardua tarea determinar las emisiones de dióxido de carbono, ya que múltiples herramientas muestran dicho valor. Según algunos estudios, por cada kilogramo de fuel, se emiten 3.160 gramos de dióxido de carbono [39], 14 gramos en el caso de los óxidos de nitrógeno, y 3 en el óxido de carbono. De manera complementaria, cada pasajero produce más de cien kilos de dióxido de carbono por hora de vuelo [40]. De esta manera, se puede clasificar cada ruta con sus correspondientes emisiones, apareciendo en la siguiente tabla los enlaces más transitados y sus emisiones unitarias:

Ruta	Emisiones CO ₂ (T)	Emisiones NO _x (kg)	Emisiones CO (kg)
Dublín – Londres	8,614	46,862	11,105
Ámsterdam – Londres	7,325	33,579	7,957
Toulouse – París	11,122	59,914	14,198
Barcelona – Londres	17,701	81,639	19,346
Niza – París	13,309	61,911	14,671
Madrid – Londres	19,260	92,492	21,918
Milán – Londres	14,288	65,600	15,545
Roma – Londres	23,135	91,868	21,770
Barcelona – París	14,642	70,589	16,727
Londres – Ginebra	11,099	59,613	14,126
Barcelona – Madrid	9,556	57,622	13,654
Copenhague – Londres	13,902	70,590	16,728
Madrid – París	17,229	77,323	18,323
París – Londres	8,356	33,581	7,958
Málaga – Londres	26,870	106,089	25,140
Berlín – Múnich	8,975	52,151	12,358
Berlín – Londres	14,884	64,702	15,332
Berlín – Fráncfort	8,543	47,505	11,257
París – Lisboa	20,727	102,354	24,254
Barcelona – Palma	5,053	25,166	5,964
PESO RELATIVO	1,329 %	1,251 %	1,265 %

Tabla 5.3: Emisiones GEI por operación de las 20 rutas más concurridas

A través de la tabla anterior, se pueden determinar algunas conclusiones y resultados: cada ruta contabiliza sus resultados por duplicado, es decir, habrá emisiones para el enlace A-B, y otra medición para la vuelta B-A. Según el resultado obtenido para cada par de aeropuertos, se acaba contabilizando el total para la red de aviación analizada por unidad. El total de emisiones por operación, en la red establecida, de dióxido de carbono es de 20.661 tonas. Asimismo, se producen 88,694 y 21,018 kilogramos de óxidos de nitrógeno y óxidos de carbono, respectivamente. La ruta Málaga – Varsovia emite la mayor cantidad de dióxido de carbono a la atmosfera por operación, con un total de 47,2 tonas. A su vez, Marsella – Estambul emite 45,308 tonas, la ruta Málaga – Helsinki 44,082, Budapest – Ámsterdam, unas 43,258 tonas, y, finalmente, Palma de Mallorca – Estocolmo, 40,665 tonas.

A pesar de los datos anteriores, el papel de la frecuencia de los enlaces acaba determinando la emisión total de CO₂. Si una ruta no resulta especialmente dañina para la atmosfera, comparándola con otras existentes, pero dispone de muchas frecuencias, la emisión aumentará. A veces, incluso, su cantidad será mayor que la proporcionada por ese otro enlace, de forma anual. Para visualizar esta idea, se van a desglosar las rutas con mayor emisión, adjuntando también el número de vuelos anual.

Ruta	Emisiones CO ₂ anuales (Mkg)	Número de vuelos anuales
Madrid – Londres	378,635	19.659
Barcelona – Londres	372,597	21.050
Roma – Londres	363,357	15.706
Londres – Estambul	344,184	10.374
Málaga – Londres	342,588	12.750
Milán – Londres	333,813	23.364
Dublín – Londres	322,753	37.467
Lisboa – Londres	300,721	12.998
Ámsterdam – Londres	279,937	38.215
París - Lisboa	271,695	13.108

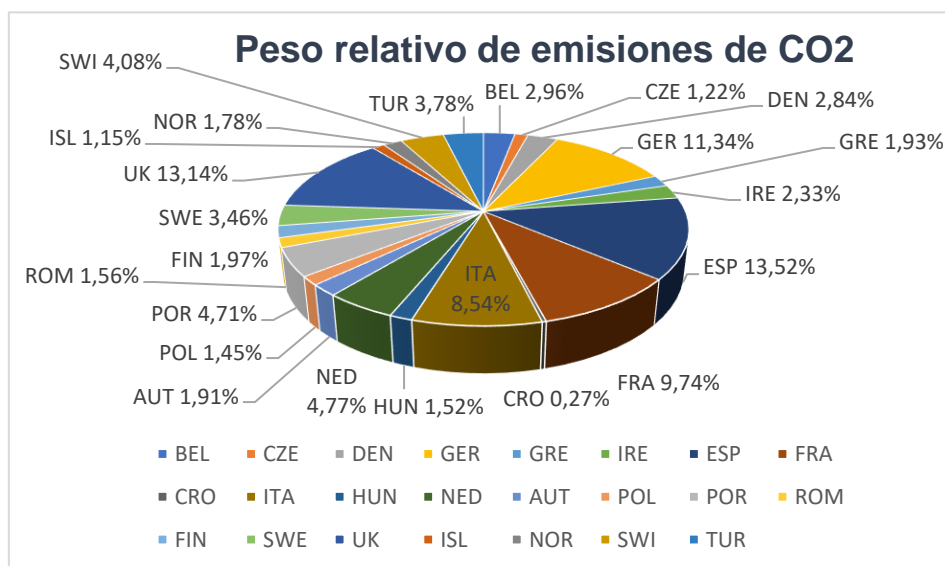
Tabla 5.4: 10 rutas con más emisiones de CO₂ en el espacio europeo

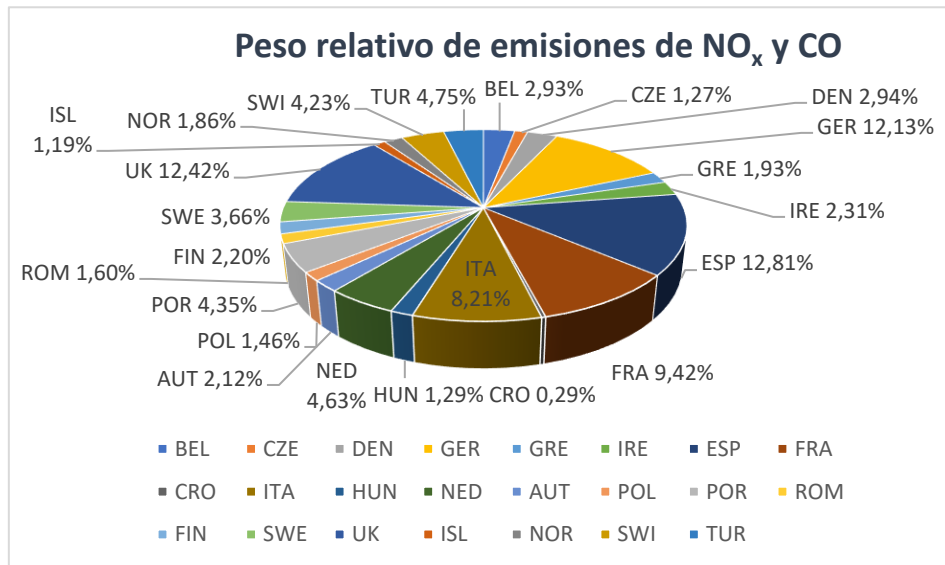
Así, se puede comprobar que la ruta con más pasajeros y una de las que dispone de más frecuencias (Dublín – Londres), cae a la séptima posición en términos de emisión de CO₂. En cambio, un ejemplo de ruta con muchas menos operaciones anuales, París – Estambul, con 7.800 enlaces, tiene un total de 231,495 mega kilogramos, con valores de magnitud similares a los tabulados. Por lo tanto, hay varias razones que pueden justificar un alto valor de emisiones: la distancia de ambos puntos de una ruta, pero también la cantidad de operaciones.

Una vez queda definida la relación entre emisiones unitarias y sus frecuencias anuales, se pueden clasificar estas emisiones por países. Se ha de tener en cuenta el hecho de que no existe un consenso en la manera de asignar emisiones a un determinado país. En este estudio, se ha decidido computar las emisiones de un enlace al país del aeropuerto de origen, aunque existen métodos que la imputan al país de destino, que no establecen divisiones entre estados, otros en que corresponde al país donde se ha vendido el fuel, o incluso se determina por la matrícula de la aeronave [41]. A continuación, se proporciona una tabla con las distintas emisiones de CO₂, NO_x y CO según estados. Además, un gráfico determinará el peso relativo de cada estado miembro.

Estado	Emisiones por año CO ₂ (Mkg)	Emisiones NO _x (Mkg)	Emisiones CO (Mkg)
BEL	2.073,10	10,282	2,436
CZE	856,70	4,436	1,051
DEN	1.990,40	10,303	2,442
GER	7.936,30	42,487	10,068
GRE	1.350,70	6,771	1,604
IRE	1.630,40	8,094	1,918
ESP	9.464,20	44,900	10,640
FRA	6.814,23	33,002	7,820
CRO	191,00	1,012	0,240
ITA	5.978,44	28,784	6,821
HUN	1.063,30	4,534	1,075
NED	3.339,60	16,220	3,844
AUT	1.338,90	7,427	1,760
POL	1.011,50	5,113	1,212
POR	3.297,72	15,247	3,613
ROM	1.094,30	5,602	1,328
FIN	1.379,20	7,714	1,828
SWE	2.421,25	12,814	3,613
UK	9.198,09	43,528	10,315
ISL	808,24	4,170	0,988
NOR	1.247,20	6,500	1,540
SWI	2.852,20	14,824	3,513
TUR	2.642,00	16,632	3,941

Tabla 5.5: Distribución de las emisiones de gases por estados





Ilustraciones 5.4, 5.5: Gráficos circulares con peso relativo de cada estado miembro respecto a las emisiones de gases

En general, los porcentajes relativos en todos los gases de efecto invernadero son similares. Sin embargo, alguna excepción sería el caso de los Países Bajos, donde el peso relativo del dióxido de carbono es muy superior a los demás. Este hecho se repite para el caso del Reino Unido.

Cuando se ha podido determinar la cantidad de gases total, tanto por estados miembro como por rutas establecidas, se pueden detallar estas variables a nivel individual. Es decir, cuánto emite cada pasajero a la atmósfera. Teniendo en cuenta los kilogramos por pasajero obtenidos, multiplicando la cantidad de fuel por un factor de 3,16, y dividiendo dicho resultado por el número de asientos ocupados, se puede calcular una media para toda la red europea. Así, el resultado obtenido es igual a 125,55 kilogramos por viajero. De forma paralela, a partir del dato de la cantidad de gramos emitidos de NO_x por kilogramo de fuel, se puede obtener una media global, que corresponde a 87,21 kilogramos por operación. Finalmente, el resultado para CO será de 20,67 kilogramos por vuelo. Se ha decidido no obtener las últimas variables por pasajero porque el resultado sería demasiado poco significativo.

Existe un máximo de 257,70 kg de CO₂ por pasajero en la ruta Lisboa – Helsinki, 224,46 kilogramos de NO_x y 53,19 de CO en cada operación. Resulta importante resaltar un dato revelador: más de dos terceras partes de las rutas existentes a nivel europeo tienen centenares de kilogramos de emisiones de CO₂. En segundo lugar, los óxidos de nitrógeno son compuestos altamente contaminantes, generados por el hombre y más perjudiciales para la salud, si cabe, que otros gases. Sus valores más elevados corresponden a 16 gramos por

kilogramo de queroseno, presentes en rutas como Madrid-Lisboa, París-Birmingham o Copenhague-Oslo. Finalmente, las emisiones de CO pueden aproximarse a una cuarta parte de las de óxido de nitrógeno.

Una vez se han determinado resultados globales sobre las variables consideradas, deben plantearse las variaciones al aplicar los escenarios descritos. En consecuencia, se determinarán los nuevos valores teniendo en cuenta un uso progresivo de biocombustibles, una red europea con aviones más eficientes y una presencia de ambos escenarios simultáneamente.

En primer lugar, se decide aplicar progresivamente biocombustible en las aeronaves. Con tal de comparar las variables de forma equivalente, se presupone un uso total de *biofuel* de 2 millones de toneladas para el año 2020, aunque después no se utilice [42]. La cantidad de biocombustible emitido es similar respecto al de tipo Jet A-1. Las emisiones de dióxido de carbono y óxidos de nitrógeno sufren una disminución respecto a los valores anteriores. Las investigaciones apuntan a una disminución de las emisiones de CO₂ en un 60 por ciento, de un 10 por ciento en el caso de NO_x y de más de un 2 por ciento aproximadamente en la cantidad de CO. De esta manera, la cantidad media de emisiones de dióxido de carbono por pasajero pasaría de más de 125 kg a poco menos de 49. La cantidad media de gases de NO_x disminuiría de poco más de 14 g por kilogramo de queroseno a unos 13,3 gramos por kilogramo de fuel. Por último, los óxidos de carbono emitidos serían reducidos hasta poco más de 3,4 kg de media.

4.1 Escenario 1: uso de biocombustible en la aviación europea

Antes de tener un escenario cerrado, debe tomarse una decisión respecto a la proporción de fuel/biocombustible en una determinada aeronave. Según la decisión especificada anteriormente, una proporción válida para un futuro muy cercano podría corresponder a una relación de un 90 por ciento de fuel convencional y un 10 por ciento de biocarburante. Si se pusiera en funcionamiento dicha relación, la cantidad de dióxido emitido a la atmósfera por pasajero disminuiría en un 6 por ciento, y un total de 7 kilogramos por pasajero aproximadamente. De manera análoga, las emisiones de NO_x disminuirían en un 2 por ciento, y las de CO también. Paralelamente, está previsto en el proyecto un posible aumento de los biocarburantes, hasta un porcentaje del 20 por ciento del total. Eso haría posible que las disminuciones de gases fueran más importantes, destacando un 12 por ciento en el dióxido de carbono (o más de 15 kilogramos por pasajero) o un 2 en los óxidos de nitrógeno. Teniendo en cuenta las rutas más transitadas, esos serían los nuevos valores obtenidos:

Estado	Emisiones CO ₂ (T)	Emisiones NO _x (kg)	Emisiones CO (kg)
Dublín – Londres	8,089	46,393	10,994
Ámsterdam - Londres	6,879	33,243	7,878
Toulouse – París	10,444	59,315	14,056
Barcelona – Londres	16,621	80,822	19,152
Niza – París	12,497	61,292	14,524
Madrid – Londres	18,085	91,568	21,698
Milán – Londres	13,416	64,944	15,390
Roma – Londres	21,724	90,949	21,552
Barcelona – París	13,748	69,883	16,560
Londres – Ginebra	10,422	59,017	13,985
Barcelona – Madrid	8,973	57,046	13,518
Copenhague – Londres	13,054	69,884	16,560
Madrid – París	16,178	76,550	18,140
París – Londres	7,847	33,246	7,878
Málaga – Londres	25,231	105,028	24,888
Berlín – Múnich	8,427	51,630	12,235
Berlín – Londres	13,976	64,055	15,179
Berlín – Fráncfort	8,022	47,030	11,144
París – Lisboa	19,463	101,330	24,012
Barcelona - Palma	4,745	24,914	5,904

Tabla 5.6: Distribución de las emisiones de gases unitarias en las rutas con más pasajeros

También, se pueden comparar los valores obtenidos por estados, según un fuel tradicional o con la mezcla aplicada de biocombustible (90 por ciento *jet-fuel*), teniendo en cuenta que el valor entre paréntesis hace referencia al peso relativo:

Estado	Emisiones CO ₂ (Mkg)	Emisiones NO _x (Mkg)	Emisiones CO (Mkg)
BEL	1.946,60 (2,96%)	10,179 (2,93%)	2,412
CZE	804,44 (1,22%)	4,391 (1,27%)	1,041
DEN	1.868,90 (2,84%)	10,200 (2,94%)	2,417
GER	7.452,00 (11,34%)	42,062 (12,13%)	9,967
GRE	1.268,30 (1,93%)	6,703 (1,93%)	1,588
IRE	1.530,90 (2,33%)	8,013 (2,31%)	1,899
ESP	8.886,90 (13,52%)	44,451 (12,81%)	10,533
FRA	6.398,52 (9,74%)	32,672 (9,42%)	7,742
CRO	179,35 (0,27%)	1,002 (0,29%)	0,237
ITA	5.613,84 (8,54%)	28,496 (8,21%)	6,753
HUN	998,43 (1,52%)	4,489 (1,29%)	1,064
NED	3.135,90 (4,77%)	16,057 (4,63%)	3,805
AUT	1.257,20 (1,91%)	7,353 (2,12%)	1,742
POL	949,83 (1,45%)	5,062 (1,46%)	1,200
POR	3.096,59 (4,71%)	15,095 (4,35%)	3,577
ROM	1.027,60 (1,56%)	5,546 (1,60%)	1,314
FIN	1.295,10 (1,97%)	7,637 (2,20%)	1,810
SWE	2.273,50 (3,46%)	12,685 (3,66%)	3,006
UK	8.637,10 (13,14%)	43,093 (12,42%)	10,212
ISL	758,94 (1,15%)	4,128 (1,19%)	0,978
NOR	1.171,10 (1,78%)	6,435 (1,86%)	1,525
SWI	2.678,20 (4,08%)	14,676 (4,23%)	3,478
TUR	2.480,80 (3,78%)	16,465 (4,75%)	3,902

Tabla 5.7: Distribución de las nuevas emisiones de gases por estados

Finalmente, se debe analizar la cantidad de emisiones si se aplicara un 20 por ciento de combustible sostenible. Se van a comparar estos valores con los expuestos anteriormente:

Ruta	CO ₂ (T)	CO ₂ (T)'	NO _x (kg)	NO _x (kg)'	CO (kg)	CO (kg)'
DUB-LON	8,614	7,563	46,862	45,925	11,105	10,883
AMS-LON	7,325	6,432	33,579	32,907	7,957	7,798
TLS-PAR	11,122	9,765	59,914	58,715	14,198	13,914
BCN-LON	17,701	15,541	81,639	80,006	19,346	18,959
NCE-PAR	13,309	11,685	61,911	60,673	14,671	14,377
MAD-LON	19,260	16,910	92,492	90,643	21,918	21,479
MIL-LON	14,288	12,544	65,600	64,288	15,545	15,234
ROM-LON	23,135	20,312	91,868	90,031	21,770	21,334
BCN-PAR	14,642	12,855	70,589	69,178	16,727	16,393
LON-GVA	11,099	9,745	59,613	58,421	14,126	13,844
BCN-MAD	9,556	8,390	57,622	56,469	13,654	13,381
CPH-LON	13,902	12,206	70,590	69,178	16,728	16,393
MAD-PAR	17,229	15,127	77,323	75,776	18,323	17,957
PAR-LON	8,356	7,337	33,581	32,910	7,958	7,799
AGP-LON	26,870	23,592	106,089	103,967	25,140	24,637
BER-MUC	8,975	7,880	52,151	51,108	12,358	12,111
BER-LON	14,884	13,068	64,702	63,408	15,332	15,026
BER-FRA	8,543	7,501	47,505	46,555	11,257	11,032
PAR-LIS	20,727	18,199	102,354	100,307	24,254	23,769
BCN-PMI	5,053	4,436	25,166	24,663	5,964	5,844
País	CO₂ (Mkg)	CO₂ (Mkg)'	NO_x (Mkg)	NO_x (Mkg)'	CO (Mkg)	CO (Mkg)'
BEL	2.073,10	1.820,20	10,282	10,076	2,436	2,388
CZE	856,70	752,18	4,436	4,347	1,051	1,030
DEN	1.990,40	1.747,50	10,303	10,097	2,442	2,393
GER	7.936,30	6.968,10	42,487	41,637	10,068	9,867
GRE	1.350,70	1.185,90	6,771	6,635	1,604	1,572
IRE	1.630,40	1.431,50	8,094	7,932	1,918	1,880
ESP	9.464,20	8.309,60	44,900	44,002	10,640	10,427
FRA	6.814,23	5.982,90	33,002	32,342	7,820	7,664
CRO	191,00	167,70	1,012	0,992	0,240	0,235
ITA	5.978,44	5.249,15	28,784	28,208	6,821	6,684
HUN	1.063,30	933,57	4,534	4,444	1,075	1,053
NED	3.339,60	2.932,10	16,220	15,895	3,844	3,767
AUT	1.338,90	1.175,50	7,427	7,279	1,760	1,725
POL	1.011,50	888,13	5,113	5,011	1,212	1,187
POR	3.297,72	2.895,36	15,247	14,943	3,613	3,541
ROM	1.094,30	960,83	5,602	5,490	1,328	1,301
FIN	1.379,20	1.210,90	7,714	7,560	1,828	1,792
SWE	2.421,25	2.125,85	12,814	12,557	3,036	2,976
UK	9.198,09	8.076,00	43,528	42,657	10,315	10,108
ISL	808,24	709,64	4,170	4,087	0,988	0,968
NOR	1.247,20	1.095,00	6,500	6,370	1,540	1,509
SWI	2.852,20	2.504,20	14,824	14,527	3,513	3,443
TUR	2.642,00	2.319,70	16,632	16,299	3,941	3,862

Tablas 5.8 y 5.9: Comparación de las emisiones de gases por rutas y países

Según las condiciones aplicadas, se obtienen ahorros importantes en las emisiones atmosféricas. Si se aplicase el primer escenario, con un 10 por ciento de combustible alternativo, dejarían de emitirse más de 4.260 millones de kilogramos de dióxido de carbono, 3.510 toneladas de óxidos de nitrógeno o 1.410 de óxido de carbono. Por estados miembro, España y el Reino Unido aportarían los mayores descensos en CO₂, con valores de 561 a 577 millones de kilogramos no emitidos. Asimismo, España compartiría con el Reino Unido los mayores descensos en NO_x, con 450.000 y 430.000 kilogramos de ahorro, respectivamente, y en CO, con valores cercanos a entre 110.000 y 100.000 kilogramos, respectivamente.

