



# Estudio de la variación de emisiones asociada a la sustitución de vuelos domésticos por trayectos ferroviarios

211592-CO-MEM-V00-B0  
26/10/21

---



Pº de La Habana, 138  
28036 Madrid, España  
T +34 914 521 200  
F +34 914 521 300  
[www.ineco.com](http://www.ineco.com)

## ÍNDICE

<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN Y OBJETO .....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>CONTEXTO Y CONSIDERACIONES GENERALES .....</b>	<b>5</b>
	2.1 Entorno estratégico .....	5
	2.2 Liberalización del transporte ferroviario .....	6
	2.3 Transporte y emisiones de CO <sub>2</sub> en España .....	7
	2.4 Alcance y enfoque del estudio .....	8
<b>3</b>	<b>CARACTERIZACIÓN DEL TRANSPORTE OBJETO DE ESTUDIO .....</b>	<b>9</b>
	3.1 Caracterización del transporte aéreo .....	9
	3.2 Caracterización del transporte ferroviario alternativo .....	10
<b>4</b>	<b>CÁLCULO DE LAS EMISIONES DE CO<sub>2</sub> .....</b>	<b>12</b>
	4.1 Emisiones del modo aéreo .....	12
	4.2 Emisiones del modo ferroviario .....	13
<b>5</b>	<b>HERRAMIENTA DE CÁLCULO DEL AHORRO DE EMISIONES .....</b>	<b>15</b>
	5.1 Inputs .....	15
	5.2 Escenario actual 2019 y futuro 2030 .....	16
	5.3 Detalle resultados 2019 y 2030 .....	18
	5.4 Resultados .....	20
<b>6</b>	<b>RESULTADOS DEL ANÁLISIS .....</b>	<b>22</b>
	6.1 En la situación de partida .....	23
	6.2 En el escenario 2030 .....	26
<b>7</b>	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>29</b>
	<b>APÉNDICE – COMPARATIVA PRECIOS BILLETES .....</b>	<b>31</b>

## 1 INTRODUCCIÓN Y OBJETO

Los gases de efecto invernadero (GEI) son esenciales para la vida pues hacen la Tierra habitable. Sin embargo, los aumentos observados en las concentraciones de gases de efecto invernadero (GEI) desde 1750 están inequívocamente causados por las actividades humanas. En 2019, las concentraciones atmosféricas de CO<sub>2</sub> fueron más altas que en cualquier otro momento en al menos 2 millones de años<sup>1</sup>. La influencia humana ha calentado el clima a un ritmo sin precedentes en al menos los últimos 2000 años<sup>1</sup>. En 2018, el cómputo total de emisiones mundiales de gases de efecto invernadero fue de 45,8 Gt CO<sub>2</sub><sup>2</sup>, un 1,7% por encima de las de 2017.

La reducción de estas emisiones se ha convertido en una prioridad en las agendas políticas y para el conjunto de la sociedad principalmente impulsada desde la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) firmada en 1992 y muy especialmente desde la firma del Acuerdo de París en 2015. En este marco, la Unión Europea ha aprobado recientemente la Ley Europea del Clima y en España se ha aprobado la Ley 7/2021, de 20 de mayo, de cambio climático y transición energética, la Estrategia de Descarbonización a Largo Plazo y el Plan Nacional Integrado de Energía y Clima 2021-2030, todos ellos instrumentos de planificación con objetivos cuantitativos de reducción de emisiones de GEI.

El transporte es una actividad intensiva en el uso de energía, que contribuye de manera relevante en las emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera, teniendo un impacto significativo en el cambio climático. Así, en España en 2019 el transporte supuso el 29 % del total de las emisiones de CO<sub>2</sub>-eq, con un ligero incremento de las emisiones respecto al año 2018.

Las emisiones del transporte aéreo nacional fueron en 2019 el 1 %<sup>3</sup> del total de las emisiones, y también registraron un aumento respecto al año anterior, concretamente del 3,4 %.

El transporte aéreo es uno de los modos de transporte que mayores retos de descarbonización plantea para las próximas décadas, y sobre el que se están desarrollando múltiples iniciativas enfocadas a la mejora de la eficiencia de los motores de aeronaves, eficiencia de las rutas y la utilización de combustibles de aviación sostenibles, principalmente. Por otra parte, se dedican esfuerzos significativos a desarrollar tecnologías disruptivas que introduzcan en el mercado aeronaves de emisión cero en los próximos años.

Además, existen otro tipo de medidas como la recientemente anunciada en Francia de supresión de los vuelos domésticos de corto recorrido en los que existe una alternativa ferroviaria en menos de 2 h 30 min y que no transporten más del 50% de pasajeros en conexión.

El 17 de noviembre de 2020, Más País – Equo (Grupo Parlamentario Plural) presentó sus enmiendas al Proyecto de Ley de Presupuestos Generales del Estado para el año 2021. En su enmienda n. 93, el Grupo Parlamentario solicita la realización de un “estudio para alternativas a vuelos peninsulares con alternativa terrestre por sistemas de bajas emisiones”, argumentando que España es el segundo país de la Unión Europea con más emisiones de CO<sub>2</sub> generadas por la aviación, y que es necesario reducirlas para cumplir con los acuerdos y objetivos internacionales.

---

<sup>1</sup> © 2021 Intergovernmental Panel on Climate Change. “Climate Change 2021 The Physical Science Basis Working Group I Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change”

<sup>2</sup> Dato del Banco Mundial <https://datos.bancomundial.org/indicador/EN.ATM.GHGT.KT.CE>

<sup>3</sup> España, Informe Inventarios GEI 1990-2019 (Edición 2021)

Estos hechos motivan la realización del presente estudio, cuyo objeto es analizar la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> por efecto de la sustitución de vuelos peninsulares que pueden realizarse en ferrocarril en un máximo de 2 h 30 min. Otros aspectos de este tipo de medida, como los impactos económicos o sobre el mercado quedan fuera del alcance del estudio.

## 2 CONTEXTO Y CONSIDERACIONES GENERALES

### 2.1 ENTORNO ESTRATÉGICO

- El “Pacto Verde Europeo” (*European Green Deal*)

El pacto verde Europeo es presentado por la Comisión Europea en diciembre de 2019 para convertir Europa en el primer continente climáticamente neutro en 2050. Establece una hoja de ruta con acciones concretas para dotar a la UE de una economía sostenible, sin producción neta de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) en 2050, un crecimiento económico no asociado al consumo de recursos, y una mejora de la salud y la calidad de vida de los ciudadanos promoviendo la equidad y transición justa entre sus ciudadanos. Asimismo, establece la necesidad de acelerar la transición a una movilidad sostenible e inteligente.

- Ley Europea del Clima

La Ley Europea del Clima incorpora a la legislación el objetivo establecido en el Pacto Verde Europeo (“European Green Deal”) presentado por la Comisión Europea en diciembre de 2019 (COM/2019/640 final) como respuesta a los desafíos climáticos y medioambientales de que la economía y la sociedad europeas sean climáticamente neutras de aquí a 2050. Además, la ley establece el objetivo intermedio de reducir las emisiones netas de gases de efecto invernadero en un mínimo del 55 % de aquí a 2030 con respecto a los niveles de 1990. En aplicación de esta Ley, el 14 de julio de 2021, la Comisión Europea presentó una serie de propuestas para adaptar y actualizar las políticas de la UE en materia de clima, energía, transporte y fiscalidad con el objetivo final de convertir Europa en el primer continente climáticamente neutro en 2050.

Actualmente, las emisiones de los transportes representan alrededor del 25 % de las emisiones totales de gases de efecto invernadero de la UE, y estas emisiones han aumentado en los últimos años. Se necesita un camino claro para lograr una reducción del 90 % de las emisiones de gases de efecto invernadero relacionadas con el transporte para 2050.