En caso de aplicar un porcentaje de fuel sostenible igual al 20 por ciento, las emisiones seguirían disminuyendo. 8.537 millones de kilogramos de CO₂ dejarían de emitirse. De ese total, tres países ahorrarían alrededor de 1.000 millones o más: Alemania, con 968 millones, Reino Unido, con 1.122, y España, con 1.155. Respecto a los óxidos de nitrógeno, el ahorro total sería de alrededor de 7.010 toneladas, con España y el Reino Unido como países a la cabeza. Finalmente, podrían reducirse las emisiones de CO totales en casi 1.660 toneladas. España y Reino Unido disminuirían su valor en 210.000 kilogramos, mientras que Alemania, en 200.000.

4.2 Escenario 2: una nueva red de aviación europea

El segundo escenario consiste en aplicar una nueva red de transporte aéreo, incluyendo aeronaves más grandes y eficientes. En este sentido, haría falta diseñar flotas con más capacidad, con unos 220 asientos mínimo. Teniendo en cuenta los parámetros definidos, es decir, el tipo de aeronave original e, indirectamente, el rango de la ruta, se sustituyen por otros modelos existentes. De esta manera, la variación en las rutas más concurridas sería la siguiente:

Enlace	Número de vuelos anual	Nuevo total de vuelos al año
Dublín – Londres	37.467	31.822
Ámsterdam – Londres	38.215	30.447
Toulouse – París	22.947	21.186
Barcelona – Londres	21.050	20.523
Niza – París	19.999	19.999 ³
Madrid – Londres	19.659	19.659 ³
Milán – Londres	23.364	20.143
Roma – Londres	15.706	15.706 ³
Barcelona – París	15.714	15.714 ³
Londres – Ginebra	21.210	15.818
Barcelona – Madrid	15.337	15.228
Copenhague – Londres	16.626	15.109
Madrid – París	14.250	14.250 ³
París – Londres	16.590	14.496
Málaga – Londres	12.750	12.750 ³
Berlín – Múnich	15.416	13.411
Berlín – Londres	15.582	13.026
Berlín – Fráncfort	13.328	12.725
París – Lisboa	13.108	12.681
Barcelona - Palma	13.970	12.647

Tabla 5.10: Comparación de operaciones al año en los enlaces más concurridos

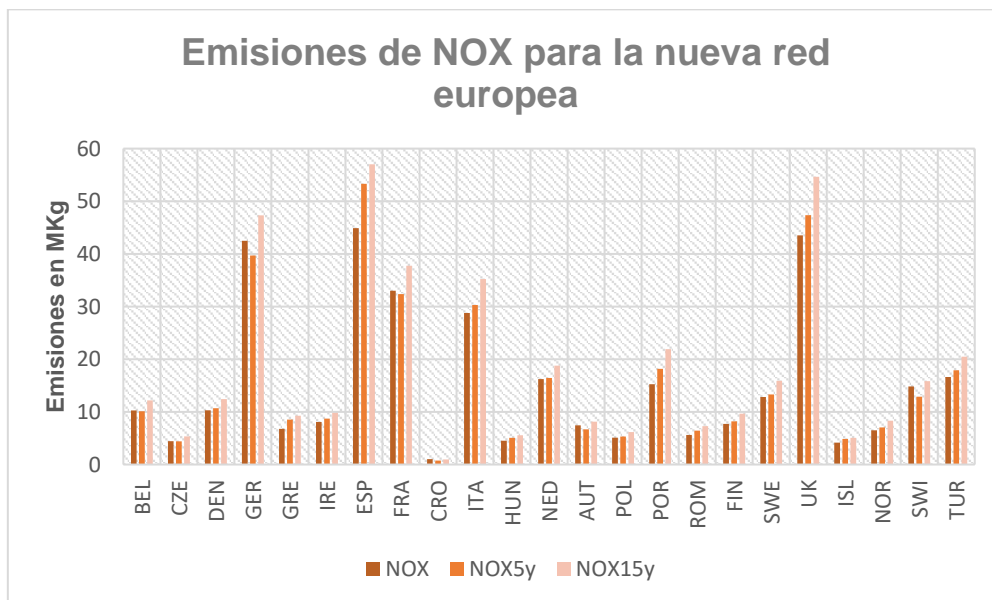
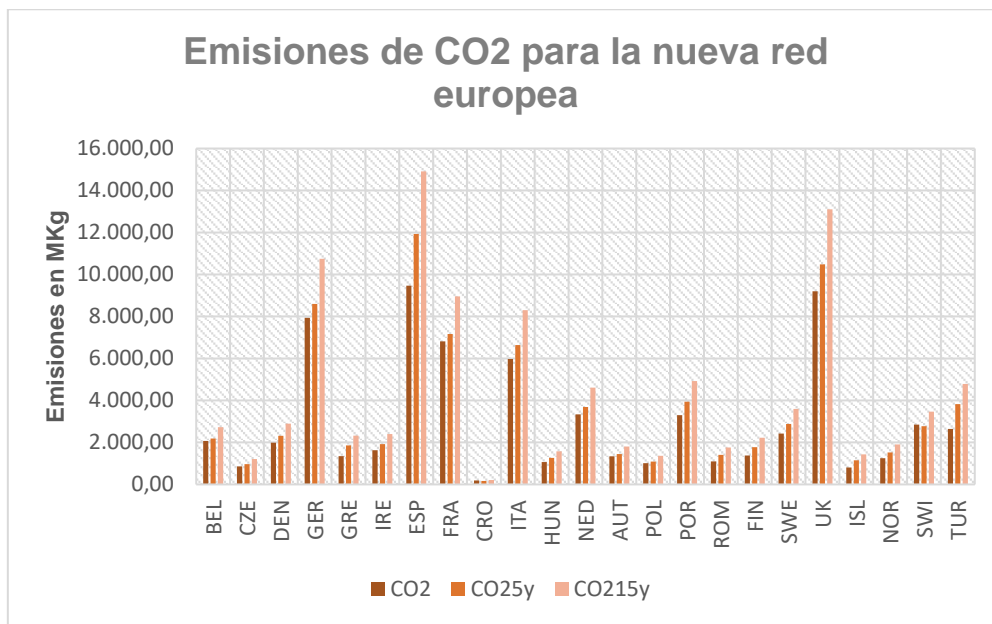
Es relevante añadir que ya existen aeronaves con estas características. Por lo tanto, el periodo de adaptación e incorporación de dichas aeronaves sería mucho más reducido, pudiendo de manera cuasi inmediata disminuir las emisiones, así como las frecuencias. En relación a las frecuencias, si se sustituyeran las aeronaves existentes por estos nuevos modelos, el número de vuelos anuales en cinco años sufriría modificaciones, aunque no siempre reducciones. Proyectando un crecimiento del 20 por ciento de aquí al año señalado, las tres rutas con más tráfico sufrirían un aumento de las operaciones anuales, en concreto de un total de 5.691. De esta manera, se puede comprobar que, a pesar de estas medidas, en un futuro a medio y largo plazo, las operaciones deberían aumentar. Y el espacio aéreo europeo ya tiene problemas en cuanto a la capacidad.

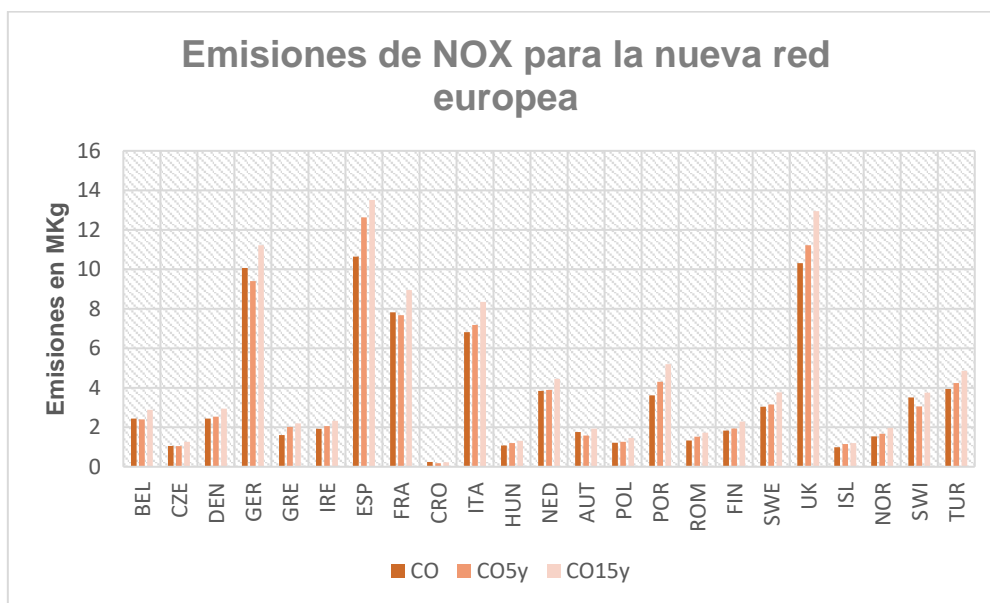
Teniendo en cuenta las emisiones, debe considerarse el hecho de que la mayoría de las aeronaves de nueva generación consumen más de 5 kg por km (5,73, según el escenario aplicado). El consumo obtenido de las rutas estudiadas es de 5,03 Kg/Km. Respecto a las emisiones de dióxido de carbono, estas pasan de 125,5 Kg por pasajero a un total de 125,13 kilogramos, es decir, un 0,3 por

³ En aquellos enlaces donde el escenario propone un aumento de los vuelos, se decide mantener la operativa existente. En consecuencia, no habrá variación alguna.

ciento inferior. Respecto a las emisiones de NO_x y CO, se emiten 14,77 y 3,5 gramos por kilogramo de combustible.

Con tal de comparar las situaciones originales y la resultante de aplicar la nueva red de transporte aéreo, se adjuntan unos gráficos de barras con los valores respecto a las emisiones:





Ilustraciones 5.6, 5.7, 5.8: Figuras correspondientes a las emisiones de gases de efecto invernadero para la nueva red europea

4.3 Escenario 3: uso de biocombustibles y la nueva red de aviación regional

Finalmente, quedaría analizar un posible escenario donde se incluyera la nueva red de transportes, así como el uso de biocombustible en el *fuel* presente. Teniendo en cuenta los casos analizados, es decir, con un 10 o un 20 por ciento de combustible alternativo, los resultados arrojan un descenso en las emisiones, tanto respecto a CO₂, como a NO_x y CO. A continuación, se detallan dichos resultados, especificados por países, y también a dos escenarios temporales: 5 años vista, y un horizonte de entre 15 y 20 años. Después de las dos tablas, se ha incorporado un gráfico que detalla las emisiones resultantes, comparados con el valor actual:

País	CO₂ 10% biofuel (MKg)	CO₂ 20% biofuel (MKg)	NO_x 10% biofuel (MKg)	NO_x 20% biofuel (MKg)
BEL	2.050,10	1.917,00	10,015	9,914
CZE	911,03	851,85	4,368	4,324
DEN	2.173,80	2.032,60	10,586	10,479
GER	8.077,40	7.552,70	39,296	38,899
GRE	1.744,10	1.630,80	8,445	8,360
IRE	1.802,60	1.685,50	8,617	8,529
ESP	11.282,60	10.549,80	52,767	52,213
FRA	6.727,23	6.288,20	32,057	31,734
CRO	157,13	146,92	0,760	0,752
ITA	6.232,84	5.827,94	30,002	31,734
HUN	1.184,60	1.107,60	5,009	4,958
NED	3.462,90	3.238,00	16,266	16,102
AUT	1.357,90	1.269,70	6,615	6,548
POL	1.105,60	1.033,80	5,269	5,216
POR	3.696,29	3.456,24	17,982	17,800
ROM	1.324,30	1.238,30	6,374	6,310
FIN	1.669,60	1.561,20	8,106	8,024
SWE	2.707,62	2.531,72	13,181	13,048
UK	9.840,87	9.201,61	46,882	46,408
ISL	1.077,20	1.007,20	4,815	4,766
NOR	1.428,40	1.335,60	6,960	6,890
SWI	2.607,10	2.437,70	12,756	12,627
TUR	3.593,10	3.359,70	17,712	17,533

Tabla 5.11: Emisiones de los estados miembro a 5 años para un escenario con biocombustible y una nueva red de aviación

País	CO₂ 10% biofuel (MKg)	CO₂ 20% biofuel (MKg)	NO_x 10% biofuel (MKg)	NO_x 20% biofuel (MKg)
BEL	2.562,70	2.396,20	12,054	11,933
CZE	1.138,80	1.064,80	5,279	5,225
DEN	2.717,20	2.540,70	12,306	12,181
GER	10.096,80	9.440,80	46,866	46,392
GRE	2.180,10	2.038,50	9,187	9,094
IRE	2.253,30	2.106,90	9,723	9,625
ESP	14.103,30	13.187,20	56,442	55,872
FRA	8.408,96	7.862,69	37,385	37,007
CRO	196,42	183,66	0,950	0,941
ITA	7.791,05	7.284,90	34,870	34,518
HUN	1.480,70	1.384,50	5,499	5,444
NED	4.328,70	4.047,50	18,585	18,398
AUT	1.697,30	1.587,10	8,048	7,967
POL	1.382,00	1.292,20	6,104	6,042
POR	4.620,50	4.320,22	21,697	21,478
ROM	1.655,40	1.547,80	7,229	7,156
FIN	2.087,00	1.951,40	9,563	9,466
SWE	3.384,52	3.164,60	15,741	15,582
UK	12.300,74	11.502,01	54,095	53,548
ISL	1.346,50	1.259,00	5,027	4,976
NOR	1.785,50	1.669,50	8,244	8,161
SWI	3.258,90	3.047,10	15,688	15,529
TUR	4.491,30	4.199,60	20,286	20,081

Tabla 5.12: Emisiones de los estados miembro a 15-20 años para un escenario con biocombustible y una nueva red de aviación

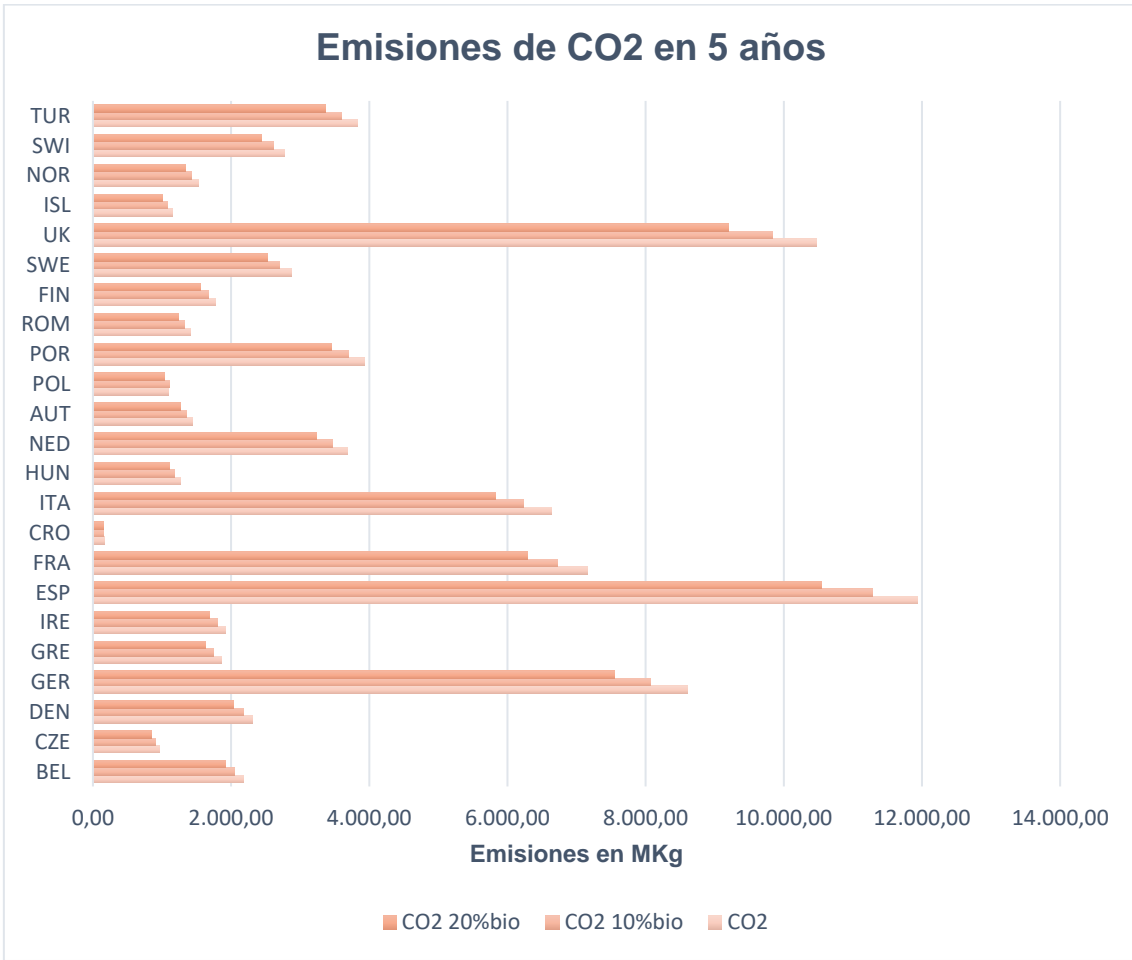


Ilustración 5.9: Emisiones de CO₂ de los estados miembro en 5 años

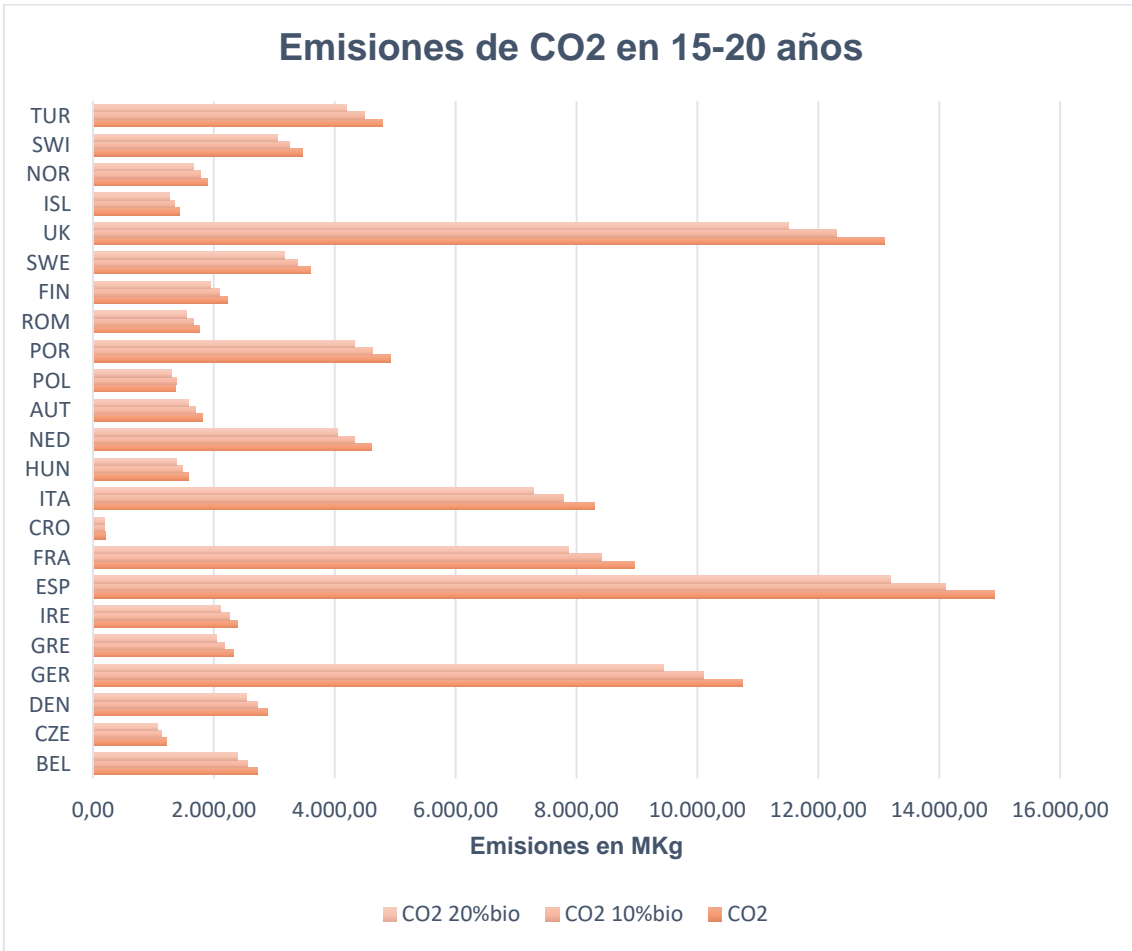


Ilustración 5.10: Emisiones de CO₂ de los estados miembro en 15-20 años

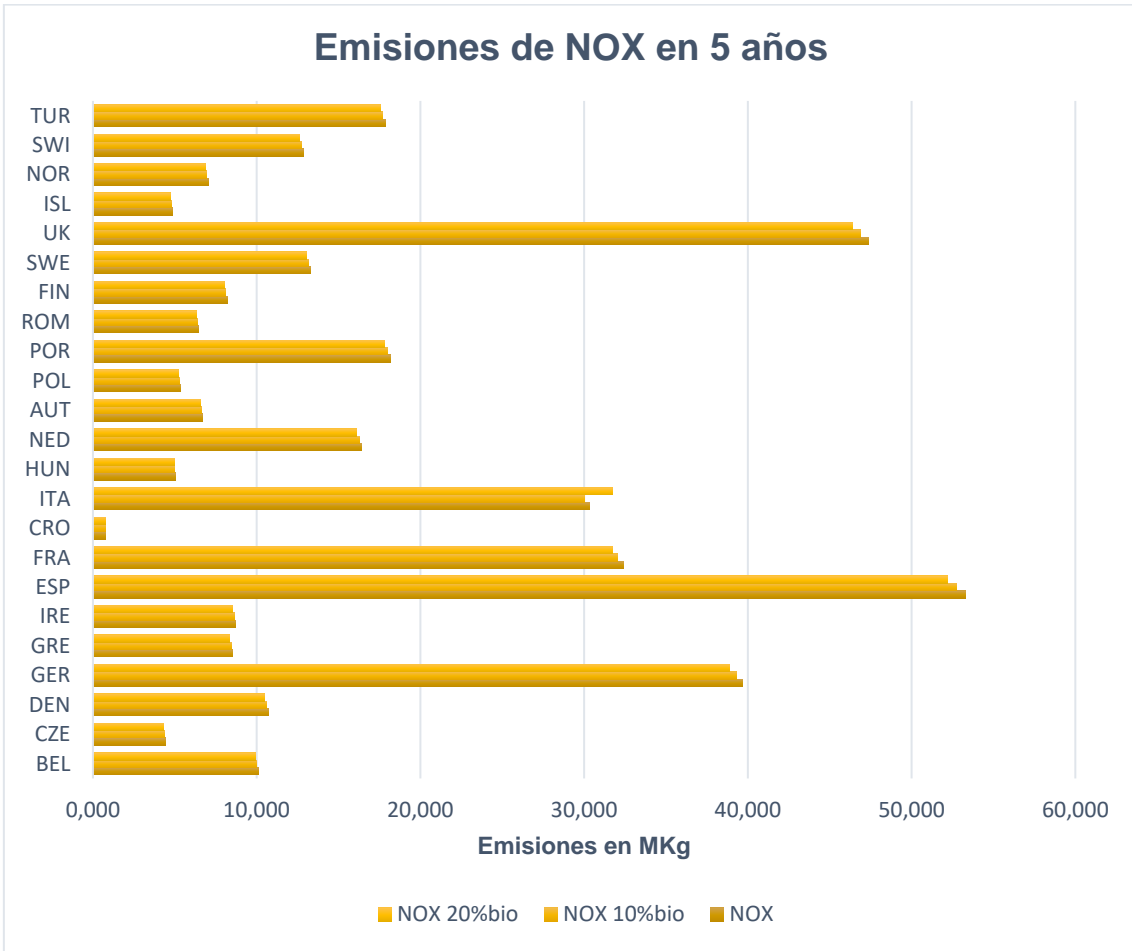


Ilustración 5.11: Emisiones de NO_x de los estados miembro en 5 años

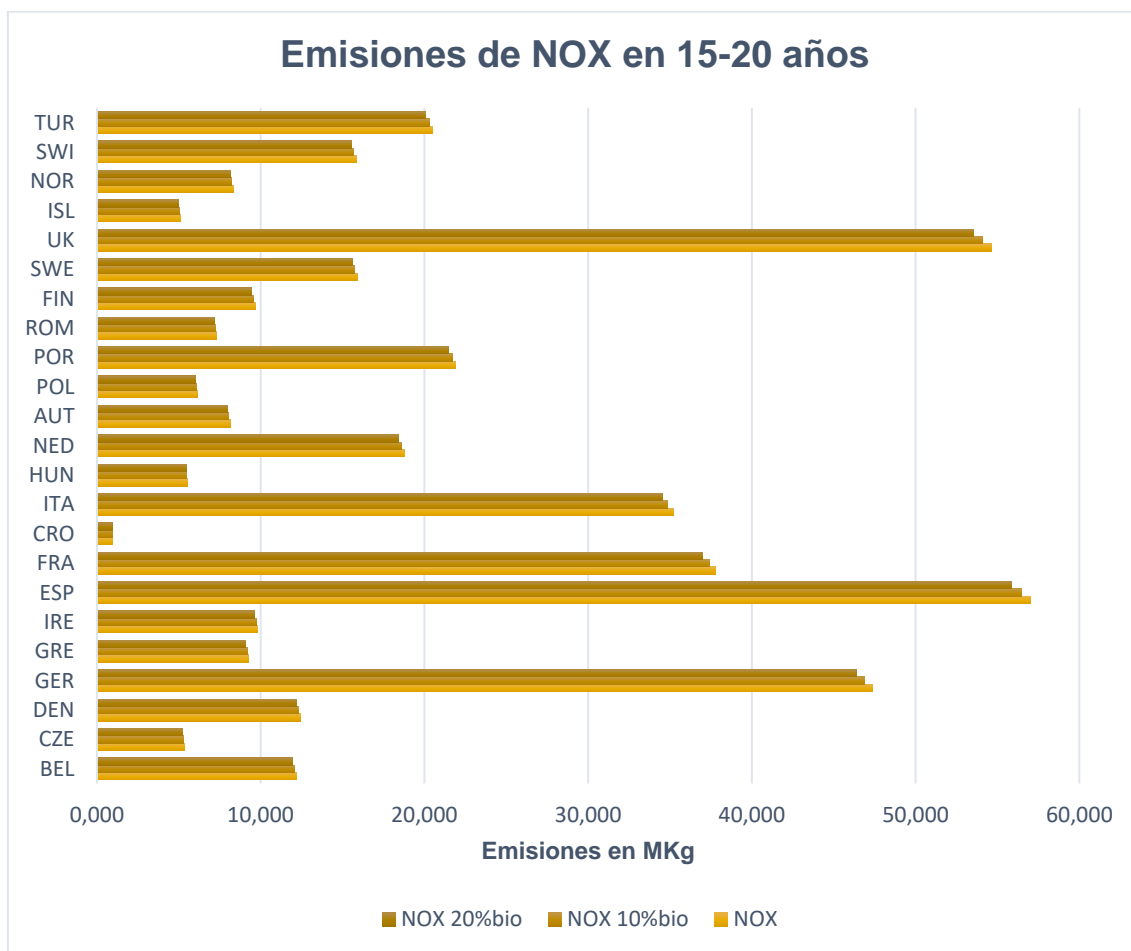


Ilustración 5.12: Emisiones de NO_x de los estados miembro en 15-20 años

En una situación donde se aplicase la nueva red de transporte y el uso de biocombustibles, las emisiones resultantes de dióxido de carbono descenderían a poco más de 117 kg por persona. A su vez, se producirían 106,54 kilogramos de NO_x por operación. Por último, tampoco existiría mucha diferencia en los gases de CO enviados a la atmósfera, correspondiente a 25,24 kilogramos. A continuación, se resumen, en forma de tabla, las reducciones de emisiones de GEI.

País	CO₂ con 10% biofuel (MKg)	Diferencia en porcentaje	CO₂ con 20% biofuel (MKg)	Diferencia en porcentaje
BEL	2.050,10	-6,10%	1.917,00	-12,20%
CZE	911,03	-5,84%	851,85	-11,96%
DEN	2.173,80	-6,10%	2.032,60	-12,20%
GER	8.077,40	-6,07%	7.552,70	-12,17%
GRE	1.744,10	-6,10%	1.630,80	-12,20%
IRE	1.802,60	-6,10%	1.685,50	-12,20%
ESP	11.282,60	-5,43%	10.549,80	-11,57%
FRA	6.727,23	-6,10%	6.288,20	-12,23%
CRO	157,13	-6,10%	146,92	-12,20%
ITA	6.232,84	-6,10%	5.827,94	-12,20%
HUN	1.184,60	-6,10%	1.107,60	-12,20%
NED	3.462,90	-6,10%	3.238,00	-12,20%
AUT	1.357,90	-6,10%	1.269,70	-12,20%
POL	1.105,60	1,64%	1.033,80	-4,96%
POR	3.696,29	-6,10%	3.456,24	-12,20%
ROM	1.324,30	-6,10%	1.238,30	-12,20%
FIN	1.669,60	-6,10%	1.561,20	-12,20%
SWE	2.707,62	-5,90%	2.531,72	-12,01%
UK	9.840,87	-6,10%	9.201,61	-12,20%
ISL	1.077,20	-6,10%	1.007,20	-12,20%
NOR	1.428,40	-6,10%	1.335,60	-12,20%
SWI	2.607,10	-6,10%	2.437,70	-12,20%
TUR	3.593,10	-6,10%	3.359,70	-12,20%

Tabla 5.13: Emisiones de CO₂ de los estados miembro a 5 años para un escenario con biocombustible y una nueva red de aviación

País	CO₂ con 10% biofuel (MKg)	Diferencia en porcentaje	CO₂ con 20% biofuel (MKg)	Diferencia en porcentaje
BEL	2.562,70	-6,10%	2.396,20	-12,20%
CZE	1.138,80	-5,85%	1.064,80	-11,96%
DEN	2.717,20	-6,10%	2.540,70	-12,20%
GER	10.096,80	-6,07%	9.440,80	-12,17%
GRE	2.180,10	-6,10%	2.038,50	-12,20%
IRE	2.253,30	-6,10%	2.106,90	-12,20%
ESP	14.103,30	-5,43%	13.187,20	-11,57%
FRA	8.408,96	-6,10%	7.862,69	-12,20%
CRO	196,42	-6,10%	183,66	-12,20%
ITA	7.791,05	-6,10%	7.284,90	-12,20%
HUN	1.480,70	-6,10%	1.384,50	-12,20%
NED	4.328,70	-6,10%	4.047,50	-12,20%
AUT	1.697,30	-6,10%	1.587,10	-12,20%
POL	1.382,00	1,64%	1.292,20	-4,96%
POR	4.620,50	-6,10%	4.320,22	-12,20%
ROM	1.655,40	-6,10%	1.547,80	-12,20%
FIN	2.087,00	-6,10%	1.951,40	-12,20%
SWE	3.384,52	-5,90%	3.164,60	-12,01%
UK	12.300,74	-6,11%	11.502,01	-12,20%
ISL	1.346,50	-6,10%	1.259,00	-12,20%
NOR	1.785,50	-6,10%	1.669,50	-12,20%
SWI	3.258,90	-6,10%	3.047,10	-12,20%
TUR	4.491,30	-6,10%	4.199,60	-12,20%

Tabla 5.14: Emisiones de CO₂ de los estados miembro a 15-20 años para un escenario con biocombustible y una nueva red de aviación

País	NO_x con 10% biofuel (MKg)	Reducción en toneladas	NO_x con 20% biofuel (MKg)	Diferencia en toneladas
BEL	10,015	101,00	9,914	202,00
CZE	4,368	44,00	4,324	88,00
DEN	10,586	107,00	10,479	214,00
GER	39,296	397,00	38,899	794,00
GRE	8,445	86,00	8,360	171,00
IRE	8,617	87,00	8,529	175,00
ESP	52,767	532,40	52,213	1086,40
FRA	32,057	324,30	31,734	647,30
CRO	0,760	7,80	0,752	15,80
ITA	30,002	303,50	29,699	606,50
HUN	5,009	50,40	4,958	101,40
NED	16,266	164,60	16,102	328,60
AUT	6,615	66,40	6,548	133,40
POL	5,269	53,50	5,216	106,50
POR	17,982	181,40	17,800	363,40
ROM	6,374	64,70	6,310	128,70
FIN	8,106	82,20	8,024	164,20
SWE	13,181	133,40	13,048	266,40
UK	46,882	473,40	46,408	947,40
ISL	4,815	48,40	4,766	97,40
NOR	6,960	70,60	6,890	140,60
SWI	12,756	128,60	12,627	257,60
TUR	17,712	178,80	17,533	357,80

Tabla 5.15: Emisiones de NO_x de los estados miembro a 5 años para un escenario con biocombustible y una nueva red de aviación

País	NO _x con 10% <i>biofuel</i> (MKg)	Reducción en toneladas	NO _x con 20% <i>biofuel</i> (MKg)	Reducción en toneladas
BEL	12,054	122,00	11,933	243,00
CZE	5,279	53,00	5,225	107,00
DEN	12,306	124,00	12,181	249,00
GER	46,866	472,90	46,392	946,90
GRE	9,187	93,00	9,094	186,00
IRE	9,723	98,00	9,625	196,00
ESP	56,442	570,50	55,872	1140,50
FRA	37,385	377,40	37,007	755,40
CRO	0,950	9,70	0,941	18,70
ITA	34,870	351,90	34,518	703,90
HUN	5,499	55,60	5,444	110,60
NED	18,585	188,00	18,398	375,00
AUT	8,048	81,50	7,967	162,50
POL	6,104	61,80	6,042	123,80
POR	21,697	219,30	21,478	438,30
ROM	7,229	72,70	7,156	145,70
FIN	9,563	96,40	9,466	193,40
SWE	15,741	159,30	15,582	318,30
UK	54,095	546,10	53,548	1093,10
ISL	5,027	50,40	4,976	101,40
NOR	8,244	83,40	8,161	166,40
SWI	15,688	158,00	15,529	317,00
TUR	20,286	205,00	20,081	410,00

Tabla 5.16: Emisiones de NO_x de los estados miembro a 15-20 años para un escenario con biocombustible y una nueva red de aviación

Según los resultados anteriores, al aplicar un diez por ciento de biocombustibles y la nueva red aérea, las emisiones en cinco años de dióxido de carbono disminuirían en 4.760 MKg respecto a las previsiones. Si dicho porcentaje aumentara al 20, estas serían de 9.710 MKg. En un periodo de quince a veinte años, la máxima reducción sería de 12.150 mega kilogramos. Alemania, con 1.310 MKg, España, con 1.725, y el Reino Unido, con 1.600, aportarían los mayores descensos.

Respecto a los óxidos de nitrógeno, en cinco años la cantidad emitida pasaría de 368,5 mega kilogramos a 364,8 si se usara un diez por ciento de *biofuel*, y a 361,1 si fuera del 20 por ciento. Con previsiones a quince o veinte años, habría un descenso de 8,5 mega kilogramos en el escenario más optimista, es decir, un dos por ciento.

Teniendo en cuenta la variación en los dos últimos gases (NO_x y CO), aplicar un 20 por ciento de biocarburantes reduciría las emisiones de CO₂ en unos 15,69 kilogramos por persona, valor a considerar si se multiplica por el total de viajeros en transporte aéreo de aquí a cinco años: más de 740 millones. Por último,

resulta especialmente útil comparar los valores de emisiones actuales con los resultantes anteriores.

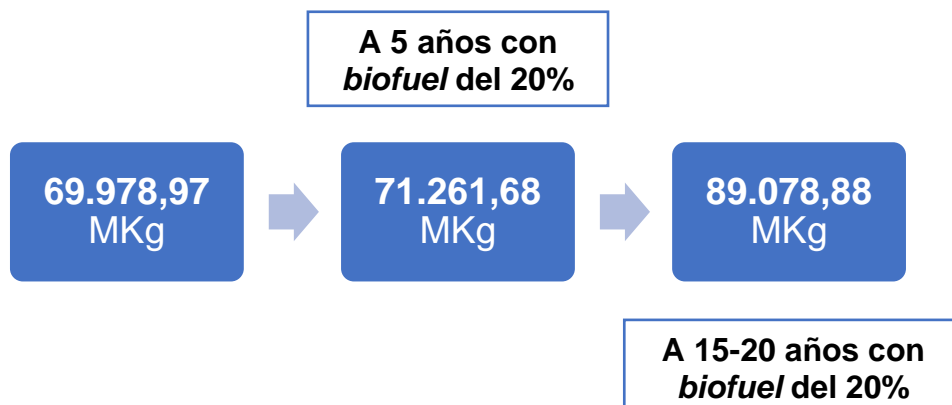


Ilustración 5.13: Emisiones de CO₂ con la red de aviación y un uso de biocombustible

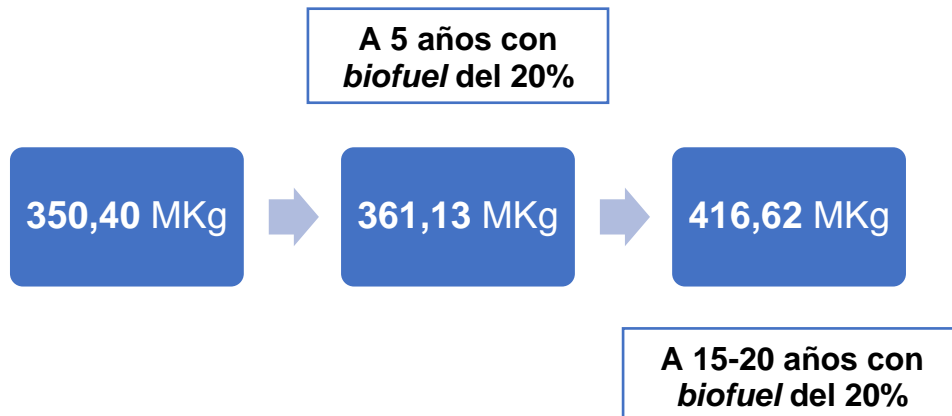


Ilustración 5.14: Emisiones de NO_x con la red de aviación y un uso de biocombustible

Las figuras anteriores vienen a resumir un concepto: los escenarios considerados permiten reducir las emisiones proyectadas a cinco o quince años. En cambio, la cantidad aumentará respecto a la actualidad. Ello hace necesario medidas suplementarias, desarrolladas a continuación.

4.4 Escenario 4: restricciones en los enlaces aéreos

En último lugar, y teniendo en cuenta los resultados obtenidos para los distintos escenarios, cabe plantearse una hipótesis cada vez más discutida en el sector: ¿es sostenible el modelo actual de transporte aéreo? [43]

Según las previsiones obtenidas, el transporte aéreo europeo pasará de 1.100 millones de pasajeros en el año 2018 a un total de 1.900 millones en el 2037, según las previsiones de la IATA. Ello hará aumentar las restricciones en capacidad, tanto en-ruta como en los aeropuertos. De hecho, la Comisión Europea prevé que en 2035 no puedan proveerse servicios para 2 millones de operaciones, y 20 aeropuertos estén congestionados. Ante esta situación, existen proyectos en marcha, como el *Single European Sky* (SES), que pretenden dar respuesta a las incógnitas planteadas. Sin embargo, también debe tenerse en cuenta el entorno. Las autoridades y los *stakeholders* ya intentan encontrar soluciones a medio y largo plazo, como puede ser CORSIA. Aun así, los resultados no son suficientemente ambiciosos. La Unión Europea tiene previsto reducir las emisiones totales en un 40 por ciento para el año 2030, y respecto al sector de la aviación, las emisiones de CO₂ deberían estabilizarse para el año que viene, aunque no sea aún obligatorio. Teniendo en cuenta los indicadores y estas perspectivas, deben hacerse mayores esfuerzos para hacer frente al aumento de gases de efecto invernadero.