- Estrategia Europea de Movilidad Sostenible e Inteligente

Una de las acciones derivadas del Pacto Verde es la “Estrategia Europea de Movilidad Sostenible e Inteligente”, que fue publicada el 9 de diciembre de 2020 y pivota en torno a tres grandes pilares: sostenibilidad, movilidad inteligente y resiliencia. En el ámbito de la sostenibilidad su principal objetivo es reducir un 90% las emisiones de gases efecto invernadero del transporte hasta 2050, basculando hacia modos de transporte más sostenibles, ofreciendo a los usuarios alternativas más asequibles, accesibles, limpias y saludables.

En cuanto al transporte aéreo, es junto al transporte marítimo y por vías navegables, uno de los que mayores retos de descarbonización plantea para las próximas décadas, debido a la falta de tecnologías de emisión cero listas para comercializarse, los largos ciclos de desarrollo y de vida de las aeronaves y la competencia internacional en estos sectores. Estos modos deben disponer de acceso prioritario a combustibles líquidos y gaseosos renovables y bajos en carbono adicionales, ya que se carece de grupos motopropulsores alternativos adecuados a corto plazo. La iniciativa relativa a los combustibles de aviación sostenibles (ReFuelEU) impulsará la producción e implantación de combustibles sostenibles en el sector de la aviación.

También son necesarios esfuerzos significativos para desarrollar tecnologías disruptivas que introduzcan en el mercado aeronaves de emisión cero, con el objetivo de disponer de ellas en 2035. La Unión debe crear un entorno propicio para ello, en particular a través de políticas adecuadas de tarificación del carbono y la investigación e innovación (I+i).

- La Ley 7/2021, de 20 de mayo, de cambio climático y transición energética y el Plan Nacional Integrado de Energía y Clima 2021-2030

En España, para contribuir a alcanzar estos objetivos se ha aprobado la “Ley de Cambio Climático y Transición Energética” y el “Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC)” por el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico que recogen los objetivos mínimos nacionales de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, introducción de energías renovables y mejora de la eficiencia energética de la economía española para los años 2030 y 2050. Concretamente, se establece que las emisiones del conjunto de la economía española en el año 2030 deberán reducirse como mínimo en un 23% respecto al año 1990 y que se deberá alcanzar la neutralidad climática antes de 2050 y en todo caso, en el más corto plazo posible.

- Estrategia de Movilidad Segura, Sostenible y Conectada 2030

La “Estrategia de Movilidad Segura, Sostenible y Conectada 2030” del Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana cuenta con una vertiente de sostenibilidad que prioriza la movilidad cotidiana, la equidad económico-social, la eficiencia energética, y la lucha contra el cambio climático; minimizando la contribución del transporte tanto de viajeros como de mercancías a las emisiones contaminantes,; fomentando los modos limpios, la “economía circular”, la “resiliencia climática” y la movilidad universal.

La Estrategia dispone de un eje específico (Eje 4) de Bajas emisiones, que se centra en apoyar el desarrollo de fuentes de energías alternativas y sostenibles para el transporte, y el estímulo de los medios de transporte de bajas emisiones, para reducir la contaminación atmosférica y acústica del transporte.

En el marco de esta Estrategia el Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana está liderando la redacción del Anteproyecto de Ley de Movilidad Sostenible, que establecerá las condiciones necesarias para que los ciudadanos, las ciudadanas y las empresas puedan disfrutar de un sistema de movilidad sostenible, justo e inclusivo como herramienta para lograr una mayor cohesión social y territorial, contribuir a un crecimiento económico resiliente y alcanzar los objetivos de reducción de gases de efecto invernadero y calidad del aire.

## 2.2 LIBERALIZACIÓN DEL TRANSPORTE FERROVIARIO

Uno de los procesos que está transformando la oferta de transporte en España y toda Europa es la liberalización del transporte ferroviario, iniciada en nuestro país en 2005 con la entrada en vigor de la Ley 39/2003, de 17 de noviembre, del Sector Ferroviario y la entrada en el mercado de nuevos operadores de mercancías, y que recientemente ha vivido un hito importante con el inicio de la prestación de servicios de Alta Velocidad por OUIGO, una empresa ferroviaria distinta de Renfe, en la línea Madrid – Barcelona, en 2021.

La propia oferta de Renfe ha sido a su vez modificada para adaptarse al nuevo escenario de competencia, implantando servicios *low cost* denominados AVLO en esta misma línea.

En los próximos meses comenzará a operar también la empresa Ilsa, que prevé operar conexiones entre Madrid, Zaragoza, Barcelona, Cuenca, Valencia, Alicante, Málaga, Sevilla y Córdoba.

Esto sin duda supondrá un cambio en la oferta de servicios y sus características, y modificará la asignación actual de la demanda entre los modos aéreo y ferroviario.

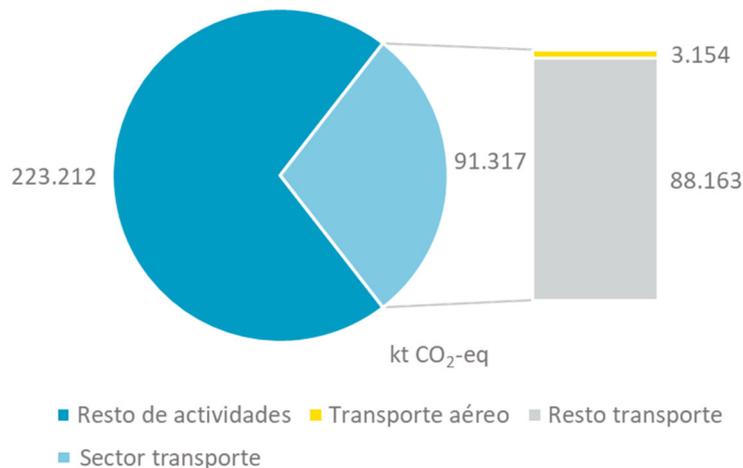
### 2.3 TRANSPORTE Y EMISIONES DE CO<sub>2</sub> EN ESPAÑA

Las emisiones totales de gases de efecto invernadero en España en el año 2019 fueron 314.528,5 kt de CO<sub>2</sub>-eq<sup>4</sup>, lo que la sitúan en quinta posición entre los países con mayor número de emisiones en términos absolutos en la Unión Europea.

Uno de los sectores que más contribuyen a las emisiones de gases de efecto invernadero después de la generación de energía es el transporte, que emitió 91.317 kt de CO<sub>2</sub>-eq en 2019, 29% del total. Buena parte de estas emisiones provienen del transporte por carretera, responsable del 92,5% de las mismas.

Por otra parte, el transporte aéreo nacional emitió 3.154 kt CO<sub>2</sub>-eq en 2019, el 3,4% del total de las emisiones de transporte en España, y 1% del total de emisiones.

Figura 1 Emisiones brutas de CO<sub>2</sub>-eq en 2019



Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Informe de Inventario Nacional Gases de Efecto Invernadero

En lo que respecta al sector aéreo, en España se realizaron 416.801 operaciones en rutas comerciales nacionales durante el año 2019, atendiendo a una demanda total de 35.019 millones de pasajeros-kilómetro, según datos recogidos en el Observatorio del Transporte y la Logística en España.

Debido a la separación por mar de las Islas Canarias, Islas Baleares, Ceuta y Melilla con respecto a la Península y de las islas que forman parte de cada archipiélago, la conectividad de estos territorios se apoya en gran medida en el transporte aéreo, sobre todo para viajeros, por lo que buena parte de las operaciones

<sup>4</sup> España, Informe Inventarios GEI 1990-2019 (Edición 2021)

---

en rutas nacionales comerciales responde a estas relaciones, en concreto el 64% de las operaciones comerciales realizadas en 2019, y el 69% de los pasajeros-kilómetro transportados.

Por tanto, las operaciones en rutas comerciales peninsulares ascendieron a 149.755 en 2019, lo que supone un 36% del total de operaciones, y transportaron 10.988 millones de pasajeros-kilómetro, lo que supone el 31% del total nacional.

Según datos aportados por la Unidad de Inventario de Emisiones de la Subdirección General de Aire Limpio y Sostenibilidad Industrial del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, el transporte aéreo comercial peninsular generó 1.144,60 kt CO<sub>2</sub> en 2019. Este dato permite poner en contexto la dimensión del transporte aéreo comercial peninsular y la parte de las emisiones generadas por el transporte aéreo que serían susceptibles de ser eliminadas con medidas de sustitución de rutas aéreas por servicios ferroviarios.

## 2.4 ALCANCE Y ENFOQUE DEL ESTUDIO

El objeto del presente estudio es analizar la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> por efecto de la sustitución de vuelos peninsulares que puedan realizarse en tren en un máximo de 2 h 30 min.

Para ello, se parte del análisis de la oferta de servicios aéreos y ferroviarios en 2019 y su posible evolución en 2030 para determinar los pares origen-destino peninsulares en modo aéreo que cuentan o pueden contar con una alternativa ferroviaria que cubra este trayecto en un tiempo máximo de 2 h 30 min y, sobre esa base, calcular la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas.

Para el cálculo de esa reducción de emisiones, se tomará como hipótesis simplificadora el trasvase de toda la demanda del modo aéreo al ferroviario, ya sea considerando el total de pasajeros o los pasajeros que no se encuentran en conexión. Esta hipótesis permite estimar el máximo ahorro en emisiones que se generaría al trasvasarse la demanda de forma completa al modo ferroviario, más eficiente, si bien cabría analizar en fases posteriores el posible reparto modal de esta demanda que contemplara otros modos como el vehículo privado y el autobús.

Es necesario apuntar que se analiza la emisión de CO<sub>2</sub> producida exclusivamente en la operación de los servicios, sin tener en cuenta otros posibles focos de generación en el ciclo de vida de la infraestructura o los servicios. Por ejemplo, no se contemplan las emisiones derivadas de la construcción de las infraestructuras, puesto que en el escenario actual se trata de infraestructuras existentes y en el escenario 2030 de infraestructuras que ya están planificadas o en construcción independientemente de la medida objeto de análisis.

Por otra parte, una medida de sustitución de vuelos por servicios ferroviarios acarrearía otros impactos que quedan fuera del alcance del presente estudio, como pueden ser impactos económicos, sobre el empleo, o el mercado.

Por último, si bien en este informe se recogen los resultados obtenidos aplicando determinadas hipótesis para el escenario 2030, este se acompaña de una herramienta en hoja de cálculo que permite al usuario establecer sus propias hipótesis sobre la evolución de la eficiencia tanto del modo aéreo como del mix de generación de energía eléctrica. La citada herramienta queda descrita en el capítulo 5.

### 3 CARACTERIZACIÓN DEL TRANSPORTE OBJETO DE ESTUDIO

Para la caracterización del transporte en la situación de partida, tanto en sus variables de oferta como de demanda, se ha partido de bases estadísticas oficiales y se ha contado, en el caso del transporte aéreo, con la colaboración de la Dirección General de Aviación Civil del Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana (DGAC).

Se considera el año 2030 como escenario futuro de análisis, con el objeto de analizar la repercusión que pudieran tener las actuaciones que están ejecutándose sobre la red ferroviaria de Alta Velocidad sobre el impacto de la posible medida en el marco temporal del PNIEC

A continuación, se recogen las fuentes de información empleadas, cuestiones metodológicas puntuales, junto con las hipótesis planteadas para el escenario 2030.

#### 3.1 CARACTERIZACIÓN DEL TRANSPORTE AÉREO

##### 3.1.1 RELACIONES CONSIDERADAS

Se consideran en el análisis las rutas operadas en el año 2019 de ámbito comercial<sup>5</sup> con una frecuencia semanal media igual o superior a un vuelo.

De estas rutas aéreas, sólo han sido caracterizadas en el modo ferroviario y consideradas por tanto en el análisis aquellas que disponen de servicios ferroviarios directos.

##### 3.1.2 TRÁFICO Y PASAJEROS

Los datos de tráfico (número de operaciones y pasajeros) para la situación de partida (año 2019) han sido proporcionados por la DGAC a partir de la base de datos ESTOP de AENA.

Para la estimación de los pasajeros en 2030 se toma la evolución del sector prevista en el Documento de Regulación Aeroportuaria DORA 2022-2026<sup>6</sup>, publicado el 30 de septiembre de 2021.

En primer lugar, se toman las previsiones de tráfico referidas a la actividad nacional en aeropuertos peninsulares para el horizonte 2026. Después, sobre este volumen, se aplica la cuota de crecimiento anual del 1,86% prevista en el mismo DORA 2022-2026 para la actividad aeroportuaria global en el periodo 2027-2030.

En global, se obtiene una tasa de crecimiento anual del 0,38% en el periodo 2019-2030 para el número de pasajeros en vuelos nacionales en aeropuertos peninsulares.

Esta tasa de crecimiento anual del 0,38% se aplica al número de pasajeros anual de cada ruta para obtener así la demanda de transporte aéreo estimada para esos mismos pares origen-destino en el escenario 2030.

El número de operaciones sirve como referencia, y no se varía de manera explícita en el escenario 2030, sino que se considera únicamente la variación de la ocupación como está explicado en el epígrafe 3.1.3.

---

<sup>5</sup> Se considera tráfico comercial los vuelos de pasajeros regulares, chárter o en puente aéreo.

<sup>6</sup> [https://www.mitma.gob.es/recursos\\_mfom/dora\\_2022-2026.pdf](https://www.mitma.gob.es/recursos_mfom/dora_2022-2026.pdf)

### 3.1.3 ASIENTOS OFERTADOS Y OCUPACIÓN

Para cada una de las rutas identificadas, y basándose en el tipo de aeronave que operó la misma, se han calculado los asientos totales ofertados, que, al contrastarlos con la demanda de pasajeros, permiten conocer la ocupación media de los vuelos.

En la herramienta se permite establecer un porcentaje de mejora de esta ocupación para el escenario 2030, de acuerdo con las propias hipótesis del usuario, que será considerado en el cálculo de las emisiones de cada relación en el escenario futuro.

### 3.1.4 PASAJEROS EN CONEXIÓN

Se recoge el número de pasajeros en conexión en cada ruta considerada, tomando como pasajero en conexión aquel que usa un aeropuerto para cambiar de vuelo en un tiempo máximo de 6 horas. Los pasajeros en conexión en cada ruta han sido calculados por la DGAC a partir de los pasajeros en conexión en el sentido mayoritario (dato disponible) y asumiendo que realizan la conexión en ambos segmentos.

Esta información sirve como referencia, y no se varía en el escenario 2030.

### 3.1.5 PRECIO MEDIO DEL BILLETE

El precio medio del billete en la ruta considerada, proporcionado por la DGAC, ha sido obtenido a través de la base de datos de IATA IS, que ofrece el precio de las reservas no canceladas sin incluir tasas aeroportuarias ni gastos de gestión.

Este precio sirve sólo como referencia, y no se varía en el escenario 2030.

## 3.2 CARACTERIZACIÓN DEL TRANSPORTE FERROVIARIO ALTERNATIVO

### 3.2.1 ESTACIÓN DE ORIGEN / DESTINO

De las rutas aéreas entre destinos peninsulares con mínimo una frecuencia semanal, sólo han sido caracterizadas en el modo ferroviario y consideradas por tanto en el análisis aquellas que disponen de servicios ferroviarios directos.