Siguiendo el párrafo anterior, se ha estudiado la posibilidad de limitar los vuelos cortos: establecer un límite de distancia dentro del cual no fuera posible realizar una operación aérea. Se han de tener en cuenta elementos diversos como la geografía existente, las alternativas de transporte entre ambos puntos y el tiempo aproximado en realizar la ruta.

En primer lugar, la geografía puede determinar la aplicación de este método. Existen estados cuya situación hace muy difícil su implementación, como pueden ser Gran Bretaña, Irlanda, o Islandia. También es importante analizar no solamente los territorios incluidos en este proyecto, sino también otras áreas existentes en el continente, como pueden ser Chipre, Malta, los centenares de islas repartidas en Grecia, Italia, Córcega, o las Islas Canarias, por citar ejemplos.

En segundo lugar, existe una relación entre las alternativas de movilidad al recorrer una ruta y el tiempo utilizado. Algunos puntos tendrán transporte de ferrocarril de alta velocidad, así como otros de tipo terrestre, mientras que otros enlaces sólo tendrán una sola opción, y esa no será la más óptima.

Siguiendo con el razonamiento anterior, se ha procedido a analizar de forma breve el estado europeo del transporte alternativo al aéreo. Sucesivamente, el ferrocarril de alta velocidad es la forma de movilidad más competitiva, con una velocidad mínima considerada de 200 kilómetros por hora. Muchos países europeos tienen redes en servicio, desde España, pasando por Bélgica, Alemania, Reino Unido o Suecia. Por orden de extensión, Alemania encabeza la lista con 3.641 kilómetros. Algunas de sus líneas más importantes son Hanover – Berlín, Colonia – Fráncfort, o Berlín – Hamburgo. Francia, con 3.460,8 kilómetros, es segunda respecto a la longitud de su red. Existen enlaces como París – Lyon, París – Lilla – Calais, o París – Marsella. Por su parte, España ocupa el tercer lugar con 3.410 kilómetros, con conexiones como Madrid – Barcelona, Madrid – Málaga, o Madrid – Alicante. En cuarta posición, Suecia tiene 1.706 kilómetros de alta velocidad. Sin embargo, la velocidad de sus trenes es de 200 kilómetros por hora, es decir, el mínimo considerado. Otros casos serían el Reino Unido, con 1.527 kilómetros, pero la conexión Londres – Bruselas – París sería la principal, y, finalmente, Italia, que dispone de 1.467 kilómetros. Las redes Roma – Milán, Milán – Turín o Roma – Nápoles serían las más importantes.



Ilustración 5.15: Red europea de ferrocarril de alta velocidad (https://en.wikipedia.org/wiki/High-speed_rail_in_Europe)

Un factor a tener en cuenta será la variable tiempo. Al renunciar a la opción de una ruta aérea, el tiempo necesario en recorrer la distancia aumentará, hecho

que repercutirá negativamente en la satisfacción del usuario. Por ello, deberá equilibrarse la relación entre satisfacción y sostenibilidad del transporte aéreo.

A través de la imagen anterior, y pudiendo incorporar el transporte por automóvil o autobús si fuera necesario, se ha decidido establecer una distancia límite de 750 kilómetros. Esta elección tendría en cuenta las redes existentes a nivel europeo, pero también la satisfacción del pasajero, ya que, de esta manera, no existiría una gran diferencia temporal entre ambos modos de transporte, y se evitaría, en la medida de lo posible, realizar más de un tramo en tren. A continuación, se obtienen los resultados, detallando primero el número de pasajeros, y las emisiones de gases de efecto invernadero, después.

País	Pasajeros a 5 años	Pasajeros a 15/20 años	Pasajeros a 5 años (NUEVO)	Pasajeros a 15/20 años (NUEVO)
BEL	21.617.364	27.021.705	13.944.804	17.431.005
CZE	10.392.720	12.990.900	6.782.928	8.478.660
DEN	21.941.376	27.426.720	14.282.724	17.853.405
GER	95.926.800	119.908.500	45.156.000	56.445.000
GRE	10.598.856	13.248.570	9.403.908	11.754.885
IRE	19.449.144	24.311.430	19.449.144	24.311.430
ESP	95.093.784	118.867.230	82.738.368	103.422.960
FRA	81.709.416	102.136.770	39.468.228	49.335.285
CRO	2.063.880	2.579.850	1.117.560	1.396.950
ITA	64.899.252	81.124.065	44.108.280	55.135.350
HUN	10.708.608	13.385.760	9.117.192	11.396.490
NED	38.727.204	48.409.005	20.374.332	25.467.915
AUT	15.670.740	19.588.425	9.336.492	11.670.615
POL	9.819.684	12.274.605	8.581.632	10.727.040
POR	27.763.656	34.704.570	22.599.900	28.249.875
ROM	8.872.872	11.091.090	7.930.332	9.912.915
FIN	12.063.936	15.079.920	10.464.216	13.080.270
SWE	25.351.656	31.689.570	15.809.316	19.761.645
UK	96.348.936	120.436.170	74.205.204	92.756.505
ISL	5.506.200	6.882.750	5.506.200	6.882.750
NOR	13.126.920	16.408.650	9.223.236	11.529.045
SWI	33.662.340	42.077.925	15.662.208	19.577.760
TUR	19.438.416	24.298.020	18.168.924	22.711.155
TOTAL	740.753.760	925.942.200	487.768.920	629.288.910

Tabla 5.17: Pasajeros en dos escenarios temporales

Las rutas que serían eliminadas teniendo en cuenta los parámetros indicados serían las siguientes:

Rutas eliminadas y sustituidas por tren		
Bruselas – Praga	Bruselas – Berlín	Bruselas – Fráncfort
Bruselas – Hamburgo	Bruselas – Múnich	Bruselas – Lyon
Bruselas – París	Bruselas – Milán	Bruselas – Ámsterdam
Bruselas – Birmingham	Bruselas – Mánchester	Bruselas – Londres
Bruselas – Ginebra	Bruselas – Zúrich	Praga – Copenhague
Praga – Berlín	Praga – Fráncfort	Praga – Hamburgo
Praga – Múnich	Praga – Milán	Praga – Venecia
Praga – Budapest	Praga – Viena	Praga – Varsovia
Praga – Zúrich	Copenhague – Berlín	Copenhague – Fráncfort
Copenhague – Hamburgo	Copenhague – Ámsterdam	Copenhague – Varsovia
Copenhague – Gotemburgo	Copenhague – Estocolmo	Copenhague – Oslo
Berlín – Fráncfort	Berlín – Múnich	Berlín – Budapest
Berlín – Ámsterdam	Berlín – Viena	Berlín – Varsovia
Berlín – Gotemburgo	Berlín – Zúrich	Fráncfort – Hamburgo
Fráncfort – Múnich	Fráncfort – Lyon	Fráncfort – Niza
Fráncfort – París	Fráncfort – Zagreb	Fráncfort – Milán
Fráncfort – Venecia	Fráncfort – Ámsterdam	Fráncfort – Viena
Fráncfort – Londres	Fráncfort – Ginebra	Fráncfort – Zúrich
Hamburgo – Múnich	Hamburgo – París	Hamburgo – Ámsterdam
Hamburgo – Viena	Hamburgo – Londres	Hamburgo – Oslo
Hamburgo – Zúrich	Múnich – Lyon	Múnich – Marsella
Múnich – Niza	Múnich – París	Múnich – Zagreb
Múnich – Milán	Múnich – Venecia	Múnich – Roma
Múnich – Budapest	Múnich – Ámsterdam	Múnich – Viena
Múnich – Ginebra	Múnich – Zúrich	Atenas – Bucarest
Atenas – Estambul	Barcelona – Madrid	Barcelona – Toulouse
Barcelona – Lyon	Barcelona – Marsella	Barcelona – Niza
Barcelona – Milán	Barcelona – Ginebra	Madrid – Málaga
Madrid – Toulouse	Madrid – Oporto	Madrid – Lisboa
Málaga – Lisboa	Toulouse – Lyon	Toulouse – Marsella
Toulouse – Niza	Toulouse – París	Toulouse – Milán
Toulouse – Ginebra	Lyon – Niza	Lyon – París
Lyon – Venecia	Lyon – Roma	Lyon – Ámsterdam
Lyon – Londres	Lyon – Zúrich	Marsella – París
Marsella – Roma	Niza – París	Niza – Roma
Niza – Ginebra	Niza – Zúrich	París – Milán
París – Ámsterdam	París – Ámsterdam	París – Mánchester
París – Londres	París – Ginebra	París – Zúrich
Zagreb – Viena	Zagreb – Zúrich	Milán – Roma
Milán – Nápoles	Milán – Viena	Milán – Zúrich
Venecia – Roma	Venecia – Nápoles	Venecia – Viena
Venecia – Ginebra	Venecia – Zúrich	Roma – Nápoles
Roma – Ginebra	Roma – Zúrich	Budapest – Viena
Budapest – Varsovia	Budapest – Bucarest	Ámsterdam – Gotemburgo
Ámsterdam – Birmingham	Ámsterdam – Mánchester	Ámsterdam – Londres
Ámsterdam – Ginebra	Ámsterdam – Zúrich	Viena – Varsovia
Viena – Zúrich	Oporto – Lisboa	Bucarest – Estambul
Helsinki – Estocolmo	Gotemburgo – Estocolmo	Gotemburgo – Oslo
Estocolmo – Oslo	Mánchester – Londres	Londres – Ginebra

Tabla 5.18: Rutas aéreas eliminadas siguiendo criterios medioambientales

Finalmente, las emisiones correspondientes a las rutas no eliminadas son las siguientes:

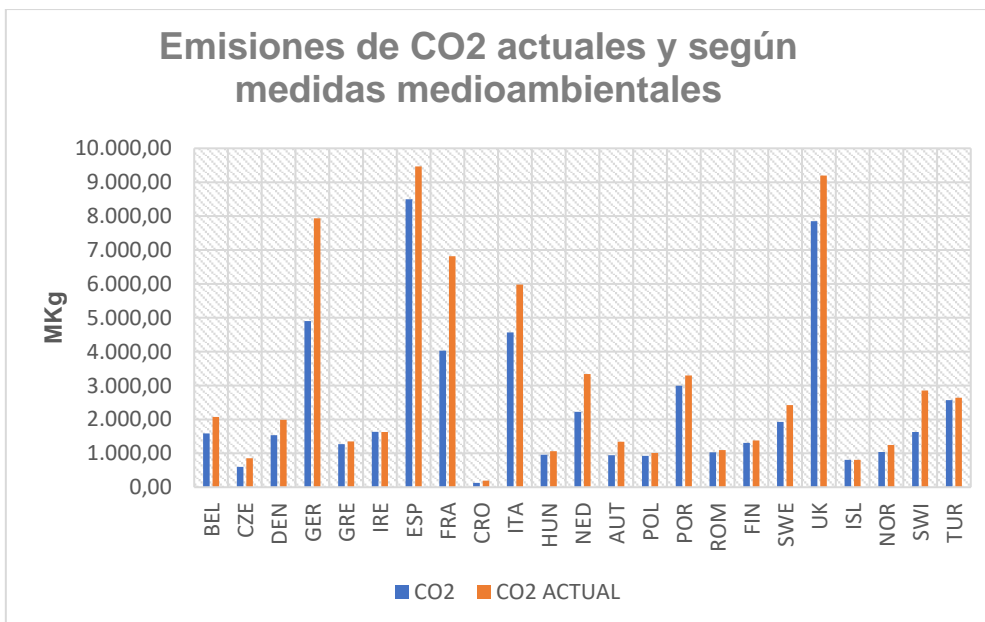


Ilustración 5.16: Emisiones de CO₂ según las nuevas medidas medioambientales

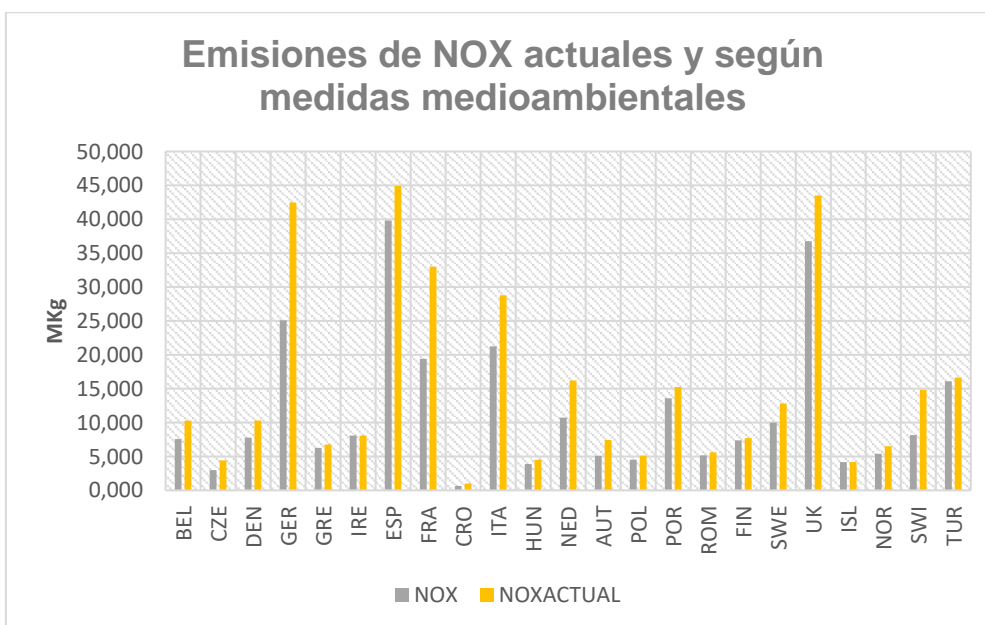


Ilustración 5.17: Emisiones de NO_x según las nuevas medidas medioambientales

Además de estos gráficos, se ha comparado, en forma de tabla, el valor actual con una supuesta combinación del escenario consistente en el uso de biocombustibles con la nueva red europea, añadiendo la eliminación de rutas. Después de obtener los valores correspondientes a dióxido de carbono, se ha reproducido para los óxidos de nitrógeno.

País	Emisiones de CO ₂	CO ₂ <i>biofuel</i> y nueva red europea 5 años	Emisiones CO ₂ ALT con <i>biofuel</i> y red europea 5 años
BEL	2.073,10	1.917,00	1.583,90
CZE	856,70	851,85	638,57
DEN	1.990,40	2.032,60	1.676,20
GER	7.936,30	7.552,70	5.288,62
GRE	1.350,70	1.630,80	1.564,30
IRE	1.630,40	1.685,50	1.685,50 ⁴
ESP	9.464,20	10.549,80	9.821,97 ⁴
FRA	6.814,23	6.288,20	3.901,55 ⁴
CRO	191,00	146,92	106,61
ITA	5.978,44	5.827,94	4.824,44
HUN	1.063,30	1.107,60	1.032,10
NED	3.339,60	3.238,00	2.450,90
AUT	1.338,90	1.269,70	968,12
POL	1.011,50	1.033,80	977,95
POR	3.297,72	3.456,24	3.293,11
ROM	1.094,30	1.238,30	1.191,20
FIN	1.379,20	1.561,20	1.511,00
SWE	2.421,25	2.531,72	2.181,28
UK	9.198,09	9.201,61	8.259,34 ⁴
ISL	808,24	1.007,20	1.007,20
NOR	1.247,20	1.335,60	1.171,80
SWI	2.852,20	2.437,70	1.551,68
TUR	2.642,00	3.359,70	3.302,10

Tabla 5.19: Emisiones de dióxido de carbono actuales, con biocombustible y la nueva red europea, y añadiendo la reducción de rutas

⁴ En algunos países seleccionados, a las emisiones obtenidas se le deben sumar aquellas rutas cuya distancia es inferior a 750 kilómetros, pero no es posible realizarla mediante otros transportes, como por ejemplo los enlaces de Dublín con el Reino Unido, o Palma de Mallorca con Barcelona, Madrid o algunos destinos franceses.

País	Emisiones de CO ₂	CO ₂ <i>biofuel</i> y nueva red europea 15-20 años	Emisiones CO ₂ ALT con <i>biofuel</i> y red europea 15-20 años
BEL	2.073,10	2.396,20	1.979,80
CZE	856,70	1.064,80	798,21
DEN	1.990,40	2.540,70	2.095,30
GER	7.936,30	9.440,80	6.610,75
GRE	1.350,70	2.038,50	1.955,40
IRE	1.630,40	2.106,90	2.106,90
ESP	9.464,20	13.187,20	12.258,65
FRA	6.814,23	7.862,69	5.238,24
CRO	191,00	183,66	133,27
ITA	5.978,44	7.284,90	6.030,52
HUN	1.063,30	1.384,50	1.290,10
NED	3.339,60	4.047,50	3.063,60
AUT	1.338,90	1.587,10	1.210,10
POL	1.011,50	1.292,20	1.222,40
POR	3.297,72	4.320,22	4.116,43
ROM	1.094,30	1.547,80	1.489,00
FIN	1.379,20	1.951,40	1.888,70
SWE	2.421,25	3.164,60	2.726,65
UK	9.198,09	11.502,01	10.324,22
ISL	808,24	1.259,00	1.259,00
NOR	1.247,20	1.669,50	1.464,70
SWI	2.852,20	3.047,10	1.939,59
TUR	2.642,00	4.199,60	4.127,70

Tabla 5.20: Emisiones de dióxido de carbono actuales, con biocombustible y la nueva red europea, y añadiendo la reducción de rutas, en un plazo de quince a veinte años

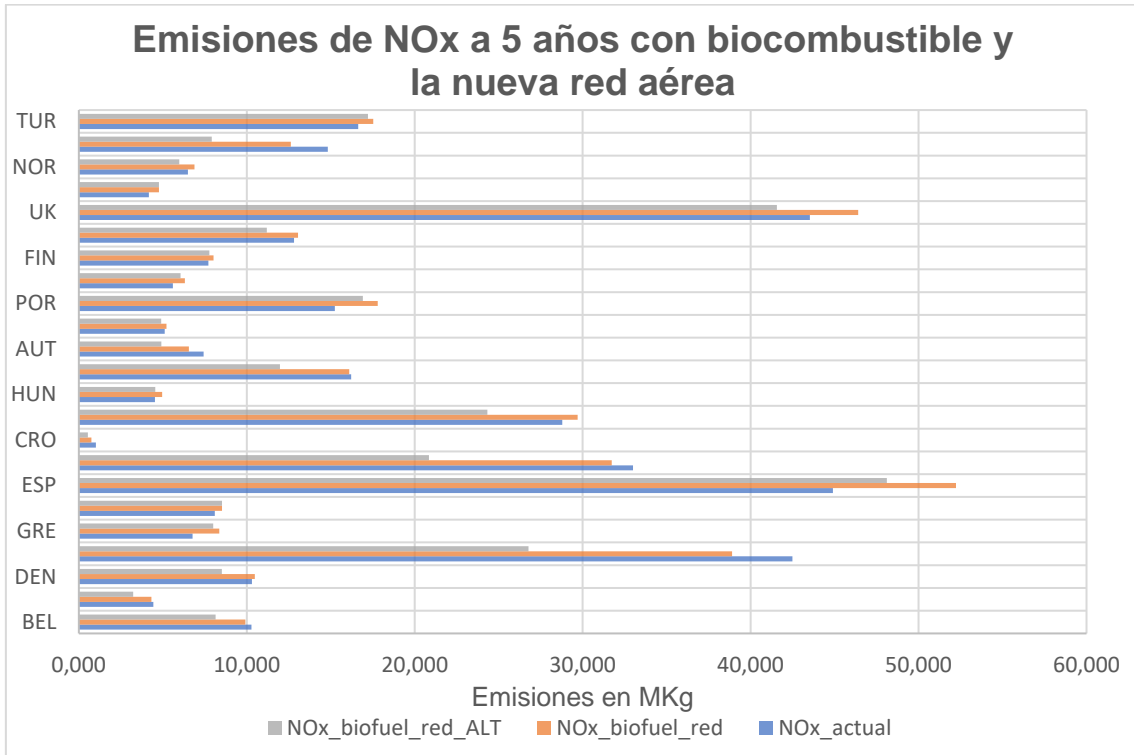


Ilustración 5.18: Emisiones de NO_x según las nuevas medidas medioambientales, aplicando biocombustible y la nueva red europea