Se ha tomado para el análisis la estación de Alta Velocidad más próxima al aeropuerto de origen y destino de cada relación, o bien aquella en la que se prestan los servicios que podrían sustituir a la ruta en cuestión.

Así, por ejemplo, en el caso del aeropuerto de Asturias se ha tomado la estación de Gijón por encontrarse más próxima a este aeropuerto que la de Oviedo. En el caso de Madrid, se ha tomado Madrid – Chamartín o Madrid – Puerta de Atocha en función de las relaciones de que se tratara.

### 3.2.2 TIEMPO DE RECORRIDO

Para la obtención del tiempo de recorrido se han tomado bases de datos de oferta de servicios de Renfe en 2019, y se ha tomado el tiempo de recorrido mínimo para cada relación.

En el escenario 2030, se han consultado documentos de planificación en los corredores de Alta Velocidad que están en ejecución y su puesta en servicio prevista antes del horizonte de estudio.

### 3.2.3 DISTANCIA FERROVIARIA

La distancia ferroviaria ha sido extraída de la Declaración sobre la red de ADIF 2021, que en determinados casos ha sido contrastado con visores GIS<sup>7</sup> de ADIF y la DG MOVE de la Comisión Europea.

En el escenario 2030, esta distancia ha sido corregida en casos puntuales en que las actuaciones proyectadas implican un cambio relevante en la distancia recorrida.

### 3.2.4 NÚMERO DE TRENES

El número de trenes se ha obtenido del tratamiento de las bases de datos de oferta de servicios de Renfe en 2019.

Esta información sirve como referencia, y no se varía en el escenario 2030.

### 3.2.5 PRECIO MEDIO DEL BILLETE

Para el cálculo del precio medio del billete se ha partido de los datos recogidos en el Informe anual del sector ferroviario 2019 de la CNMC<sup>8</sup> sobre los ingresos de RENFE Viajeros por servicios de Alta Velocidad, que comparándolo con la demanda en viajeros·km en el mismo año da una ratio de 10,56 cts € / viajero·km.

Para aproximar más esta ratio al precio percibido por el usuario, se toma del Observatorio del Ferrocarril en España<sup>9</sup> la relación entre ingreso medio y precio medio, siendo este último un 10,01% superior al ingreso medio, por lo que se obtiene un precio medio para servicios de Alta Velocidad de 11,617 cts € / viajero·km.

Esta ratio ha sido aplicada a la distancia ferroviaria de cada una de las relaciones objeto del estudio, tanto en el escenario 2019 como en el escenario 2030.

Es necesario destacar que se trata de un precio medio para este tipo de servicios, y que se está aplicando a todas las relaciones analizadas, sean estas actualmente de Alta Velocidad o no, dado que se considera que en el escenario en que su tiempo de recorrido es menor de 2 h 30 min, serán de Alta Velocidad, y que el precio medio se emplea únicamente como una referencia para comparar la oferta a disposición de los ciudadanos.

Esta información sirve como referencia, y no se varía en el escenario 2030 (salvo en el caso de modificarse la distancia ferroviaria por puesta en servicio de nuevas infraestructuras).

---

<sup>7</sup> <https://corredor-mediterraneo-adif.hub.arcgis.com/>  
<https://ec.europa.eu/transport/infrastructure/tentec/tentec-portal/map/maps.html>

<sup>8</sup> [https://www.cnmc.es/sites/default/files/3336867\\_11.pdf](https://www.cnmc.es/sites/default/files/3336867_11.pdf)

<sup>9</sup> [https://www.mitma.gob.es/recursos/mfom/comodin/recursos/ofe\\_2019\\_mar2021.pdf](https://www.mitma.gob.es/recursos/mfom/comodin/recursos/ofe_2019_mar2021.pdf)

## 4 CÁLCULO DE LAS EMISIONES DE CO<sub>2</sub>

### 4.1 EMISIONES DEL MODO AÉREO

La estimación de emisiones de CO<sub>2</sub> de las rutas de ámbito peninsular en 2019 ha sido realizada por la DGAC mediante el instrumento de cálculo del consumo de combustible desarrollado y ofrecido por la Organización Europea para la Seguridad de la Navegación Aérea (Eurocontrol), aprobado por el Reglamento (UE) N° 606/2010 de la Comisión de 9 de julio de 2010.

Esta herramienta de estimación, denominada Small Emitter Tool (SET)<sup>10</sup>, permite calcular el consumo de combustible y las emisiones de dióxido de carbono de vuelos concretos entre aeródromos. Ese instrumento utiliza la distancia de vuelo y estima el combustible consumido por cada tipo de aeronave en todas las fases de un vuelo determinado, entre las que se incluyen las operaciones en la puerta de salida, durante el rodaje, despegue, vuelo y aterrizaje, así como durante las acciones de gestión del tráfico aéreo.

Se trata actualmente de la única herramienta de estimación aprobada por la Comisión Europea para su uso en el ámbito del Régimen Europeo de Comercio de Emisiones (EU ETS), permitiéndose en concreto su uso por parte de los operadores aéreos sujetos al citado esquema, para cumplir sus obligaciones de seguimiento y notificación de emisiones de CO<sub>2</sub>.

Para los efectos del presente análisis se ha hecho uso de la última versión disponible de la citada herramienta, en concreto, de la versión denominada 5.10. publicada en diciembre de 2020.

Para cada una de las rutas identificadas, y basándose en el tipo de aeronave que operó la misma se realiza el cálculo de las emisiones de CO<sub>2</sub> en 2019 en función de la distancia ortodrómica entre el aeropuerto de origen y destino<sup>11</sup>.

En lo que respecta al escenario futuro 2030, partiendo de las emisiones de CO<sub>2</sub> estimadas para el escenario actual, se prevé que pueda haber una reducción de las emisiones por pasajero·km debido a:

- mejora de la eficiencia de las aeronaves de ámbito tecnológico, como puede ser materiales, motores, aerodinámicas, etc.
- mejoras operacionales que produzcan una mayor eficiencia en rutas, la mejora a través de aproximaciones más directas con guía vertical, el aumento de la capacidad del espacio aéreo, etc.,
- y mejora de la eficiencia por incremento del uso de combustibles alternativos (SAF- *Sustainable Aviation Fuels*, incluidos los *e-fuels* -combustibles sintéticos-) de bajas emisiones.

El objetivo de la OACI<sup>12</sup> para esta mejora global de eficiencia es de un 2% anual, por lo que, en la herramienta de cálculo desarrollada, descrita en el capítulo 5 **Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se sugiere este dato como hipótesis de partida para el escenario 2030, si bien cada usuario puede adaptarlo a sus propias hipótesis.

Por otra parte, la ocupación de las aeronaves podría variar en el futuro, por lo que se ofrece también la posibilidad de establecer un porcentaje de mejora de esta ocupación en el escenario 2030, que será

<sup>10</sup> <https://www.eurocontrol.int/tool/small-emitters-tool>

<sup>11</sup> De acuerdo al procedimiento de uso de la herramienta SET, para el cálculo de las emisiones de CO<sub>2</sub>, se ha considerado la citada distancia ortodrómica entre los aeropuertos de la ruta con una distancia adicional de 95 km.

<sup>12</sup> <https://www.icao.int/environmental-protection/pages/climate-change.aspx>

aplicado consecuentemente a la estimación de emisiones en el escenario futuro. La hipótesis de partida introducida en la herramienta en este caso es que no haya variación en la ocupación de los vuelos.

## 4.2 EMISIONES DEL MODO FERROVIARIO

Para los cálculos de emisiones del ferrocarril se tiene en cuenta que las relaciones competitivas respecto al modo aéreo son en su totalidad de Alta Velocidad, las cuales se operan completamente mediante tracción eléctrica.

Las emisiones (indirectas) derivadas de la generación de la electricidad se calculan según dos criterios reconocidos por el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico:

- un criterio más genérico, específico del ámbito geográfico, que emplea el factor de emisión del sistema eléctrico del país. Este factor de emisión es en función del mix de generación eléctrica del país (en adelante factor de emisión)
- un criterio de mercado que se da en caso de que varias comercializadoras eléctricas ofrezcan la venta de electricidad 100% renovable a través de la venta de Garantías de Origen renovable (GdO), Esto permite el empleo de un factor de emisión cero (0 t CO<sub>2</sub>/MWh), en adelante, factor de mercado.

En este sentido, cabe destacar que Adif Alta Velocidad tiene el compromiso de compra de electricidad renovable desde 2019, por lo que sus emisiones derivadas del consumo eléctrico son cero.

Sin embargo, si se plantea el escenario más conservador se debe emplear el factor de emisión del sistema eléctrico nacional que, de acuerdo a la información proporcionada por Red Eléctrica fue de 0,19 t·CO<sub>2</sub>/MWh en 2019<sup>13</sup>. En el ámbito peninsular, este factor fue de 0,17 t CO<sub>2</sub>/MWh.

De acuerdo con los datos registrados en la Memoria Ambiental de Adif Alta Velocidad 2019, el consumo de energía eléctrica de tracción para transporte de viajeros en sus líneas fue de 4.054 TJ dicho año. A su vez, el Observatorio de Transporte y Logística de España, registró 10.751,2 millones de viajeros·km en Alta Velocidad en 2019, por lo que el consumo de energía por viajero·km de Alta Velocidad en 2019 se puede estimar en 0,377J (0,000105 MWh).

A partir de esos tres valores, puede obtenerse que el factor de emisión del ferrocarril de Alta Velocidad sería de 19,9 g CO<sub>2</sub>/viajero·km en 2019 si se considera el factor de mix de generación de energía nacional<sup>14</sup> y no la garantía de origen de la electricidad.

De cara a la obtención del factor de emisión del ferrocarril de Alta Velocidad con el factor de mix de generación de energía en el escenario 2030, se parte de los datos de previsión de generación de energía eléctrica en 2030 del Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC) y de la proyección de emisiones de CO<sub>2</sub>-eq propuestos por el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.

El PNIEC plantea dos posibles escenarios, uno tendencial y otro objetivo, con previsiones para 2030 de la generación de energía y las emisiones derivadas de ella. Se mantiene la ratio de consumo eléctrico actual

<sup>13</sup> <https://www.ree.es/es/datos/generacion/no-renovables-detalle-emisiones-CO2>

<sup>14</sup> Se toma el factor nacional para mantener la congruencia con los escenarios futuros del PNIEC.

---

de viajero por kilómetro (calculada en párrafos anteriores a partir de los datos de 2019), ya que no se prevén grandes cambios en el consumo eléctrico por viajero-kilómetro.

- Escenario tendencial: El PNIEC prevé una generación de 304.593 GWh que supondrán unas emisiones de 43.025 kt de CO<sub>2</sub>, lo que representa un factor de generación de 0,14 t de CO<sub>2</sub>/MWh generado. Este valor se multiplica por el consumo estimado por viajero-km (0,000105 MWh) de donde sale el factor de emisión de CO<sub>2</sub>/viajero-km del escenario tendencial de 14,8 g CO<sub>2</sub>/viajero-km de Alta Velocidad (que supone una reducción del 26% con respecto a 2019).
- Escenario objetivo: El PNIEC prevé una generación de 346.290 GWh con unas emisiones derivadas de 20.603 kt de CO<sub>2</sub> (ya que se incrementa considerablemente la proporción de energías renovables en el mix energético). A partir de esta generación y sus emisiones derivadas se estima un factor de generación de la energía de 0,0595 t de CO<sub>2</sub>/MWh generado. Igual que en el caso anterior, este valor se multiplica por el consumo estimado por viajero-km (0,000105 MWh) y refleja el factor de emisión de 6,25 g CO<sub>2</sub>/viajero-km de ferrocarril de Alta Velocidad (que supone una reducción del 69% con respecto a 2019).

Cabe destacar que este factor por mix de generación eléctrica del país, es complementario al criterio de mercado, según el cual el compromiso adquirido por Adif Alta Velocidad de compra del 100% de energía con garantía de origen renovable (GdO) supondría un factor de emisión nulo y cero emisiones derivadas del consumo eléctrico de toda su actividad, y por tanto de la tracción de todos los trenes objeto del presente estudio.

## 5 HERRAMIENTA DE CÁLCULO DEL AHORRO DE EMISIONES

Para realizar el análisis de la posible medida de sustitución de vuelos domésticos por trayectos ferroviarios de hasta un determinado tiempo de trayecto se ha construido una herramienta sobre hoja de cálculo que permite calcular el ahorro de emisiones generado por este tipo de medidas, en base a unas hipótesis que fijará en cada caso el usuario.

La herramienta está organizada en seis pestañas, que recogen los siguientes contenidos:

1. Inputs
2. Escenario actual 2019
3. Escenario futuro 2030
4. Detalle resultados 2019
5. Detalle Resultados 2030
6. Resultados

Los puntos a continuación describen con mayor detalle cada una de ellas.

### 5.1 INPUTS

La pestaña de Inputs consiste en un breve cuadro en el que se indican los principales parámetros de cálculo, marcando en color azul aquellas celdas que son editables.




**ESTUDIO DE LA VARIACIÓN DE EMISIONES ASOCIADA A LA SUSTITUCIÓN DE VUELOS DOMÉSTICOS POR TRAYECTOS FERROVIARIOS**

<b>Modo ferroviario</b>	
Tiempo del transporte ferroviario alternativo (h:mm)	2:30
Factor medio de emisión del mix energético nacional t CO <sub>2</sub> / viajero·km 2019	0.0000199
Factor medio de emisión del mix energético nacional t CO <sub>2</sub> / viajero·km 2030	0.0000062
Escenario de mix de generación eléctrica PNIEC en 2030	Objetivo
<b>Modo aéreo</b>	
Mejora anual de la eficiencia del transporte aéreo	2.0%
Eficiencia de las aeronaves	1.0%
Eficiencia rutas	0.5%
Eficiencia por uso de combustibles alternativos	0.5%
Mejora de la ocupación en 2030	0%

Valor editable

Valor no editable

El primer factor a considerar será el tiempo de transporte ferroviario alternativo a la ruta aérea, expresado en horas y minutos. Es necesario precisar que han sido parametrizadas aquellas rutas en las que el transporte ferroviario alternativo es menor de 3h10 minutos, con el objetivo de permitir al usuario un cierto margen de actuación, optimizando los recursos dedicados a la construcción de la herramienta.

A continuación, figuran los factores de emisión por el mix de generación de energía eléctrica aplicables al modo ferroviario tanto en el escenario actual (2019) como en el escenario futuro 2030, de acuerdo con los cálculos que se explican en el epígrafe 4.2. Dado que se trata de un factor por generación de energía eléctrica, se ofrece la posibilidad de mantener el mix de generación eléctrica actual, u optar por el escenario tendencial o el escenario objetivo del Plan Nacional Integrado de Energía y Clima para el año 2030. En cada caso, la herramienta automáticamente determina el factor de emisión en t CO<sub>2</sub> / viajero-km.