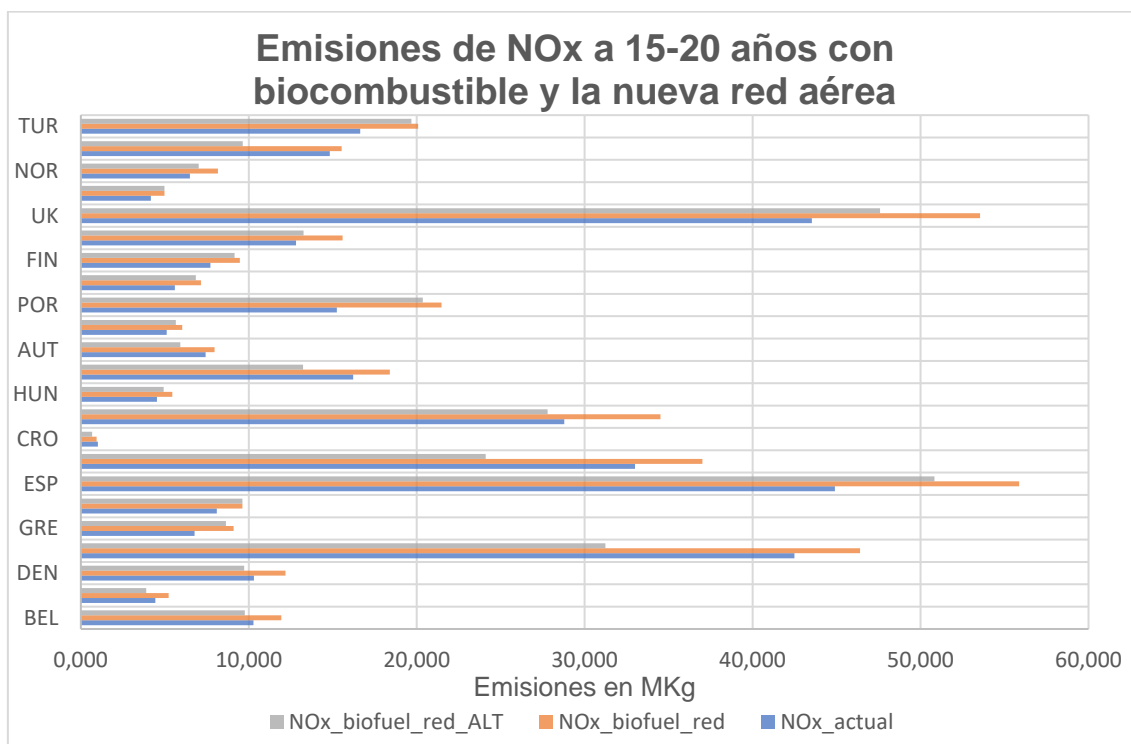


Ilustración 5.19: Emisiones de NO_x a 15 o 20 años, según las nuevas medidas medioambientales, aplicando biocombustible y la nueva red europea

Los resultados muestran un evidente descenso de las emisiones al eliminar aquellas rutas cuya distancia es inferior al límite. En el caso de las emisiones de CO₂, se aprecia un descenso superior al 20 por ciento, con un ahorro de 15.000 MKg. Incluso, en algunos países con un peso importante en la industria, las reducciones son superiores al 30 por ciento: Países Bajos (33,38 %), Alemania (38,22 %) y Francia (40,88 %). Estos tres estados ahorrarían casi 7.000 millones de kilogramos. La razón de dicho descenso se encuentra en la posición geográfica de las instalaciones, pero también en la existencia de alternativas de transporte rápidas y eficaces. De forma similar, el decremento en las emisiones de NO_x en estos tres países sería de más de 36 millones de kilogramos, un 40 por ciento.

También pueden obtenerse las proyecciones a 5 y 15 o 20 años mediante dos premisas: aplicando el escenario 3 (suma de biocombustible y la nueva red europea), y comparándolo con la adición de los enlaces descartados. En el primer caso, se podría emitir la cantidad actual de CO₂ en un futuro a cinco años vista, aumentando dicha cantidad en 1.200 MKg aproximadamente. Sin embargo, si se obviasen las rutas que se ha decidido eliminar, el total disminuiría en más de 11.000 MKg, destacando Alemania, con un ahorro de 2.260 mega kilogramos, y Francia, con 2.380. De forma similar, en un escenario a 15 o 20 años, la reducción derivada del recorte de rutas haría disminuir las emisiones en

un 15 por ciento aproximadamente, pero con picos superiores al 30 por ciento en los países anteriores.

Respecto al NO_x, el uso del escenario 3 haría aumentar la proyección en cinco años de los 350,4 mega kilogramos actuales a más de 361, y a 416 aproximadamente en quince años. Sin el peso específico de los enlaces eliminados, esta cantidad se reduciría a 302,74 y 344,57 MKg, respectivamente.

Una vez se han podido calcular las distintas emisiones y proyecciones, se deben responder algunas preguntas de gran importancia para el futuro de la aviación como para la investigación existente en el sector medioambiental: ¿estos escenarios podrán cumplir con los acuerdos medioambientales existentes? ¿Se necesitarán medidas suplementarias para asegurar la sostenibilidad de la aviación europea? Además de estas preguntas, se van a desarrollar las principales conclusiones obtenidas en el proyecto.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES

El objetivo principal del proyecto ha sido analizar la situación actual del transporte aéreo en Europa, con el objetivo de mejorar su sostenibilidad en un futuro a medio y largo plazo. Además, se ha analizado el futuro del sector, teniendo en cuenta cuáles serán los motores que dirigirán el crecimiento, tanto desde el punto de vista de los estados como de las políticas necesarias.

En primer lugar, se ha podido obtener una visión realista y detallada de la industria aérea en Europa. Las rutas analizadas, con sus correspondientes aeropuertos, aportan un total de 607,87 millones de pasajeros, cuando el número total de viajeros en los países estudiados es de 1.177 millones, es decir, más de un 51 por ciento del total. Teniendo en cuenta este dato, se puede deducir que la solución o escenarios aplicados a este proyecto son fácilmente exportables al porcentaje restante. Fuera del ámbito europeo, también podría estudiarse el impacto que podría tener un estudio similar en otros continentes, o incluso que pudiera aplicarse a nivel global, pudiendo crear sinergias comunes que tuvieran consecuencias globales. Se ha de tener en cuenta que el papel de Europa en la aviación tiende a disminuir: actualmente representa un 26 por ciento del tráfico, pero en 20 años este disminuirá a poco más del 21 %

En términos de eficiencia, gestión y productividad, es interesante la reducción en número de vuelos aplicando la nueva red europea. Esta reducción asciende a más de 467.000 vuelos, totalizando más de 4 millones de operaciones. Esta disminución podría ayudar a descongestionar los cuellos de botella existentes, reducir los retrasos a nivel europeo y poder dar cabida a nuevas operaciones en el futuro. Sin embargo, siguen siendo necesarias medidas e investigaciones para poder optimizar y aumentar la eficiencia en el espacio aéreo continental.

En segundo lugar, se aprecia una disminución de gases de efecto invernadero en los escenarios de uso de biocarburante. Concretamente, en el caso de dióxido de carbono, las emisiones se reducen desde los 69.978 MKg a los 61.441 en el caso más optimista, una reducción del 12 por ciento. Si se pusiera en marcha la red aérea compuesta por aeronaves más eficientes, las emisiones a cinco años ascenderían hasta 76.214 MKg con un 10 por ciento de biofuel o 71.261 con un 20 por ciento. Respecto a los óxidos de nitrógeno, las emisiones actuales de 350,40 mega kilogramos ascenderían a, como mínimo, 361,13. Si se planteara un horizonte de 15 o 20 años, los números serían más pesimistas, ya que las cantidades serían de 89.078 MKg en el caso de CO₂, y de 416,62 para NO_x.

Los resultados certifican que existe un gran abanico de mejora en el sector. Por ello, se ha procedido a introducir una medida destinada a reducir la cantidad de enlaces aéreos existentes, basándose en la distancia entre origen y destino, pero

también en las alternativas de transporte existentes. Su aplicación permite reducir la cantidad actual de emisiones de CO₂ en más de un 14 por ciento de aquí a cinco años, ahorrando 10.000 millones de kilogramos. Sin embargo, y debido al crecimiento previsto, en un escenario a quince o veinte años, habría un incremento de un 7 por ciento, es decir, más de 5.300 millones de kilogramos adicionales. En el caso de los óxidos de nitrógeno, las reducciones serían, respectivamente, de un 13,6 y un 1,7 por ciento. En términos absolutos, las cantidades no emitidas serían de 47,66 y de 5,83 millones de kilogramos.

Estos resultados permiten extraer algunos puntos interesantes: se pueden reducir las emisiones atmosféricas mediante políticas que ahonden en el uso de alternativas sostenibles, ya sea en el combustible o en las aeronaves utilizadas. Aun así, las reducciones más fuertes se producen al incorporar restricciones en algunas rutas. Sin esas medidas, a medio y largo plazo, las emisiones seguirían aumentando.

Teniendo en cuenta el párrafo anterior, deben considerarse los objetivos y acuerdos existentes en materia climática. La Unión Europea pretende reducir las emisiones de gases de efecto invernadero para 2030 en un 40 por ciento respecto al 1990. Considerando que, según Eurostat, las emisiones en el periodo 1990-2005 han crecido un 70 por ciento, para cumplir con dicho objetivo la reducción debería ser de un 50 por ciento aproximadamente. Analizando los datos anteriores, la mayor reducción se produce a cinco años vista, pero en el periodo especificado, es decir, unos quince años, no existe decrecimiento alguno. Las emisiones aumentarán, de forma que, siguiendo las tesis de este proyecto, el sector de la aviación en Europa no podrá cumplir dichos objetivos. También, se ha de tener presente la existencia de un acuerdo más ambicioso aún: no producir emisiones netas de GEI para el año 2050. La aviación europea debe contribuir a dicho objetivo de forma decisiva, pero teniendo en cuenta su papel en la economía global.

A tenor de los resultados obtenidos, existe un modelo para poder disminuir, de forma limitada, las emisiones. Sin embargo, debe estudiarse la opción de apostar por otros medios de transporte cuando la distancia no sea muy considerable, como por ejemplo el tren. Este último medio produce muchos menos residuos, hasta 13 veces menos emisiones, que una determinada aeronave. Una disminución en el uso del transporte aéreo para este tipo de rutas produciría un impacto mucho más significativo, hecho que ayudaría en la reducción total de los gases de efecto invernadero, con consecuencias ampliamente estudiadas en los campos del medioambiente y del clima.

CAPÍTULO VI. BIBLIOGRAFÍA

- [1,3] M. Gill, "Aviation: Benefits beyond borders (2018)," p. 88, 2018.
- [2] "EU Aviation: 25 years of reaching new heights | Mobility and Transport." [Online]. Available: https://ec.europa.eu/transport/modes/air/25years-eu-aviation_en. [Accessed: 06-Sep-2019].
- [4] "Air | Mobility and Transport." [Online]. Available: https://ec.europa.eu/transport/modes/air_en. [Accessed: 06-Sep-2019].
- [5] Comisión Europea, "Estrategia de aviación Europa," pp. 2–32, 2005.
- [6] "Las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) en España." [Online]. Available: <https://www.epdata.es/datos/emisiones-gases-efecto-invernadero-datos-graficos/218>. [Accessed: 10-Sep-2019].
- [7] O. US EPA, "Overview of Greenhouse Gases."
- [8] M. Maria, "Sustainable development – the key for green aviation," *Incas Bull.*, vol. 6, no. 1, pp. 109–122, 2014.
- [9] "ICAO Carbon Emissions Calculator Methodology Version 10 June 2017 Table of Contents," no. June, 2017.
- [10] S. Pozzi and T. Ferrer Morini, "Aviones que van más lejos a menor coste," *El País*, vol. 10, no. 2, pp. 1–15, Apr. 2018.
- [11] "Air transport, passengers carried | Data." [Online]. Available: <https://data.worldbank.org/indicator/is.air.psg>. [Accessed: 12-Sep-2019].
- [12] IATA, "the Annual Review 2018," *IATA J.*, p. 68, 2018.
- [13] ICAO, "2017 Air Transport Statistical Results," *Annu. Reports Counc.*, pp. 2008–2017, 2018.
- [14] ICAO, "ICAO Long-Term Traffic Forecasts Passenger and Cargo INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION ICAO Long-Term Traffic Forecasts Passenger and Cargo," 2018.
- [15] "Airspace efficiency in the spotlight following Europe delays | Airlines." [Online]. Available: <https://airlines.iata.org/news/airspace-efficiency-in-the-spotlight-following-europe-delays>. [Accessed: 12-Sep-2019].
- [16] Parlamento Europeo, "DIRECTIVA 2008/50/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 21 de mayo de 2008 relativa a la calidad del aire ambiente y a una atmósfera más limpia en Europa EL," *D. Of. la Unión Eur.*, no. L 152, pp. 1–44, 2008.
- [17] "Nueva directiva 2008/50/CE sobre calidad del aire en Europa | Envira Ingenieros Asesores." [Online]. Available: <https://envira.es/es/nueva-directiva-sobre-calidad-del-aire-en-europa-directiva-2008-50-ce-del-parlamento-europeo-y-del-consejo/>. [Accessed: 12-Sep-2019].
- [18] Secretaría de Estado de Medio Ambiente, "Inventario Nacional de Emisiones a la Atmósfera. Emisiones de gases de efecto invernadero," 2019.
- [19] "Reducing emissions from aviation | Climate Action." [Online]. Available: https://ec.europa.eu/clima/policias/transport/aviation_en. [Accessed: 13-Sep-2019].
- [20] "Impacts of Aviation | Stay Grounded." [Online]. Available: <https://stay-grounded.org/infos/impacts-of-aviation/>. [Accessed: 13-Sep-2019].
- [21] "EU Emissions Trading System (EU ETS) | Climate Action." [Online]. Available: https://ec.europa.eu/clima/policias/ets_en. [Accessed: 17-Sep-

- 2019].
- [22] European Commission, "A European Strategy for Low-Emission Mobility", *Eur. Comm.*, no. July, 2016
- [23] "Reducing emissions from aviation | Climate Action." [Online]. Available: https://ec.europa.eu/clima/policies/transport/aviation_en. [Accessed: 17-Sep-2019].
- [24] M. Planelles, "España presiona para que Europa aumente la cuota del 'biofuel' hecho con alimentos," *El País*, vol. 4, pp. 9–15, 18-Dec-2017.
- [25] "Biocombustibles para la aviación: El futuro de los combustibles para aviones." [Online]. Available: <https://www.betalabservices.com/espanol/biocombustibles/combustibles-para-aviacion.html>. [Accessed: 30-Sep-2019].
- [26] "Biofuels for aviation | Energy." [Online]. Available: <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/renewable-energy/biofuels/biofuels-aviation>. [Accessed: 30-Sep-2019].
- [27,42] European Commission, "Launch of the European Advanced Biofuels Flightpath," *Eur. Comm.*, no. February, pp. 2–3, 2011.
- [28] "Así es el Solar Impulse II y su vuelta al mundo," *El País*, Jun. 2016.
- [29] "Aviation's flight towards low emissions only fuels the crisis | Business | The Guardian." [Online]. Available: <https://www.theguardian.com/business/2019/sep/19/aviations-flight-towards-low-emissions-only-fuels-the-crisis>. [Accessed: 02-Oct-2019].
- [30] ACI EUROPE, Airport Traffic, <https://www.aci-europe.org/policy/position-papers.html?view=group&group=1&id=11>.
- [31] OACI, "Fases del Corsia," 2020.
- [32] IATA, *IATA 2015 Report on Alternative Fuels Edition 10t h*, no. December. 2016.
- [33] "Future of Aviation." [Online]. Available: <https://www.icao.int/Meetings/FutureOfAviation/Pages/default.aspx>. [Accessed: 28-Oct-2019].
- [34] ICAO, "ICAO Long-Term Traffic Forecasts Passenger and Cargo INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION ICAO Long-Term Traffic Forecasts Passenger and Cargo," 2018.
- [35] "European passengers set for more flight delays by 2040: Eurocontrol - Reuters." [Online]. Available: <https://de.reuters.com/article/us-europe-airports-delays/european-passengers-set-for-more-flight-delays-by-2040-eurocontrol-idUSKBN1JF2H1>. [Accessed: 29-Nov-2019].
- [36] "Major Airport Construction: Projects that will come to fruition in 2019 or the following years | CAPA." [Online]. Available: <https://centreforaviation.com/analysis/airline-leader/major-airport-construction-projects-that-will-come-to-fruition-in-2019-or-the-following-years-457946>. [Accessed: 30-Oct-2019].
- [37] European Environment Agency, "Aviation and shipping - impacts on Europe's environment", issue 22, 2018.
- [38] P. Glowacki and M. Kawalec, "Aircraft emissions during various flight phases," *Combust. Engines*, vol. 162, no. 3, pp. 229–240, 2015.
- [39] D. S. Lee *et al.*, "Transport impacts on atmosphere and climate: Aviation," *Atmos. Environ.*, vol. 44, no. 37, pp. 4678–4734, 2010.
- [40] A. I. Perera, "Las emisiones de CO 2 en la aviación comercial Una aviación respetuosa con el," *Atc Mag.*, pp. 18–23, 2008.

- [41] B. Graver, K. Zhang, and D. Rutherford, "CO2 emissions from commercial aviation, 2018," no. September, p. 13, 2019.
- [43] "Sustainable Flying: is sustainable air travel possible?" [Online]. Available: <https://flygrn.com/page/sustainable-air-travel>. [Accessed: 26-Jan-2020].

ANEXOS

Anexo 1. Programa MATLAB para creación de base de datos y ejecución de escenarios previstos

```
clear all
clc

filename='DADES_VECTOR.xlsx'; %datos 2017 EUROSTAT
filenametwo='ICAO CARBON EMISSIONS CALCULATOR.xlsx';
sheet=1;
xlRange='A1:AP42';
xlRange2='AR1:CF42';
xlRange3='CH1:DV42';
xlRange4='DY1:FM42';
xlRange5='A44:AP85';
[num,txt,raw]=xlsread(filename,sheet,xlRange);
[numalpha,txtalpha,rawalpha]=xlsread(filename,sheet,xlRange2);
[numbeta,txtbeta,rawbeta]=xlsread(filename,sheet,xlRange3);
[numgamma,txtgamma,rawgamma]=xlsread(filename,sheet,xlRange4);
[numepsilon,txtepsilon,rawepsilon]=xlsread(filenametwo,sheet,xlRange5);
[numtheta,txttheta,rawtheta]=xlsread(filenametwo,sheet);

contador=1;
contadorprima=1;
contadorprimados=1;
co2ruta_op=0;
co2total=0;
sumaCO2=0;
sumaNOXrutaemissions_op=0;
sumaCORutaemissions_op=0;
sumaco2fila=0;
sumanoxfila=0;
sumacofila=0;
[m,n]=size(num);
while(contadorprima<=m)
    contador=1;
    while(contador<=n)
        if(~isnan(num(contadorprima,contador)) && ~isnan(numbeta(contadorprima,contador)))
            ruta(contadorprimados,1)=contadorprima;
            ruta(contadorprimados,2)=contador;
            ruta(contadorprimados,4)=numbeta(contadorprima,contador); %annual n° flights
            ruta(contadorprimados,5)=num(contadorprima,contador); %Annual pax in thousands
            ruta(contadorprimados,6)=numalpha(contadorprima,contador); %distance Km
            ruta(contadorprimados,7)=numepsilon(contadorprima,contador); %Kg fuel emission
            fuelperkm(contadorprimados)=ruta(contadorprimados,7)/ruta(contadorprimados,6);
            ruta(contadorprimados,8)=ruta(contadorprimados,7)*0.21; %Kg fuel generation
            if(numgamma(contadorprima,contador)<140*0.8 && ruta(contadorprimados,6)<7400)
                %7400 km es el maximo alcance de un narrow-body
                ruta(contadorprimados,3)=737;
            end
        end
        contador=contador+1;
    end
    contadorprima=contadorprima+1;
end
```

```

elseif(numgamma(contadorprima,contador)>140*0.8                                &&
    ruta(contadorprimados,6)<7400)
    ruta(contadorprimados,3)=320;
elseif(numgamma(contadorprima,contador)>180*0.8                                &&
    ruta(contadorprimados,6)<7400)
    ruta(contadorprimados,3)=321;
elseif(numgamma(contadorprima,contador)>180*0.8                                &&
    ruta(contadorprimados,6)>7400)
    ruta(contadorprimados,3)=787;
end
ruta(contadorprimados,9)=numtheta(contadorprima,contador); %Kg Co2/pax

    ruta(contadorprimados,10)=(ruta(contadorprimados,9)*(ruta(contadorprimados,
    5)*1000))/1000000; %MKg Co2 flight anual
rutaemissions_op(contadorprimados,1)=contadorprima;
rutaemissions_op(contadorprimados,2)=contador;

    rutaemissions_op(contadorprimados,3)=ruta(contadorprimados,10)*1000/ruta(c
    onradorprimados,4); %emisiones CO2 cada operacion en T
rutaemissions_co2(contadorprimados,1)=contadorprima;
rutaemissions_co2(contadorprimados,2)=contador;

    rutaemissions_co2(contadorprimados,3)=rutaemissions_op(contadorprimados,3
    )*ruta(contadorprimados,4)/1000; %emisiones CO2 anual MKg
rutaemissions_co2(contadorprimados,4)=ruta(contadorprimados,4);
if(~isnan(ruta(contadorprimados,10))) && rutaemissions_co2(contadorprimados,1)==1)
    % se debe ir cambiando el número del igual para ir obteniendo todos los
    aeropuertos
    sumaco2fila=sumaco2fila+rutaemissions_co2(contadorprimados,3);
end
if(~isnan(ruta(contadorprimados,10)))
    co2ruta_op=co2ruta_op+rutaemissions_op(contadorprimados,3); %suma en MKg
    co2total=co2total+rutaemissions_co2(contadorprimados,1); %suma en Mkg
end

    ruta(contadorprimados,11)=(ruta(contadorprimados,9)*1000000)/(ruta(contador
    primados,6)*ruta(contadorprimados,4)); %Kg Co2/km - avio

    ruta(contadorprimados,12)=(ruta(contadorprimados,9)*1000000)/(ruta(contador
    primados,6)*ruta(contadorprimados,5)*1000); %Kg Co2/km - pax
if(ruta(contadorprimados,6)<125)
    ruta(contadorprimados,13)=0.1008*ruta(contadorprimados,6); %g/kg kerosene NOx
elseif(ruta(contadorprimados,6)>125 && ruta(contadorprimados,6)<250)
    ruta(contadorprimados,13)=0.0128*ruta(contadorprimados,6)+11;
elseif(ruta(contadorprimados,6)>250 && ruta(contadorprimados,6)<375)
    ruta(contadorprimados,13)=-3.2*10^-3*ruta(contadorprimados,6)+15;
elseif(ruta(contadorprimados,6)>375 && ruta(contadorprimados,6)<500)
    ruta(contadorprimados,13)=0.0224*ruta(contadorprimados,6)+5.4;
elseif(ruta(contadorprimados,6)>500 && ruta(contadorprimados,6)<625)
    ruta(contadorprimados,13)=-0.012*ruta(contadorprimados,6)+22.6;
elseif(ruta(contadorprimados,6)>625 && ruta(contadorprimados,6)<750)
    ruta(contadorprimados,13)=-3.2*10^-3*ruta(contadorprimados,6)+17.1;