Para el modo aéreo, se ofrece la posibilidad de indicar hipótesis de mejora anual de la eficiencia de emisiones por motivo de la mejora de los motores, las rutas o uso de combustible alternativos. Además, para el modo aéreo, se permite establecer un porcentaje de mejora de la ocupación en 2030, que será aplicada al cálculo de emisiones en el escenario futuro.

Una vez introducidas las variables oportunas, presionando el botón “Actualizar” se refrescan los cálculos y el archivo se posiciona directamente en la pestaña de “Resultados”.

## 5.2 ESCENARIO ACTUAL 2019 Y FUTURO 2030

En estas pestañas se recogen los datos relativos a cada una de las relaciones, tanto para el modo aéreo como el modo ferroviario, en el escenario actual y futuro. En el caso de algunos datos se mantiene el valor de 2019 incluso en el escenario futuro por no ser relevante para el resultado obtenido.

La información que se refleja para cada relación en el modo aéreo es:

		2019	2030
MODO AÉREO	Aeropuerto de origen	Dato	Dato
	Aeropuerto de destino	Dato	Dato
	Nº de vuelos anuales ambos sentidos	Dato	Dato (2019)
	Distancia aérea (km)	Dato	Dato (2019)
	Pasajeros anuales totales	Dato	Calculado a partir de DORA 2022-26, según epígrafe 3.1.2.
	Pasajeros anuales en conexión	Dato	Calculado a partir de DORA 2022-26, según epígrafe 3.1.4
	Ocupación vuelos	Dato	Calculado a partir de la hipótesis introducida en Inputs
	Emisión anual CO <sub>2</sub> modo aéreo (t)	Dato (calculado por DGAC, según epígrafe 3.1.5)	Calculado a partir del dato 2019 y las hipótesis de ocupación y eficiencia, según epígrafe 4.1)
	Emisión anual CO <sub>2</sub> modo aéreo pasajeros sin conexión (t)	Dato (calculado por DGAC, según epígrafe 3.1.5)	Calculado a partir del dato 2019 y las hipótesis de ocupación y eficiencia, según epígrafe 4.1)
	Precio medio del billete aéreo (€)	Dato	Dato (2019)

Para el caso del modo ferroviario, la información es la siguiente:

		2019	2030
MODO FERROVIARIO	Estación de origen	Asignación de acuerdo con los servicios previstos en el GTSF 2019 de Renfe.	Asignación de acuerdo con los servicios previstos en el GTSF 2019 de Renfe y los estudios de las infraestructuras futuras descritas en el apartado 6.2.
	Estación de destino	Asignación de acuerdo con los servicios previstos en el GTSF 2019 de Renfe.	Asignación de acuerdo con los servicios previstos en el GTSF de Renfe 2019 y los estudios de las infraestructuras futuras descritas en el apartado 6.2.
	Tiempo	Calculado a partir de los tiempos de recorrido mostrados en el GTFS 2019 de Renfe.	Calculado a partir de los tiempos de recorrido mostrados en el GTFS 2019 de Renfe y los estudios de las infraestructuras futuras descritas en el apartado 6.2.
	Distancia ferroviaria (km)	Dato obtenido a partir de la Declaración sobre la Red de Adif 2021. Ver epígrafe 3.2.3	Dato obtenido a partir de la Declaración sobre la Red de Adif 2021 y los visores GIS. Ver epígrafe 3.2.3
	Nº servicios anuales ambos sentidos	Calculado a partir del GTFS 2019 de Renfe	Calculado a partir del GTFS 2019 de Renfe
	Emisión anual CO <sub>2</sub> modo ferroviario (t) (calculado para los pasajeros aéreos)	Calculado según epígrafe 4.2	Calculado según epígrafe 4.2
	Emisión anual CO <sub>2</sub> modo ferroviario pasajeros sin conexión (t) (calculado para los pasajeros aéreos)	Calculado según epígrafe 4.2	Calculado según epígrafe 4.2

### 5.3 DETALLE RESULTADOS 2019 Y 2030

La herramienta de cálculo de emisiones presenta el detalle de resultados desglosado también en dos pestañas, una por cada uno de los escenarios.

Los datos mostrados son:

- Origen/Destino de la ruta analizada
- Ocupación del modo aéreo
- Número de servicios aéreos semanales 2019
- Número de servicios ferroviarios semanales 2019
- Tiempo de recorrido en ferrocarril
- Emisiones modo aéreo CO<sub>2</sub> (t)
- Emisiones modo ferroviario CO<sub>2</sub> (t) (factor de emisión del sistema eléctrico nacional)
- Ahorro emisiones CO<sub>2</sub> (t) (factor de emisión del sistema eléctrico nacional)

A modo ilustrativo, los puntos a continuación muestran el aspecto que tendrían en la herramienta los resultados presentados, tanto para el escenario 2019 como para el 2030. Cabe mencionar que los valores de los ejemplos del escenario futuro se corresponden con el escenario objetivo del PENIEC.

#### 5.3.1 ESCENARIO 2019

oecc		ESTUDIO DE LA VARIACIÓN DE EMISIONES ASOCIADA A LA SUSTITUCIÓN DE VUELOS DOMÉSTICOS POR TRAYECTOS FERROVIARIOS				ineco
Origen	Destino	Ocupación modo aéreo	Nº de servicios aéreos semanales 201	Nº de servicios ferroviarios semanales 201	Tiempo en ferrocarril	
ADOLFO SUÁREZ MADRID-BARAJAS	ALICANTE-ELCHE	84%	78	158	2:16	
ADOLFO SUÁREZ MADRID-BARAJAS	BARCELONA-EL PRAT J.T.	81%	302	400	2:30	
ADOLFO SUÁREZ MADRID-BARAJAS	MALAGA-COSTA DEL SOL	84%	81	200	2:24	
SEVILLA	ADOLFO SUÁREZ MADRID-BARAJAS	79%	98	316	2:21	
VALENCIA	ADOLFO SUÁREZ MADRID-BARAJAS	83%	88	248	1:38	

oecc		ESTUDIO DE LA VARIACIÓN DE EMISIONES ASOCIADA A LA SUSTITUCIÓN DE VUELOS DOMÉSTICOS POR TRAYECTOS FERROVIARIOS				ineco
Origen	Destino	Emisiones modo aéreo CO <sub>2</sub> (t)	Emisiones modo ferroviario CO <sub>2</sub> (t) (factor medio del mix energético nacional)	Ahorro emisiones CO <sub>2</sub> (t) (factor medio del mix energético nacional)		
ADOLFO SUÁREZ MADRID-BARAJAS	ALICANTE-ELCHE	16.550,08	2.710,33	13.839,74		
ADOLFO SUÁREZ MADRID-BARAJAS	BARCELONA-EL PRAT J.T.	141.571,20	33.044,82	108.526,39		
ADOLFO SUÁREZ MADRID-BARAJAS	MALAGA-COSTA DEL SOL	20.630,29	3.640,09	16.990,20		
SEVILLA	ADOLFO SUÁREZ MADRID-BARAJAS	25.339,24	4.556,20	20.783,04		
VALENCIA	ADOLFO SUÁREZ MADRID-BARAJAS	16.818,38	2.630,52	14.187,86		

### 5.3.2 ESCENARIO 2030

oecc		ESTUDIO DE LA VARIACIÓN DE EMISIONES ASOCIADA A LA SUSTITUCIÓN DE VUELOS DOMÉSTICOS POR TRAYECTOS FERROVIARIOS				ineco
Origen	Destino	Ocupación modo aéreo	Nº de servicios aéreos semanales 2019	Nº de servicios ferroviarios semanales 201	Tiempo en ferrocarril	
ADOLFO SUÁREZ MADRID-BARAJAS	ALICANTE-ELCHE	84%	78	158	2:16	
ADOLFO SUÁREZ MADRID-BARAJAS	BARCELONA-EL PRAT J.T.	81%	302	400	2:30	
ADOLFO SUÁREZ MADRID-BARAJAS	BILBAO	78%	134	24	2:30	
ADOLFO SUÁREZ MADRID-BARAJAS	MALAGA-COSTA DEL SOL	84%	81	200	2:24	
PAMPLONA	ADOLFO SUÁREZ MADRID-BARAJAS	76%	48	80	2:25	
SEVILLA	ADOLFO SUÁREZ MADRID-BARAJAS	79%	98	316	2:21	
VALENCIA	ADOLFO SUÁREZ MADRID-BARAJAS	83%	88	248	1:38	
VALENCIA	BARCELONA-EL PRAT J.T.	65%	18	91	2:00	

oecc		ESTUDIO DE LA VARIACIÓN DE EMISIONES ASOCIADA A LA SUSTITUCIÓN DE VUELOS DOMÉSTICOS POR TRAYECTOS FERROVIARIOS			ineco
Origen	Destino	Emisiones modo aéreo CO <sub>2</sub> (t)	Emisiones modo ferroviario CO <sub>2</sub> (t) (factor medio del mix energético nacional)	Ahorro emisiones CO <sub>2</sub> (t) (factor medio del mix energético nacional)	
ADOLFO SUÁREZ MADRID-BARAJAS	ALICANTE-ELCHE	3.897,37	249,60	3.647,77	
ADOLFO SUÁREZ MADRID-BARAJAS	BARCELONA-EL PRAT J.T.	84.137,77	7.680,15	76.457,62	
ADOLFO SUÁREZ MADRID-BARAJAS	BILBAO	21.036,82	1.493,44	19.543,38	
ADOLFO SUÁREZ MADRID-BARAJAS	MALAGA-COSTA DEL SOL	8.161,23	563,13	7.598,10	
PAMPLONA	ADOLFO SUÁREZ MADRID-BARAJAS	3.186,45	209,94	2.976,52	
SEVILLA	ADOLFO SUÁREZ MADRID-BARAJAS	9.526,86	669,90	8.856,96	
VALENCIA	ADOLFO SUÁREZ MADRID-BARAJAS	3.017,80	184,59	2.833,21	
VALENCIA	BARCELONA-EL PRAT J.T.	3.122,61	158,00	2.964,61	

## 5.4 RESULTADOS

Finalmente, y dado el enfoque del estudio, la pestaña final de resultados se centra en agrupar todas las rutas origen/destino consideradas dentro del tiempo de recorrido ferroviario analizado y mostrar el total de ahorro de emisiones para cada uno de los escenarios.

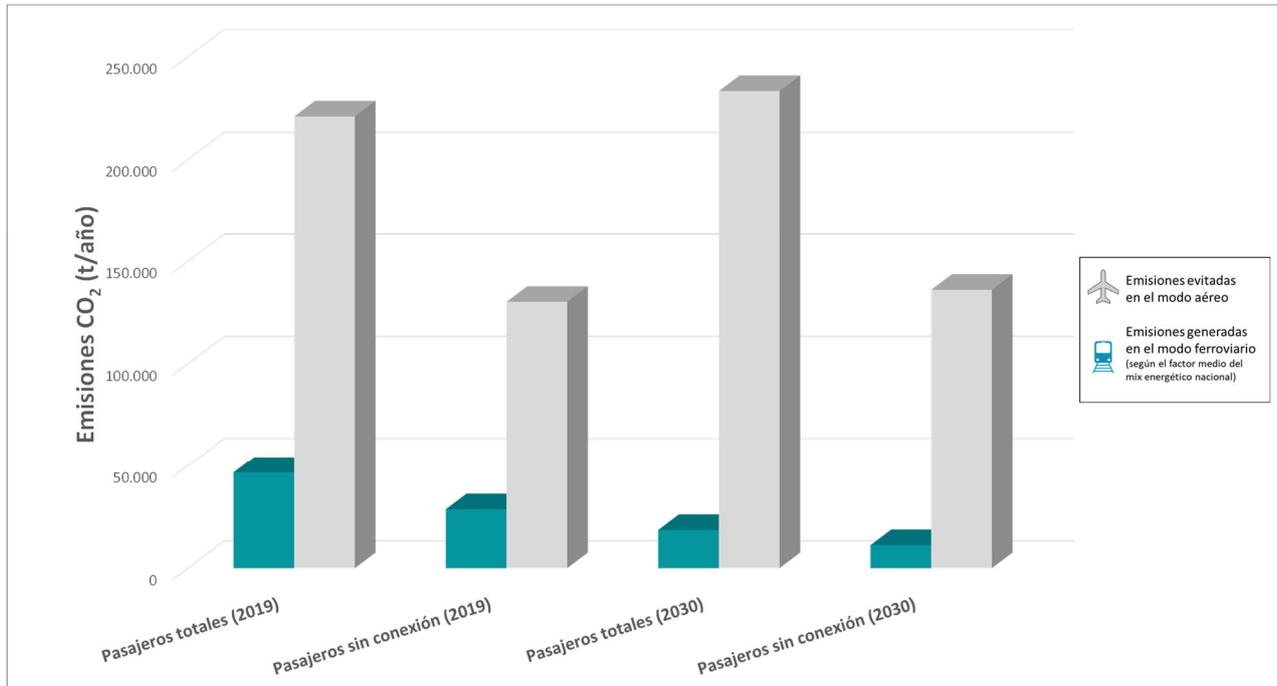
En este caso, teniendo en cuenta la relevancia de los pasajeros en conexión, se muestran los resultados de ahorro de CO<sub>2</sub> tanto para la situación en la que se considerase la transferencia al modo ferroviario del total de los pasajeros como para la situación en la que solamente se transfirieran los que no estuvieran en conexión.

oecc		ESTUDIO DE LA VARIACIÓN DE EMISIONES ASOCIADA A LA SUSTITUCIÓN DE VUELOS DOMÉSTICOS POR TRAYECTOS FERROVIARIOS		ineco	
Escenario actual 2019					
Considerando los pasajeros con OD en las relaciones de interés			Considerando los pasajeros con OD en las relaciones de interés sin incluir los pasajeros en conexión aérea		
	t CO <sub>2</sub> / año			t CO <sub>2</sub> / año	
<b>Emisiones evitadas en modo aéreo</b>	220.909,19		<b>Emisiones evitadas en modo aéreo</b>	130.227,52	
<b>Emisiones generadas FC</b> (factor medio del mix nacional)	46.581,96		<b>Emisiones generadas FC</b> (factor medio del mix nacional)	28.625,19	
<b>Ahorro de emisiones</b> (factor medio del mix nacional)	174.327,23		<b>Ahorro de emisiones</b> (factor medio del mix nacional)	101.602,33	
<b>Ahorro de emisiones</b> (factor de mercado)	220.909,19		<b>Ahorro de emisiones</b> (factor de mercado)	130.227,52	
<b>Orígenes - Destinos afectados</b>				<b>5</b>	

oecc		ESTUDIO DE LA VARIACIÓN DE EMISIONES ASOCIADA A LA SUSTITUCIÓN DE VUELOS DOMÉSTICOS POR TRAYECTOS FERROVIARIOS		ineco	
Escenario futuro 2030					
Considerando los pasajeros con OD en las relaciones de interés			Considerando los pasajeros con OD en las relaciones de interés sin incluir los pasajeros en conexión aérea		
	t CO <sub>2</sub> / año			t CO <sub>2</sub> / año	
<b>Emisiones evitadas en modo aéreo</b>	233.281,86		<b>Emisiones evitadas en modo aéreo</b>	136.086,91	
<b>Emisiones generadas FC</b> (factor medio del mix nacional)	18.543,99		<b>Emisiones generadas FC</b> (factor medio del mix nacional)	11.208,74	
<b>Ahorro de emisiones</b> (factor medio del mix nacional)	214.737,88		<b>Ahorro de emisiones</b> (factor medio del mix nacional)	124.878,17	
<b>Ahorro de emisiones</b> (factor de mercado)	233.281,86		<b>Ahorro de emisiones</b> (factor de mercado)	136.086,91	
<b>Orígenes - Destinos afectados</b>				<b>8</b>	

Adicionalmente, la herramienta muestra en esta última pestaña un gráfico resumen de los resultados obtenidos (ver figura siguiente).