```

```

elseif(ruta(contadorprimados,6)>750 && ruta(contadorprimados,6)<1000)
    ruta(contadorprimados,13)=-2*10^-3*ruta(contadorprimados,6)+16.2;
else
    ruta(contadorprimados,13)=8*10^-4*ruta(contadorprimados,6)+13.4;
end
ruta(contadorprimados,14)=ruta(contadorprimados,13)/4.22; %g emissions CO

    rutaemissions_op(contadorprimados,4)=ruta(contadorprimados,13)*ruta(contad
    orprimados,7)/1000; %emisiones kg NOx por operacion

    rutaemissions_op(contadorprimados,6)=(rutaemissions_op(contadorprimados,4
    )*ruta(contadorprimados,4))/1000000; %emisiones Mkg NOX anual
rutaemissions_op(contadorprimados,5)=rutaemissions_op(contadorprimados,4)/4.22;
    %kg emissions CO por operacion
rutaemissions_op(contadorprimados,7)=rutaemissions_op(contadorprimados,6)/4.22;
if(~isnan(rutaemissions_op(contadorprimados,4)))
    if(~isnan(rutaemissions_op(contadorprimados,5)) &&
        rutaemissions_op(contadorprimados,1)==1) % se debe ir cambiando el número
        del igual para ir obteniendo todos los aeropuertos

        sumaNOXrutaemissions_op=sumaNOXrutaemissions_op+rutaemissions_op(co
        ntadorprimados,6); %suma en Mkg

        sumaCORutaemissions_op=sumaCORutaemissions_op+rutaemissions_op(conta
        dorprimados,7); %suma en Mkg
    end

end

    end
    contador=contador+1;
    contadorprimados=contadorprimados+1;
else
    contador=contador+1;
end
end
    contadorprima=contadorprima+1;
end

sumaco2_op=sum(rutaemissions_op(:,3),'omitnan');
sumaNOX_op=sum(rutaemissions_op(:,4),'omitnan');
sumaCO_op=sum(rutaemissions_op(:,5),'omitnan');
i=1;
fuelperkmtot=0;
totalflights=sum(ruta(:,4));
[a,b]=size(ruta);
vectorNaN=find(isnan(fuelperkm));

while(i<=a)
    if(~isnan(fuelperkm(i)))
        fuelperkmtot=fuelperkmtot+fuelperkm(i);
    end
    i=i+1;
end
end

```



```

avgfuelperkm=fuelperkmtot/(a-length(vectorNaN));

count=1;
enlace=0;
CO2=0;
[ma,na]=size(ruta);
while(count<=ma)
    if(~isnan(ruta(count,9))      &&      ~isnan(rutaemissions_op(count,4))      &&
        ~isnan(rutaemissions_op(count,5)))
        CO2=CO2+ruta(count,9);
        count=count+1;
        enlace=enlace+1;
    else
        count=count+1;
    end
end

avgCO2_op=CO2/enlace;
avgNOX_op=sumaNOX_op/enlace;
avgCO_op=sumaCO_op/enlace;
avgflights=sum(ruta(:,4))/ma;

% Empezamos a aplicar diferentes escenarios 1. Futur Biofuel 2. Futur Nova
% Xarxa i Fuel 3. Futur Nova Xarxa i Biofuel (E 1 deberíamos usar un % de
% biofuel i el resto de fuel jet porque es difícil obtener y sustituirlo
% todo sería complejo y quizás no posible)

sumaco2filaprima=0;
sumaco2filaprimaF=0;
sumaNOXrutaemissions_opE1=0;
sumaNOXrutaemissions_opE1F=0;
sumaCORutaemissions_opE1=0;
sumaCORutaemissions_opE1F=0;
contador=1;
contadorprimados=1;
contadorprima=1;
rutaE1(:,1)=ruta(:,1); %origin
rutaE1(:,2)=ruta(:,2); %destination
rutaE1(:,3)=ruta(:,3);
rutaE1(:,4)=ruta(:,4);
rutaE1(:,5)=ruta(:,5);
rutaE1(:,6)=ruta(:,6); %distance
rutaE1(:,7)=ruta(:,7); %kg fuel emissions biofuels
%rutaE1(:,8)=ruta(:,8); %kg fuel generation biofuels
rutaE1(:,9)=ruta(:,9)*0.39; %co2 emissions/pax using ONLY biofuels (com ho obtens?)
rutaE1(:,10)=ruta(:,10)*0.39;
rutaE1(:,11)=ruta(:,11)*0.39;
rutaE1(:,12)=ruta(:,12)*0.39;
%rutaE1(:,13)=(0.39*(1/3)*(rutaE1(:,7))+1.63*(2/3)*(rutaE1(:,7))); %nox emissions in different
rpm phases

```

```

%rutaE1(:,14)=(90.67*(1/3)*(rutaE1(:,7))+42*(2/3)*(rutaE1(:,7)))/1000; %co emissions in different
rpm phases
rutaE1(:,13)=ruta(:,13)*0.9; %nox emissions g/kg kerosene
rutaE1(:,14)=ruta(:,14)*0.976; %co emissions kg

```

```

while(contadorprima<=m)
    contador=1;
    while(contador<=n)
        if(~isnan(num(contadorprima,contador))                &&
            ~isnan(numbeta(contadorprima,contador)))
            rutaemissions_opE1(contadorprimados,1)=contadorprima;
            rutaemissions_opE1F(contadorprimados,1)=contadorprima;
            rutaemissions_opE1(contadorprimados,2)=contador;
            rutaemissions_opE1F(contadorprimados,2)=contador;

            quantityPAX_CO2_E1(contadorprimados,1)=(0.9*ruta(contadorprimados,9)+0.1
            *rutaE1(contadorprimados,9));

            quantityPAX_CO2_E1F(contadorprimados,1)=(0.8*ruta(contadorprimados,9)+0.
            2*rutaE1(contadorprimados,9));

            rutaemissions_opE1(contadorprimados,3)=(0.9*ruta(contadorprimados,10)+0.1*
            rutaE1(contadorprimados,10))*1000/rutaE1(contadorprimados,4); %T de CO2
            por op

            rutaemissions_opE1F(contadorprimados,3)=(0.8*ruta(contadorprimados,10)+0.
            2*rutaE1(contadorprimados,10))*1000/rutaE1(contadorprimados,4);

            rutaemissions_opE1(contadorprimados,4)=((0.9*ruta(contadorprimados,7)*ruta(
            contadorprimados,13))+0.1*rutaE1(contadorprimados,7)*rutaE1(contadorprima
            dos,13))/1000; %emisiones kg NOx

            rutaemissions_opE1(contadorprimados,6)=(rutaemissions_opE1(contadorprima
            dos,4)*rutaE1(contadorprimados,4))/1000000;

            rutaemissions_opE1F(contadorprimados,4)=((0.8*ruta(contadorprimados,7)*rut
            a(contadorprimados,13))+0.2*rutaE1(contadorprimados,7)*rutaE1(contadorpri
            mados,13))/1000;

            rutaemissions_opE1F(contadorprimados,6)=(rutaemissions_opE1F(contadorpri
            mados,4)*rutaE1(contadorprimados,4))/1000000;

            rutaemissions_opE1(contadorprimados,5)=rutaemissions_opE1(contadorprima
            dos,4)/4.22; %kg emissions CO

            rutaemissions_opE1F(contadorprimados,5)=rutaemissions_opE1F(contadorpri
            mados,4)/4.22;

            rutaemissions_opE1(contadorprimados,7)=rutaemissions_opE1(contadorprima
            dos,6)/4.22;

```

```

        rutaemissions_opE1F(contadorprimados,7)=rutaemissions_opE1F(contadorprimados,6)/4.22;
rutaemissions_co2E1(contadorprimados,1)=contadorprima;
rutaemissions_co2E1(contadorprimados,2)=contador;

        rutaemissions_co2E1(contadorprimados,3)=rutaemissions_opE1(contadorprimados,3)*rutaE1(contadorprimados,4)/1000;
rutaemissions_co2E1(contadorprimados,4)=rutaE1(contadorprimados,4);
rutaemissions_co2E1F(contadorprimados,1)=contadorprima;
rutaemissions_co2E1F(contadorprimados,2)=contador;

        rutaemissions_co2E1F(contadorprimados,3)=rutaemissions_opE1F(contadorprimados,3)*rutaE1(contadorprimados,4)/1000; %emisiones CO2 anual MKg
rutaemissions_co2E1F(contadorprimados,4)=rutaE1(contadorprimados,4);
        if((~isnan(rutaE1(contadorprimados,10)))                                &&
rutaemissions_co2E1F(contadorprimados,1)==1) % se debe ir cambiando el
número del igual para ir obteniendo todos los aeropuertos

        sumaco2filaprima=sumaco2filaprima+rutaemissions_co2E1(contadorprimados,3);

        sumaco2filaprimaF=sumaco2filaprimaF+rutaemissions_co2E1F(contadorprimados,3);
        end
if(~isnan(rutaemissions_opE1F(contadorprimados,4)))
if(~isnan(rutaemissions_opE1(contadorprimados,5))                                &&
rutaemissions_opE1(contadorprimados,1)==1) % se debe ir cambiando el
número del igual para ir obteniendo todos los aeropuertos

        sumaNOXrutaemissions_opE1=sumaNOXrutaemissions_opE1+rutaemissions_opE1(contadorprimados,6); %suma en kg

        sumaNOXrutaemissions_opE1F=sumaNOXrutaemissions_opE1F+rutaemissions_opE1F(contadorprimados,6);

        sumaCORutaemissions_opE1=sumaCORutaemissions_opE1+rutaemissions_opE1(contadorprimados,7); %suma en kg

        sumaCORutaemissions_opE1F=sumaCORutaemissions_opE1F+rutaemissions_opE1F(contadorprimados,7);
        end

        end
        contador=contador+1;
        contadorprimados=contadorprimados+1;
    else
        contador=contador+1;
    end
end
        contadorprima=contadorprima+1;
end

```

```

count=1;
CO2_E1=0;
enlace_E1=0;
CO2_E1F=0;

while(count<=ma)
    if(~isnan(rutaE1(count,9))      &&      ~isnan(rutaemissions_opE1(count,4))      &&
        ~isnan(rutaemissions_opE1(count,5)))
        CO2_E1=CO2_E1+quantityPAX_CO2_E1(count,1);
        CO2_E1F=CO2_E1F+quantityPAX_CO2_E1F(count,1);
        count=count+1;
        enlace_E1=enlace_E1+1;
    else
        count=count+1;
    end
end

```

```

avgCO2_E1=CO2_E1/enlace_E1;
avgCO2_E1F=CO2_E1F/enlace_E1;
avgNOX_E1=sumaNOXrutaemissions_opE1/ma;
avgNOX_E1F=sumaNOXrutaemissions_opE1F/ma;
avgCO_E1=sumaCOrutaemissions_opE1/ma;
avgCO_E1F=sumaCOrutaemissions_opE1F/ma;

```

%Comencem a aplicar nova xarxa de rutes europees E2

```

cont=1;
[ma,na]=size(ruta);
while(cont<=ma)
    weekpax(cont,1)=ruta(cont,1); %origin
    weekpax(cont,2)=ruta(cont,2); %destination
    weekpax(cont,3)=ruta(cont,5)*1000/52; %pax weekly
    weekpax(cont,4)=ruta(cont,4)/52; %flights per week
    weekpax(cont,5)=weekpax(cont,3)/weekpax(cont,4); %pax per flight
    weekpax(cont,6)=ruta(cont,3); %type of aircraft
    cont=cont+1;
end

```

% Se crean dos matrices: E2 para comparar a 5 años vista, y E2a para 15.20

```

% años
rutaE2(:,1)=ruta(:,1); %origin
rutaE2a(:,1)=ruta(:,1); %origin
rutaE2(:,2)=ruta(:,2); %destination
rutaE2a(:,2)=ruta(:,2); %destination
contb=1;
while(contb<=ma)
    if(ruta(contb,3)==737)
        rutaE2(contb,3)=767; %767-200
        rutaE2a(contb,3)=767;
    end
end

```

```

elseif(ruta(contb,3)==320)
    rutaE2(contb,3)=330; %330-200
    rutaE2a(contb,3)=330;
elseif(ruta(contb,3)==321)
    rutaE2(contb,3)=321; %321neo
    rutaE2a(contb,3)=321;
elseif(ruta(contb,3)==787)
    rutaE2(contb,3)=787; %capacity enough and range enough
    rutaE2a(contb,3)=787;
end
contb=contb+1;
end
contador=1;
while(contador<=ma)
    newweekpax(contador,1)=ruta(contador,1);
    newweekpax(contador,2)=ruta(contador,2);
    newweekpax(contador,3)=weekpax(contador,3)*1.2; %pax weekly in 5 years
    newweekpax(contador,4)=weekpax(contador,3)*1.5; %pax weekly in 15-20 years
    %newweekpax(contador,5) weekly n° flights
    newweekpax(contador,7)=rutaE2(contador,3); %type of aircraft %B767 = 245 or 214 %A330
        = 246 %A321neo = 240 or 206 %B787 = 359 or 242
    if(newweekpax(contador,7)==767)
        newweekpax(contador,6)=230*0.75; %load factor 75% (pax per flight)
        rutaE2(contador,4)=230*0.75;
        rutaE2a(contador,4)=230*0.75;
    elseif(newweekpax(contador,7)==330)
        newweekpax(contador,6)=246*0.75;
        rutaE2(contador,4)=246*0.75;
        rutaE2a(contador,4)=246*0.75;
    elseif(newweekpax(contador,7)==321) %321 neo
        newweekpax(contador,6)=225*0.75;
        rutaE2(contador,4)=225*0.75;
        rutaE2a(contador,4)=225*0.75;
    elseif(newweekpax(contador,7)==787)
        newweekpax(contador,6)=300*0.75;
        rutaE2(contador,4)=300*0.75;
        rutaE2a(contador,4)=300*0.75;
    end
    newweekpax(contador,5)=newweekpax(contador,3)/newweekpax(contador,6); %weekly
        flights in 5 years
    newweekpax(contador,8)=newweekpax(contador,4)/newweekpax(contador,6); %weekly
        flights in 15-20 years
    contador=contador+1;
end

rutaE2(:,5)=newweekpax(:,5)*52; %annual n° flights
rutaE2a(:,5)=newweekpax(:,8)*52; %annual n° flights in 15-20y
z=1;
totalflightsE2=0;
totalflightsE2a=0;
while(z<=ma)
    if(~isnan(rutaE2(z,5)) && rutaE2(z,5)>rutaE1(z,4))

```

```

rutaE2(z,5)=rutaE1(z,4);
rutaE2a(z,5)=rutaE1(z,4);
if(rutaE2(z,3)==767)
rutaE2(z,3)=737; %737-200
rutaE2a(z,3)=737;
newweekpax(z,6)=180*0.75;
elseif(rutaE2(z,3)==330)
rutaE2(z,3)=320; %320
rutaE2a(z,3)=320;
newweekpax(z,6)=180*0.75;
elseif(rutaE2(z,3)==321)
rutaE2(z,3)=321; %321
rutaE2a(z,3)=321;
newweekpax(z,6)=220*0.75;
elseif(rutaE2(z,3)==787)
rutaE2(z,3)=787; %capacity enough and range enough
rutaE2a(z,3)=787;
newweekpax(z,6)=300*0.75;
end

newweekpax(z,5)=rutaE2(z,5)/52;
newweekpax(z,8)=rutaE2a(z,5)/52;

end
if(~isnan(rutaE2(z,5)))
totalflightsE2=totalflightsE2+rutaE2(z,5);
totalflightsE2a=totalflightsE2a+rutaE2a(z,5);
end
z=z+1;
end
avgflights_E2=totalflightsE2/ma;
avgflights_E2a=totalflightsE2a/ma;
rutaE2(:,6)=(newweekpax(:,3)*52)/1000; %annual thousands of pax in 5 years
rutaE2a(:,6)=(newweekpax(:,4)*52)/1000; %annual thousands of pax in 15-20 years
rutaE2(:,7)=rutaE1(:,6); %distance km
rutaE2a(:,7)=rutaE1(:,6); %distance km
c=1;
while(c<=ma)
if(newweekpax(c,7)==737)
rutaE2(c,8)=ruta(c,8);
rutaE2a(c,8)=ruta(c,8);
elseif(newweekpax(c,7)==767) %767-200
rutaE2(c,8)=4.93*rutaE2(c,7); %kg fuel emission
rutaE2a(c,8)=4.93*rutaE2a(c,7);
elseif(newweekpax(c,7)==320)
rutaE2(c,8)=ruta(c,8);
rutaE2a(c,8)=ruta(c,8);
elseif(newweekpax(c,7)==330)
rutaE2(c,8)=6*rutaE2(c,7);
rutaE2a(c,8)=6*rutaE2a(c,7);
elseif(newweekpax(c,7)==321)
rutaE2(c,8)=2.99*rutaE2(c,7);

```

```

        rutaE2a(c,8)=2.99*rutaE2a(c,7);
    elseif(newweekpax(c,7)==787) %787-8
        rutaE2(c,8)=5.26*rutaE2(c,7);
        rutaE2a(c,8)=5.26*rutaE2a(c,7);
    end
    c=c+1;
end

fuelperkmtotE2=0;
fuelperkmtotE2a=0;
i=1;
while(i<=a)
    fuelperkmE2(i,1)=rutaE2(i,8)/rutaE2(i,7);
    fuelperkmE2a(i,1)=rutaE2a(i,8)/rutaE2a(i,7);
    if(~isnan(fuelperkmE2(i)))
        fuelperkmtotE2=fuelperkmtotE2+fuelperkmE2(i,1);
        fuelperkmtotE2a=fuelperkmtotE2a+fuelperkmE2a(i,1);
    end
    i=i+1;
end
vectorNaN=find(isnan(fuelperkmE2));
avgfuelperkmE2=fuelperkmtotE2/(a-length(vectorNaN));
avgfuelperkmE2a=fuelperkmtotE2a/(a-length(vectorNaN));

a=1;
co2totalE2=0;
co2totalE2_now=0;
co2totalE2a=0;
while(a<=ma)
    rutaE2(a,9)=rutaE2(a,8)*0.21; %Kg fuel generation
    rutaE2a(a,9)=rutaE2a(a,8)*0.21;
    rutaE2(a,10)=rutaE2(a,8)*3.157/rutaE2(a,4); %Kg CO2/pax
    rutaE2a(a,10)=rutaE2a(a,8)*3.157/rutaE2a(a,4);
    rutaE2actual(a,1)=ruta(a,9); %Kg CO2/pax actual
    rutaE2(a,11)=(rutaE2(a,10)*rutaE2(a,6)*1000)/1000000; %MKg Co2 flight anual
    rutaE2a(a,11)=(rutaE2a(a,10)*rutaE2a(a,6)*1000)/1000000;
    rutaE2actual(a,2)=(rutaE2actual(a,1)*ruta(a,5)*1000)/1000000; %MKg Co2 anual now
    if(~isnan(rutaE2actual(a,1)) && rutaE2(a,1)==1) % se debe ir cambiando el número del igual
        para ir obteniendo todos los aeropuertos
            co2totalE2=co2totalE2+rutaE2(a,11);
            co2totalE2_now=co2totalE2_now+rutaE2actual(a,2);
            co2totalE2a=co2totalE2a+rutaE2a(a,11);
    end
    rutaE2(a,12)=(rutaE2(a,10)*1000000)/(rutaE2(a,7)*rutaE2(a,5)); %Kg Co2/km - avio
    rutaE2a(a,12)=(rutaE2a(a,10)*1000000)/(rutaE2a(a,7)*rutaE2a(a,5));
    rutaE2(a,13)=(rutaE2(a,10)*1000000)/(rutaE2(a,7)*rutaE2(a,6)*1000); %Kg Co2/km - pax
    rutaE2a(a,13)=(rutaE2a(a,10)*1000000)/(rutaE2a(a,7)*rutaE2a(a,6));
    if(rutaE2(a,7)<125)
        rutaE2(a,14)=0.1008*rutaE2(a,7); %g/kg kerosene NOx
        rutaE2a(a,14)=0.1008*rutaE2a(a,7);
    elseif(rutaE2(a,7)>125 && rutaE2(a,7)<250)

```

```

    rutaE2(a,14)=0.0128*rutaE2(a,7)+11;
    rutaE2a(a,14)=0.0128*rutaE2a(a,7)+11;
elseif(rutaE2(a,7)>250 && rutaE2(a,7)<375)
    rutaE2(a,14)=-3.2*10^-3*rutaE2(a,7)+15;
    rutaE2a(a,14)=-3.2*10^-3*rutaE2a(a,7)+15;
elseif(rutaE2(a,7)>375 && rutaE2(a,7)<500)
    rutaE2(a,14)=0.0224*rutaE2(a,7)+5.4;
    rutaE2a(a,14)=0.0224*rutaE2a(a,7)+5.4;
elseif(rutaE2(a,7)>500 && rutaE2(a,7)<625)
    rutaE2(a,14)=-0.012*rutaE2(a,7)+22.6;
    rutaE2a(a,14)=-0.012*rutaE2a(a,7)+22.6;
elseif(rutaE2(a,7)>625 && rutaE2(a,7)<750)
    rutaE2(a,14)=-3.2*10^-3*rutaE2(a,7)+17.1;
    rutaE2a(a,14)=-3.2*10^-3*rutaE2a(a,7)+17.1;
elseif(rutaE2(a,7)>750 && rutaE2(a,7)<1000)
    rutaE2(a,14)=-2*10^-3*rutaE2(a,7)+16.2;
    rutaE2a(a,14)=-2*10^-3*rutaE2a(a,7)+16.2;
else
    rutaE2(a,14)=8*10^-4*rutaE2(a,7)+13.4;
    rutaE2a(a,14)=8*10^-4*rutaE2a(a,7)+13.4;
end
rutaE2(a,15)=rutaE2(a,14)/4.22; %Kg emissions CO
rutaE2a(a,15)=rutaE2a(a,14)/4.22;
a=a+1;
end

```

```

rutaemissions_opE2(:,1)=rutaemissions_opE1(:,1);
rutaemissions_opE2a(:,1)=rutaemissions_opE1(:,1);
rutaemissions_opE2(:,2)=rutaemissions_opE1(:,2);
rutaemissions_opE2a(:,2)=rutaemissions_opE1(:,2);

```

```

sumaNOXrutaemissions_opE2=0;
sumaNOXrutaemissions_opE2a=0;
sumaCORutaemissions_opE2=0;
sumaCORutaemissions_opE2a=0;

```

```

aa=1;
while(aa<=ma)
    rutaemissions_opE2(aa,3)=rutaE2(aa,11)*1000/rutaE2(aa,5);
    rutaemissions_opE2a(aa,3)=rutaE2a(aa,11)*1000/rutaE2a(aa,5);
    rutaemissions_opE2(aa,4)=rutaE2(aa,14)*rutaE2(aa,8)/1000; %emisiones kg NOx por
        operacion
    rutaemissions_opE2a(aa,4)=rutaE2(aa,14)*rutaE2a(aa,8)/1000;
    rutaemissions_opE2(aa,6)=(rutaemissions_opE2(aa,4)*rutaE2(aa,5))/1000000; %emisiones
        Mkg NOX anual
    rutaemissions_opE2a(aa,6)=(rutaemissions_opE2a(aa,4)*rutaE2a(aa,5))/1000000;
    rutaemissions_opE2(aa,5)=rutaemissions_opE2(aa,4)/4.22; %kg emissions CO por operacion
    rutaemissions_opE2a(aa,5)=rutaemissions_opE2a(aa,4)/4.22;
    rutaemissions_opE2(aa,7)=rutaemissions_opE2(aa,6)/4.22; %emisiones Mkg CO anual
    rutaemissions_opE2a(aa,7)=rutaemissions_opE2a(aa,6)/4.22;
    if(~isnan(rutaemissions_opE2(aa,5)) && rutaemissions_opE2(aa,1)==41) % se debe ir
        cambiando el número del igual para ir obteniendo todos los aeropuertos

```



```

sumaNOXrutaemissions_opE2=sumaNOXrutaemissions_opE2+rutaemissions_
opE2(aa,6); %suma en kg

sumaNOXrutaemissions_opE2a=sumaNOXrutaemissions_opE2a+rutaemission
s_opE2a(aa,6);

sumaCORutaemissions_opE2=sumaCORutaemissions_opE2+rutaemissions_op
E2(aa,7); %suma en kg

sumaCORutaemissions_opE2a=sumaCORutaemissions_opE2a+rutaemissions_
opE2a(aa,7);

end
aa=aa+1;
end

```

```

avgnewCO2_E2=sum(rutaE2(:,10))/ma;
avgnewCO2_E2a=sum(rutaE2a(:,10))/ma;
avgnewNOX_E2=sum(rutaE2(:,14))/ma;
avgnewNOX_E2a=sum(rutaE2a(:,14))/ma;
avgnewCO_E2=sum(rutaE2(:,15))/ma;
avgnewCO_E2a=sum(rutaE2a(:,15))/ma;

```

```

% Aplicar nova xarxa de rutes europees i biofuels (determinar % biofuels i
% de fuel JetA1

```

```

rutaE3(:,1)=ruta(:,1); %origin
rutaE3a(:,1)=ruta(:,1); %origin
rutaE3(:,2)=ruta(:,2); %destination
rutaE3a(:,2)=ruta(:,2); %destination
contb=1;
while(contb<=ma)
    if(ruta(contb,3)==737)
        rutaE3(contb,3)=767; %767-200
        rutaE3a(contb,3)=767;
    elseif(ruta(contb,3)==320)
        rutaE3(contb,3)=330; %330-200
        rutaE3a(contb,3)=330;
    elseif(ruta(contb,3)==321)
        rutaE3(contb,3)=321; %321neo
        rutaE3a(contb,3)=321;
    elseif(ruta(contb,3)==787)
        rutaE3(contb,3)=787; %capacity enough and range enough
        rutaE3a(contb,3)=787;
    end
    contb=contb+1;
end
contador=1;
while(contador<=ma)
    newweekpax_3(contador,1)=ruta(contador,1);
    newweekpax_3(contador,2)=ruta(contador,2);

```

```

newweekpax_3(contador,3)=weekpax(contador,3)*1.2; %pax weekly in 5 years
newweekpax_3(contador,4)=weekpax(contador,3)*1.5; %pax weekly in 15-20 years
%newweekpax(contador,5) weekly n° flights
newweekpax_3(contador,7)=rutaE3(contador,3); %type of aircraft %B767 = 245 or 214
%A330 = 246 %A321neo = 240 or 206 %B787 = 359 or 242
if(newweekpax_3(contador,7)==767)
    newweekpax_3(contador,6)=230*0.75; %load factor 75% (pax per flight)
    rutaE3(contador,4)=230*0.75;
    rutaE3a(contador,4)=230*0.75;
elseif(newweekpax_3(contador,7)==330)
    newweekpax_3(contador,6)=246*0.75;
    rutaE3(contador,4)=246*0.75;
    rutaE3a(contador,4)=246*0.75;
elseif(newweekpax_3(contador,7)==321) %321 neo
    newweekpax_3(contador,6)=225*0.75;
    rutaE3(contador,4)=225*0.75;
    rutaE3a(contador,4)=225*0.75;
elseif(newweekpax_3(contador,7)==787)
    newweekpax_3(contador,6)=300*0.75;
    rutaE3(contador,4)=300*0.75;
    rutaE3a(contador,4)=300*0.75;
end
newweekpax_3(contador,5)=newweekpax_3(contador,3)/newweekpax_3(contador,6);
%weekly flights in 5 years
newweekpax_3(contador,8)=newweekpax_3(contador,4)/newweekpax_3(contador,6);
%weekly flights in 15-20 years
contador=contador+1;
end

rutaE3(:,5)=newweekpax_3(:,5)*52; %annual n° flights
rutaE3a(:,5)=newweekpax_3(:,8)*52; %annual n° flights in 15-20y
z=1;
totalflightsE3=0;
totalflightsE3a=0;
while(z<=ma)
    if(~isnan(rutaE3(z,5)) && rutaE3(z,5)>rutaE1(z,4))
        rutaE3(z,5)=rutaE1(z,4);
        rutaE3a(z,5)=rutaE1(z,4);
        if(rutaE3(z,3)==767)
            rutaE3(z,3)=737; %737-200
            rutaE3a(z,3)=737;
            newweekpax_3(z,6)=180*0.75;
        elseif(rutaE3(z,3)==330)
            rutaE3(z,3)=320; %320
            rutaE3a(z,3)=320;
            newweekpax_3(z,6)=180*0.75;
        elseif(rutaE3(z,3)==321)
            rutaE3(z,3)=321; %321
            rutaE3a(z,3)=321;
            newweekpax_3(z,6)=220*0.75;
        elseif(rutaE3(z,3)==787)
            rutaE3(z,3)=787; %capacity enough and range enough
        end
    end
    z=z+1;
end

```

```

rutaE3a(z,3)=787;
newweekpax_3(z,6)=300*0.75;
end

newweekpax_3(z,5)=rutaE3(z,5)/52;
newweekpax_3(z,8)=rutaE3a(z,5)/52;

end
if(~isnan(rutaE3(z,5)))
    totalflightsE3=totalflightsE3+rutaE3(z,5);
    totalflightsE3a=totalflightsE3a+rutaE3a(z,5);
end
z=z+1;
end
avgflights_E3=totalflightsE3/ma;
avgflights_E3a=totalflightsE3a/ma;
rutaE3(:,6)=(newweekpax_3(:,3)*52)/1000; %annual thousands of pax in 5 years
rutaE3a(:,6)=(newweekpax_3(:,4)*52)/1000; %annual thousands of pax in 15-20 years
rutaE3(:,7)=rutaE1(:,6); %distance km
rutaE3a(:,7)=rutaE1(:,6); %distance km
c=1;
while(c<=ma)
    if(newweekpax_3(c,7)==737)
        rutaE3(c,8)=ruta(c,8);
        rutaE3a(c,8)=ruta(c,8);
    elseif(newweekpax_3(c,7)==767) %767-200
        rutaE3(c,8)=4.93*rutaE3(c,7); %kg fuel emission
        rutaE3a(c,8)=4.93*rutaE3a(c,7);
    elseif(newweekpax_3(c,7)==320)
        rutaE3(c,8)=ruta(c,8);
        rutaE3a(c,8)=ruta(c,8);
    elseif(newweekpax_3(c,7)==330)
        rutaE3(c,8)=6*rutaE3(c,7);
        rutaE3a(c,8)=6*rutaE3a(c,7);
    elseif(newweekpax_3(c,7)==321)
        rutaE3(c,8)=2.99*rutaE3(c,7);
        rutaE3a(c,8)=2.99*rutaE3a(c,7);
    elseif(newweekpax_3(c,7)==787) %787-8
        rutaE3(c,8)=5.26*rutaE3(c,7);
        rutaE3a(c,8)=5.26*rutaE3a(c,7);
    end
    c=c+1;
end

fuelperkmtotE3=0;
fuelperkmtotE3a=0;
i=1;
while(i<=(c-1))
    fuelperkmE3(i,1)=rutaE3(i,8)/rutaE3(i,7);
    fuelperkmE3a(i,1)=rutaE3a(i,8)/rutaE3a(i,7);
    if(~isnan(fuelperkmE3(i)))
        fuelperkmtotE3=fuelperkmtotE3+fuelperkmE3(i,1);
    end
end

```

```

        fuelperkmtotE3a=fuelperkmtotE3a+fuelperkmE3a(i,1);
    end
    i=i+1;
end
vectorNaN_3=find(isnan(fuelperkmE3));
avgfuelperkmE3=fuelperkmtotE3/(a-length(vectorNaN_3));
avgfuelperkmE3a=fuelperkmtotE3a/(a-length(vectorNaN_3));

a=1;
co2totalE3=0;
co2totalE3_now=0;
co2totalE3a=0;
while(a<=ma)
    rutaE3(a,9)=rutaE3(a,8)*0.21; %Kg fuel generation
    rutaE3a(a,9)=rutaE3a(a,8)*0.21;
    rutaE3(a,10)=rutaE3(a,8)*3.157/rutaE3(a,4); %Kg CO2/pax
    rutaE3a(a,10)=rutaE3a(a,8)*3.157/rutaE3a(a,4);
    rutaE3actual(a,1)=ruta(a,9); %Kg CO2/pax actual
    rutaE3(a,11)=(rutaE3(a,10)*rutaE3(a,6)*1000)/1000000; %MKg Co2 flight anual
    rutaE3a(a,11)=(rutaE3a(a,10)*rutaE3a(a,6)*1000)/1000000;
    rutaE3actual(a,2)=(rutaE3actual(a,1)*ruta(a,5)*1000)/1000000; %MKg Co2 anual now
    if(~isnan(rutaE3actual(a,1)) && rutaE3(a,1)==1) % se debe ir cambiando el número del igual
        para ir obteniendo todos los aeropuertos
        co2totalE3=co2totalE3+rutaE3(a,11);
        co2totalE3_now=co2totalE3_now+rutaE3actual(a,2);
        co2totalE3a=co2totalE3a+rutaE3a(a,11);
    end
    rutaE3(a,12)=(rutaE3(a,10)*1000000)/(rutaE3(a,7)*rutaE3(a,5)); %Kg Co2/km - avio
    rutaE3a(a,12)=(rutaE3a(a,10)*1000000)/(rutaE3a(a,7)*rutaE3a(a,5));
    rutaE3(a,13)=(rutaE3(a,10)*1000000)/(rutaE3(a,7)*rutaE3(a,6)*1000); %Kg Co2/km - pax
    rutaE3a(a,13)=(rutaE3a(a,10)*1000000)/(rutaE3a(a,7)*rutaE3a(a,6));
    if(rutaE3(a,7)<125)
        rutaE3(a,14)=0.1008*rutaE3(a,7); %g/kg kerosene NOx
        rutaE3a(a,14)=0.1008*rutaE3a(a,7);
    elseif(rutaE3(a,7)>125 && rutaE3(a,7)<250)
        rutaE3(a,14)=0.0128*rutaE3(a,7)+11;
        rutaE3a(a,14)=0.0128*rutaE3a(a,7)+11;
    elseif(rutaE3(a,7)>250 && rutaE3(a,7)<375)
        rutaE3(a,14)=-3.2*10^-3*rutaE3(a,7)+15;
        rutaE3a(a,14)=-3.2*10^-3*rutaE3a(a,7)+15;
    elseif(rutaE3(a,7)>375 && rutaE3(a,7)<500)
        rutaE3(a,14)=0.0224*rutaE3(a,7)+5.4;
        rutaE3a(a,14)=0.0224*rutaE3a(a,7)+5.4;
    elseif(rutaE3(a,7)>500 && rutaE3(a,7)<625)
        rutaE3(a,14)=-0.012*rutaE3(a,7)+22.6;
        rutaE3a(a,14)=-0.012*rutaE3a(a,7)+22.6;
    elseif(rutaE3(a,7)>625 && rutaE3(a,7)<750)
        rutaE3(a,14)=-3.2*10^-3*rutaE3(a,7)+17.1;
        rutaE3a(a,14)=-3.2*10^-3*rutaE3a(a,7)+17.1;
    elseif(rutaE3(a,7)>750 && rutaE3(a,7)<1000)
        rutaE3(a,14)=-2*10^-3*rutaE3(a,7)+16.2;

```

```

        rutaE3a(a,14)=-2*10^-3*rutaE3a(a,7)+16.2;
    else
        rutaE3(a,14)=8*10^-4*rutaE3(a,7)+13.4;
        rutaE3a(a,14)=8*10^-4*rutaE3a(a,7)+13.4;
    end
    rutaE3(a,15)=rutaE3(a,14)/4.22; %Kg emissions CO
    rutaE3a(a,15)=rutaE3a(a,14)/4.22;
    a=a+1;
end

sumaco2filaprimaE3=0;
sumaco2filaprimaALT=0;
sumaco2filaprimaE3a=0;
sumaco2filaprimaALTa=0;
sumaco2filaprimaE3F=0;
sumaco2filaprimaALTF=0;
sumaco2filaprimaE3aF=0;
sumaco2filaprimaALTaF=0;
sumaNOXrutaemissions_opE3=0;
sumaNOXrutaemissions_opALT=0;
sumaNOXrutaemissions_opE3a=0;
sumaNOXrutaemissions_opALTa=0;
sumaNOXrutaemissions_opE3F=0;
sumaNOXrutaemissions_opALTF=0;
sumaNOXrutaemissions_opE3aF=0;
sumaNOXrutaemissions_opALTaF=0;
sumaCORutaemissions_opE3=0;
sumaCORutaemissions_opE3a=0;
sumaCORutaemissions_opE3F=0;
sumaCORutaemissions_opE3aF=0;
contador=1;
contadorprimados=1;
contadorprima=1;
rutaE3bio(:,1)=rutaE3(:,1); %origin
rutaE3bioa(:,1)=rutaE3a(:,1);
rutaE3bio(:,2)=rutaE3(:,2); %destination
rutaE3bioa(:,2)=rutaE3a(:,2);
rutaE3bio(:,3)=rutaE3(:,3); %aircraft
rutaE3bioa(:,3)=rutaE3a(:,3);
rutaE3bio(:,4)=rutaE3(:,5); %annual nºflights
rutaE3bioa(:,4)=rutaE3a(:,5); %annual nº flights 15-20y
rutaE3bio(:,5)=rutaE3(:,6); %annual pax thousands
rutaE3bioa(:,5)=rutaE3a(:,6); %annual pax thousands
rutaE3bio(:,6)=rutaE3(:,7); %distance
rutaE3bioa(:,6)=rutaE3a(:,7);
rutaE3bio(:,7)=rutaE3(:,8); %kg fuel emissions biofuels
rutaE3bioa(:,7)=rutaE3a(:,8);
rutaE3bio(:,8)=rutaE3(:,9); %kg fuel generation biofuels
rutaE3bioa(:,8)=rutaE3a(:,9);
rutaE3bio(:,9)=rutaE3(:,10)*0.39; %co2 emissions/pax using ONLY biofuels (com ho obtens?)
rutaE3bioa(:,9)=rutaE3a(:,10)*0.39;
rutaE3bio(:,10)=rutaE3(:,11)*0.39; %MKg CO2 annual

```

```

rutaE3bio(:,10)=rutaE3a(:,11)*0.39;
rutaE3bio(:,11)=rutaE3(:,12)*0.39; %KgCO2 / km - avio
rutaE3bio(:,11)=rutaE3a(:,12)*0.39;
rutaE3bio(:,12)=rutaE3(:,13)*0.39; %KgCO2 / km - pax
rutaE3bio(:,12)=rutaE3a(:,13)*0.39;
%rutaE3(:,13)=(0.39*(1/3)*(rutaE1(:,7))+1.63*(2/3)*(rutaE1(:,7))); %nox emissions in different
rpm phases
%rutaE3(:,14)=(90.67*(1/3)*(rutaE1(:,7))+42*(2/3)*(rutaE1(:,7)))/1000; %co emissions in different
rpm phases
rutaE3bio(:,13)=rutaE3(:,14)*0.9; %nox emissions g/kg kerosene
rutaE3bioa(:,13)=rutaE3a(:,14)*0.9;
rutaE3bio(:,14)=rutaE3(:,15)*0.976; %co emissions kg
rutaE3bioa(:,14)=rutaE3a(:,15)*0.976;

```

```

contadorprimados=1;

```

```

contadorprima=1;

```

```

while(contadorprima<=m)

```

```

    contador=1;

```

```

    while(contador<=n)

```

```

        if(~isnan(num(contadorprima,contador))

```

```

            &&

```

```

                ~isnan(numbeta(contadorprima,contador)))

```

```

                rutaemissions_opE3(contadorprimados,1)=contadorprima;

```

```

                rutaemissions_opE3a(contadorprimados,1)=contadorprima;

```

```

                rutaemissions_opE3F(contadorprimados,1)=contadorprima;

```

```

                rutaemissions_opE3aF(contadorprimados,1)=contadorprima;

```

```

                rutaemissions_opE3(contadorprimados,2)=contador;

```

```

                rutaemissions_opE3a(contadorprimados,2)=contador;

```

```

                rutaemissions_opE3F(contadorprimados,2)=contador;

```

```

                rutaemissions_opE3aF(contadorprimados,2)=contador;

```

```

                quantityPAX_CO2_E3(contadorprimados,1)=(0.9*rutaE3(contadorprimados,10)
+0.1*rutaE3bio(contadorprimados,9));

```

```

                quantityPAX_CO2_E3a(contadorprimados,1)=(0.9*rutaE3a(contadorprimados,1
0)+0.1*rutaE3bioa(contadorprimados,9));

```

```

                quantityPAX_CO2_E3F(contadorprimados,1)=(0.8*rutaE3(contadorprimados,10)
)+0.2*rutaE3bio(contadorprimados,9));

```

```

                quantityPAX_CO2_E3aF(contadorprimados,1)=(0.8*rutaE3a(contadorprimados,
10)+0.2*rutaE3bioa(contadorprimados,9));

```

```

                rutaemissions_opE3(contadorprimados,3)=(0.9*rutaE3(contadorprimados,11)+0
.1*rutaE3bio(contadorprimados,10))*1000/rutaE3bio(contadorprimados,4); %T
de CO2 por op

```

```

                rutaemissions_opE3a(contadorprimados,3)=(0.9*rutaE3a(contadorprimados,11)
+0.1*rutaE3bioa(contadorprimados,10))*1000/rutaE3bioa(contadorprimados,4);

```

```

                rutaemissions_opE3F(contadorprimados,3)=(0.8*rutaE3(contadorprimados,11)+
0.2*rutaE3bio(contadorprimados,10))*1000/rutaE3bio(contadorprimados,4);

```

$rutaemissions_opE3aF(contadorprimados,3)=(0.8*rutaE3a(contadorprimados,11)+0.2*rutaE3bioa(contadorprimados,10))*1000/rutaE3bioa(contadorprimados,4)$);

$rutaemissions_opE3(contadorprimados,4)=((0.9*rutaE3(contadorprimados,8)*rutaE3(contadorprimados,14))+0.1*rutaE3bio(contadorprimados,7)*rutaE3bio(contadorprimados,13)))/1000$; %emisiones kg NOx

$rutaemissions_opE3a(contadorprimados,4)=((0.9*rutaE3a(contadorprimados,8)*rutaE3a(contadorprimados,14))+0.1*rutaE3bioa(contadorprimados,7)*rutaE3bioa(contadorprimados,13)))/1000$;

$rutaemissions_opE3(contadorprimados,6)=(rutaemissions_opE3(contadorprimados,4)*rutaE3bio(contadorprimados,4))/1000000$;

$rutaemissions_opE3a(contadorprimados,6)=(rutaemissions_opE3a(contadorprimados,4)*rutaE3bioa(contadorprimados,4))/1000000$;

$rutaemissions_opE3F(contadorprimados,4)=((0.8*rutaE3(contadorprimados,8)*rutaE3(contadorprimados,14))+0.2*rutaE3bio(contadorprimados,7)*rutaE3bio(contadorprimados,13)))/1000$;

$rutaemissions_opE3aF(contadorprimados,4)=((0.8*rutaE3a(contadorprimados,8)*rutaE3a(contadorprimados,14))+0.2*rutaE3bioa(contadorprimados,7)*rutaE3bioa(contadorprimados,13)))/1000$;

$rutaemissions_opE3F(contadorprimados,6)=(rutaemissions_opE3F(contadorprimados,4)*rutaE3bio(contadorprimados,4))/1000000$;

$rutaemissions_opE3aF(contadorprimados,6)=(rutaemissions_opE3aF(contadorprimados,4)*rutaE3bioa(contadorprimados,4))/1000000$;

$rutaemissions_opE3(contadorprimados,5)=rutaemissions_opE3(contadorprimados,6)/4.22$; %kg emissions CO

$rutaemissions_opE3a(contadorprimados,5)=rutaemissions_opE3a(contadorprimados,6)/4.22$;

$rutaemissions_opE3F(contadorprimados,5)=rutaemissions_opE3F(contadorprimados,6)/4.22$;

$rutaemissions_opE3aF(contadorprimados,5)=rutaemissions_opE3aF(contadorprimados,6)/4.22$;

$rutaemissions_co2E3(contadorprimados,1)=contadorprima$;
 $rutaemissions_co2E3a(contadorprimados,1)=contadorprima$;
 $rutaemissions_co2E3(contadorprimados,2)=contador$;
 $rutaemissions_co2E3a(contadorprimados,2)=contador$;

$rutaemissions_co2E3(contadorprimados,3)=rutaemissions_opE3(contadorprimados,3)*rutaE3bio(contadorprimados,4)/1000$;

```

rutaemissions_co2E3a(contadorprimados,3)=rutaemissions_opE3a(contadorprimados,3)*rutaE3bioa(contadorprimados,4)/1000;
rutaemissions_co2E3(contadorprimados,4)=rutaE3bio(contadorprimados,4);
rutaemissions_co2E3F(contadorprimados,1)=contadorprima;
rutaemissions_co2E3aF(contadorprimados,1)=contadorprima;
rutaemissions_co2E3F(contadorprimados,2)=contador;
rutaemissions_co2E3aF(contadorprimados,2)=contador;

```

```

rutaemissions_co2E3F(contadorprimados,3)=rutaemissions_opE3F(contadorprimados,3)*rutaE3bio(contadorprimados,4)/1000; %emisiones CO2 anual MKg

```

```

rutaemissions_co2E3aF(contadorprimados,3)=rutaemissions_opE3aF(contadorprimados,3)*rutaE3bioa(contadorprimados,4)/1000;
rutaemissions_co2E3F(contadorprimados,4)=rutaE3bio(contadorprimados,4);
rutaemissions_co2E3aF(contadorprimados,4)=rutaE3bioa(contadorprimados,4);
    if((~isnan(rutaemissions_co2E3(contadorprimados,3)))          &&
        rutaemissions_co2E3(contadorprimados,1)==1) % se debe ir cambiando el
número del igual para ir obteniendo todos los aeropuertos

```

```

sumaco2filaprimaE3=sumaco2filaprimaE3+rutaemissions_co2E3(contadorprimados,3); %co2 para situación 90% fuel y 10% biofuel a 5 años

```

```

sumaco2filaprimaE3a=sumaco2filaprimaE3a+rutaemissions_co2E3a(contadorprimados,3); %co2 para situación 90% fuel y 10% biofuel a 15-20 años

```

```

sumaco2filaprimaE3F=sumaco2filaprimaE3F+rutaemissions_co2E3F(contadorprimados,3); %co2 para situación 80% fuel y 20% biofuel a 5 años

```

```

sumaco2filaprimaE3aF=sumaco2filaprimaE3aF+rutaemissions_co2E3aF(contadorprimados,3); %co2 para situación 80% fuel y 20% biofuel a 15-20 años
end

```

```

    if((~isnan(rutaemissions_co2E3(contadorprimados,3)))          &&
        rutaemissions_co2E3(contadorprimados,1)==1              &&
        rutaE3bio(contadorprimados,6)>750) %también tener en cuenta casos
excepciones UK, IRE, ESP, FRA

```

```

sumaco2filaprimaALT=sumaco2filaprimaALT+rutaemissions_co2E3(contadorprimados,3); %co2 para situación 90% fuel y 10% biofuel a 5 años

```

```

sumaco2filaprimaALTa=sumaco2filaprimaALTa+rutaemissions_co2E3a(contadorprimados,3); %co2 para situación 90% fuel y 10% biofuel a 15-20 años

```

```

sumaco2filaprimaALTF=sumaco2filaprimaALTF+rutaemissions_co2E3F(contadorprimados,3); %co2 para situación 80% fuel y 20% biofuel a 5 años

```

```

sumaco2filaprimaALTaF=sumaco2filaprimaALTaF+rutaemissions_co2E3aF(contadorprimados,3); %co2 para situación 80% fuel y 20% biofuel a 15-20 años
end

```

```

if(~isnan(rutaemissions_opE3F(contadorprimados,4)))

```



```

if(~isnan(rutaemissions_opE3(contadorprimados,5))           &&
  rutaemissions_opE3(contadorprimados,1)==1) % se debe ir cambiando el
  número del igual para ir obteniendo todos los aeropuertos

sumaNOXrutaemissions_opE3=sumaNOXrutaemissions_opE3+rutaemissions_
opE3(contadorprimados,6); %suma en kg

sumaNOXrutaemissions_opE3a=sumaNOXrutaemissions_opE3a+rutaemission
s_opE3a(contadorprimados,6);

sumaNOXrutaemissions_opE3F=sumaNOXrutaemissions_opE3F+rutaemission
s_opE3F(contadorprimados,6);

sumaNOXrutaemissions_opE3aF=sumaNOXrutaemissions_opE3aF+rutaemissi
ons_opE3aF(contadorprimados,6);

sumaCORutaemissions_opE3=sumaCORutaemissions_opE3+rutaemissions_op
E3(contadorprimados,5); %suma en kg

sumaCORutaemissions_opE3a=sumaCORutaemissions_opE3a+rutaemissions_
opE3a(contadorprimados,5);

sumaCORutaemissions_opE3F=sumaCORutaemissions_opE3F+rutaemissions_
opE3F(contadorprimados,5);

sumaCORutaemissions_opE3aF=sumaCORutaemissions_opE3aF+rutaemission
s_opE3aF(contadorprimados,5);
end
if(~isnan(rutaemissions_opE3(contadorprimados,5))           &&
  rutaemissions_opE3(contadorprimados,1)==1                 &&
  rutaE3bio(contadorprimados,6)>750) %también tener en cuenta excepciones
  UK, IRE, ESP, FRA

sumaNOXrutaemissions_opALT=sumaNOXrutaemissions_opALT+rutaemission
s_opE3(contadorprimados,6);

sumaNOXrutaemissions_opALTa=sumaNOXrutaemissions_opALTa+rutaemissi
ons_opE3a(contadorprimados,6);

sumaNOXrutaemissions_opALTF=sumaNOXrutaemissions_opALTF+rutaemiss
ions_opE3F(contadorprimados,6);

sumaNOXrutaemissions_opALTaF=sumaNOXrutaemissions_opALTaF+rutaemi
ssions_opE3aF(contadorprimados,6);
end
end
contador=contador+1;
contadorprimados=contadorprimados+1;
else
  contador=contador+1;
end
end
end

```

```

    contadorprima=contadorprima+1;
end

vectorE3=length(quantityPAX_CO2_E3(~isnan(quantityPAX_CO2_E3)));

avgCO2_E3=sum(quantityPAX_CO2_E3,'omitnan')/vectorE3;
avgCO2_E3a=sum(quantityPAX_CO2_E3a,'omitnan')/vectorE3;
avgCO2_E3aF=sum(quantityPAX_CO2_E3aF,'omitnan')/vectorE3;
avgCO2_E3F=sum(quantityPAX_CO2_E3F,'omitnan')/vectorE3;
avgNOX_E3=sum(rutaemissions_opE3(:,6),'omitnan')/vectorE3;
avgNOX_E3a=sum(rutaemissions_opE3a(:,6),'omitnan')/vectorE3;
avgNOX_E3aF=sum(rutaemissions_opE3aF(:,6),'omitnan')/vectorE3;
avgNOX_E3F=sum(rutaemissions_opE3F(:,6),'omitnan')/vectorE3;
avgCO_E3=sum(rutaemissions_opE3(:,5),'omitnan')/vectorE3;
avgCO_E3a=sum(rutaemissions_opE3a(:,5),'omitnan')/vectorE3;
avgCO_E3aF=sum(rutaemissions_opE3aF(:,5),'omitnan')/vectorE3;
avgCO_E3F=sum(rutaemissions_opE3F(:,5),'omitnan')/vectorE3;

a=1;
while(a<=vectorE3 && ~isnan(rutaemissions_opE3(a,4)) && ~isnan(rutaE3bio(a,5)))
    v_g_kg_NOX(a,1)=(rutaemissions_opE3(a,4)); %g emissions NOX por operacion
    a=a+1;
end
avg_v_g_kg_NOX=mean(v_g_kg_NOX);

contador=1;
contadorprima=1;
contadorprimados=1;
co2ruta_opE4=0;
co2totalE4=0;
sumaCO2E4=0;
sumaNOXrutaemissions_opE4=0;
sumaCORutaemissions_opE4=0;
sumaco2filaE4=0;
sumanoxfilaE4=0;
sumacofilaE4=0;
[m,n]=size(num);
while(contadorprima<=m)
    contador=1;
    while(contador<=n)
        if(~isnan(num(contadorprima,contador)) && ~isnan(numbeta(contadorprima,contador)))
            rutaE4(contadorprimados,1)=contadorprima;
            rutaE4(contadorprimados,2)=contador;
            rutaE4(contadorprimados,4)=numbeta(contadorprima,contador); %annual n° flights
            rutaE4(contadorprimados,5)=num(contadorprima,contador); %Annual pax in thousands
            rutaE4(contadorprimados,6)=numalpha(contadorprima,contador); %distance Km
            rutaE4(contadorprimados,7)=numepsilon(contadorprima,contador); %Kg fuel emission

            fuelperkmE4(contadorprimados)=rutaE4(contadorprimados,7)/rutaE4(contadorprimados,6);
            rutaE4(contadorprimados,8)=rutaE4(contadorprimados,7)*0.21; %Kg fuel generation
        end
        contador=contador+1;
    end
    contadorprima=contadorprima+1;
end

```

```

if(numgamma(contadorprima,contador)<140*0.8                                &&
    rutaE4(contadorprimados,6)<7400) %7400 km es el maximo alcance de un
    narrow-body
    rutaE4(contadorprimados,3)=737;
elseif(numgamma(contadorprima,contador)>140*0.8                            &&
    rutaE4(contadorprimados,6)<7400)
    rutaE4(contadorprimados,3)=320;
elseif(numgamma(contadorprima,contador)>180*0.8                            &&
    rutaE4(contadorprimados,6)<7400)
    rutaE4(contadorprimados,3)=321;
elseif(numgamma(contadorprima,contador)>180*0.8                            &&
    rutaE4(contadorprimados,6)>7400)
    rutaE4(contadorprimados,3)=787;
end
rutaE4(contadorprimados,9)=numtheta(contadorprima,contador); %Kg Co2/pax

    rutaE4(contadorprimados,10)=(rutaE4(contadorprimados,9)*(rutaE4(contadorpri
    mados,5)*1000))/1000000; %MKg Co2 flight anual
rutaemissions_opE4(contadorprimados,1)=contadorprima;
rutaemissions_opE4(contadorprimados,2)=contador;
rutaemissions_opE4(contadorprimados,4)=rutaE4(contadorprimados,6);

    rutaemissions_opE4(contadorprimados,3)=rutaE4(contadorprimados,10)*1000/r
    utaE4(contadorprimados,4); %emisiones CO2 cada operacion en T
rutaemissions_co2E4(contadorprimados,1)=contadorprima;
rutaemissions_co2E4(contadorprimados,2)=contador;

    rutaemissions_co2E4(contadorprimados,3)=rutaemissions_opE4(contadorprima
    dos,3)*rutaE4(contadorprimados,4)/1000; %emisiones CO2 anual MKg
rutaemissions_co2E4(contadorprimados,4)=rutaE4(contadorprimados,4);
rutaemissions_co2E4(contadorprimados,5)=rutaE4(contadorprimados,6);
if((~isnan(rutaE4(contadorprimados,10)))                                &&
    (rutaemissions_co2E4(contadorprimados,1)==1)                        &&
    rutaE4(contadorprimados,6)>750) %también tener en cuenta excepciones ESP,
    FRA, UK, IRE
    sumaco2filaE4=sumaco2filaE4+rutaemissions_co2E4(contadorprimados,3);
end
if(~isnan(rutaE4(contadorprimados,10)))
    co2ruta_opE4=co2ruta_opE4+rutaemissions_opE4(contadorprimados,3); %suma en
    MKg
    co2totalE4=co2totalE4+rutaemissions_co2E4(contadorprimados,1); %suma en Mkg
end

    rutaE4(contadorprimados,11)=(rutaE4(contadorprimados,9)*1000000)/(rutaE4(c
    onradorprimados,6)*rutaE4(contadorprimados,4)); %Kg Co2/km - avio

    rutaE4(contadorprimados,12)=(rutaE4(contadorprimados,9)*1000000)/(rutaE4(c
    onradorprimados,6)*rutaE4(contadorprimados,5)*1000); %Kg Co2/km - pax
if(rutaE4(contadorprimados,6)<125)
    rutaE4(contadorprimados,13)=0.1008*rutaE4(contadorprimados,6); %g/kg kerosene
    NOx
elseif(rutaE4(contadorprimados,6)>125 && rutaE4(contadorprimados,6)<250)

```

```

    rutaE4(contadorprimados,13)=0.0128*rutaE4(contadorprimados,6)+11;
elseif(rutaE4(contadorprimados,6)>250 && rutaE4(contadorprimados,6)<375)
    rutaE4(contadorprimados,13)=-3.2*10^-3*rutaE4(contadorprimados,6)+15;
elseif(rutaE4(contadorprimados,6)>375 && rutaE4(contadorprimados,6)<500)
    rutaE4(contadorprimados,13)=0.0224*rutaE4(contadorprimados,6)+5.4;
elseif(rutaE4(contadorprimados,6)>500 && rutaE4(contadorprimados,6)<625)
    rutaE4(contadorprimados,13)=-0.012*rutaE4(contadorprimados,6)+22.6;
elseif(rutaE4(contadorprimados,6)>625 && rutaE4(contadorprimados,6)<750)
    rutaE4(contadorprimados,13)=-3.2*10^-3*rutaE4(contadorprimados,6)+17.1;
elseif(rutaE4(contadorprimados,6)>750 && rutaE4(contadorprimados,6)<1000)
    rutaE4(contadorprimados,13)=-2*10^-3*rutaE4(contadorprimados,6)+16.2;
else
    rutaE4(contadorprimados,13)=8*10^-4*rutaE4(contadorprimados,6)+13.4;
end
rutaE4(contadorprimados,14)=rutaE4(contadorprimados,13)/4.22; %g emissions CO

rutaemissions_opE4(contadorprimados,4)=rutaE4(contadorprimados,13)*rutaE4(contadorprimados,7)/1000; %emisiones kg NOx por operacion

rutaemissions_opE4(contadorprimados,6)=(rutaemissions_opE4(contadorprimados,4)*rutaE4(contadorprimados,4))/1000000; %emisiones Mkg NOX anual

rutaemissions_opE4(contadorprimados,5)=rutaemissions_opE4(contadorprimados,4)/4.22; %kg emissions CO por operacion

rutaemissions_opE4(contadorprimados,7)=rutaemissions_opE4(contadorprimados,6)/4.22;
if(~isnan(rutaemissions_opE4(contadorprimados,4)))
    if(~isnan(rutaemissions_opE4(contadorprimados,5)) &&
        rutaemissions_opE4(contadorprimados,1)==1 &&
        rutaE4(contadorprimados,6)>750) %también tener en cuenta excepciones ESP,
        FRA, IRE, UK

        sumaNOXrutaemissions_opE4=sumaNOXrutaemissions_opE4+rutaemissions_opE4(contadorprimados,6); %suma en Mkg

        sumaCORutaemissions_opE4=sumaCORutaemissions_opE4+rutaemissions_opE4(contadorprimados,7); %suma en Mkg
    end

end

end
contador=contador+1;
contadorprimados=contadorprimados+1;
else
    contador=contador+1;
end
end
contadorprima=contadorprima+1;
end

```