Figura 2 Ejemplo de gráfico de resultados de ahorro de emisiones en la herramienta



Fuente: Elaboración propia

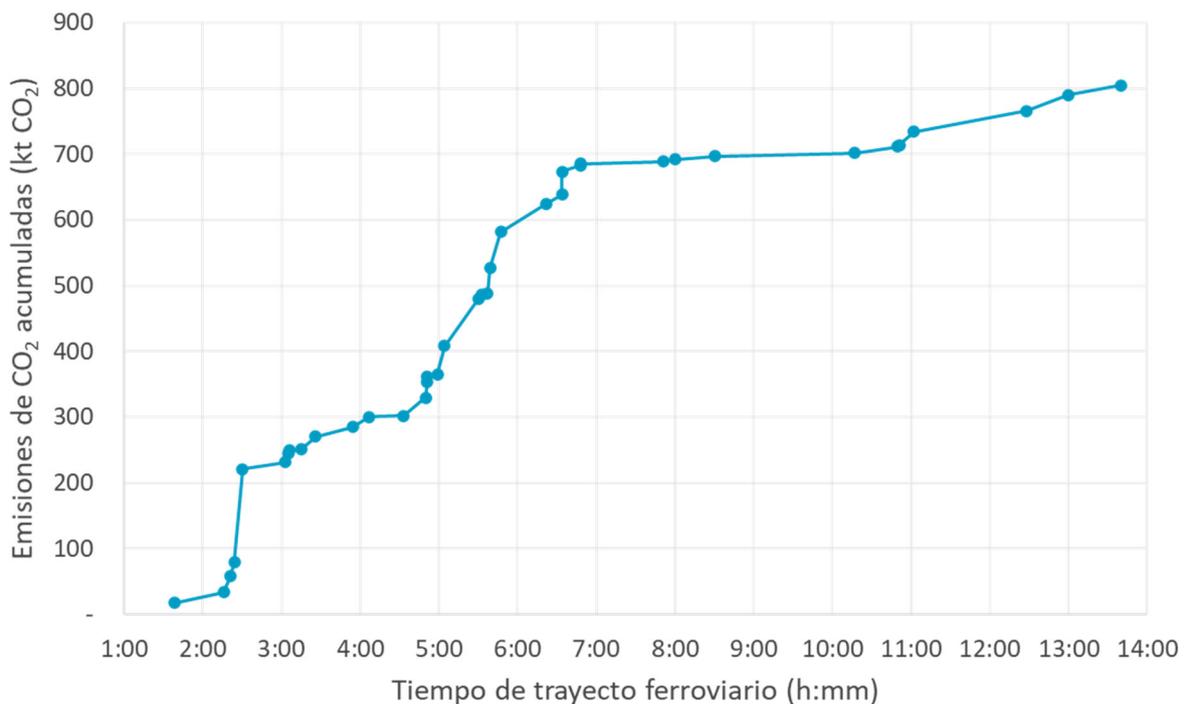
## 6 RESULTADOS DEL ANÁLISIS

La sustitución de rutas aéreas por trayectos ferroviarios pudiera tener sentido en aquellas relaciones cuyos tiempos de recorrido ferroviario puedan considerarse por el usuario una alternativa razonable en tiempo.

Cabe mencionar que, aunque el tiempo analizado en el presente estudio es el de trayecto, la percepción del usuario, tanto para el modo aéreo como para el ferroviario, engloba tiempos totales que incluyen también el acceso y dispersión, paso de controles de seguridad, esperas, etc.

En el siguiente gráfico pueden verse las emisiones acumuladas en rutas con trayecto ferroviario alternativo de hasta un determinado tiempo. En él se aprecia cómo en las 2 h 30 min se produce un salto en las emisiones acumuladas, alcanzando 220 kt CO<sub>2</sub>. A partir de este punto la pendiente se suaviza, teniendo que llegar hasta las 4 h 30 min para alcanzar las 300 kt de CO<sub>2</sub>. Sin embargo, este tiempo de trayecto (4 h 30 min) no supondría una alternativa realista a los servicios aéreos, por lo que parece adecuado mantener el análisis en aquellas rutas aéreas con servicios ferroviarios alternativos de hasta 2 h 30 min de trayecto.

Figura 3 Emisiones del modo aéreo acumuladas en rutas con trayecto ferroviario alternativo de un determinado tiempo



## 6.1 EN LA SITUACIÓN DE PARTIDA

La posible sustitución de vuelos por trayectos ferroviarios alternativos de hasta 2 h 30 min afectaría en el escenario actual a cinco rutas, que se presentan en la tabla.

Tabla 1 Relaciones afectadas por la posible medida en el escenario actual

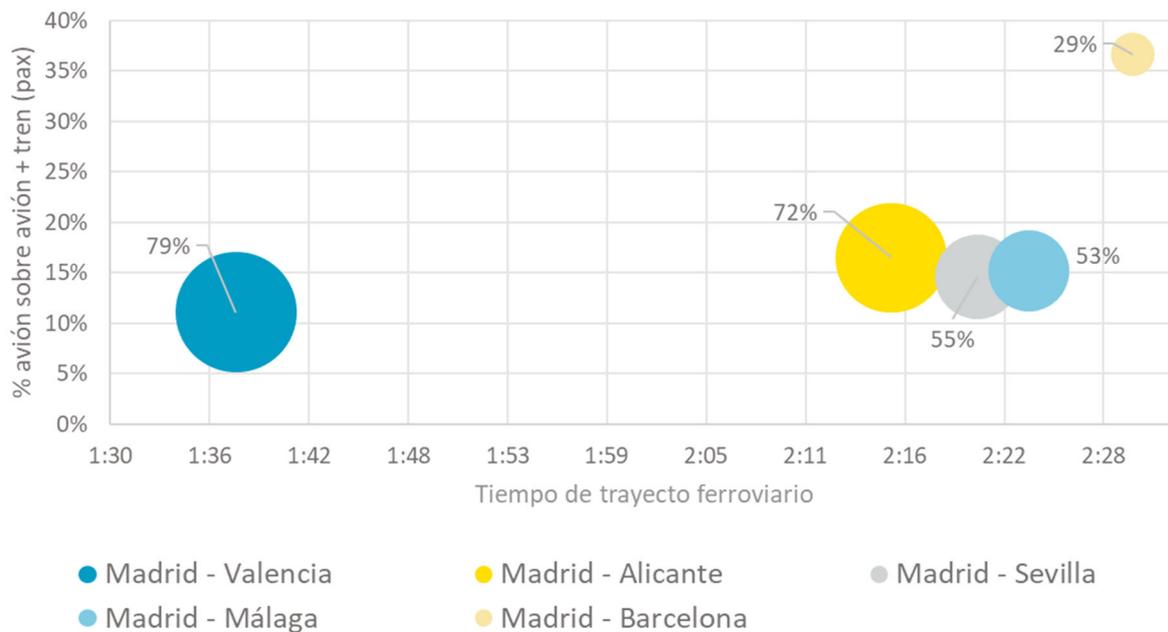
Origen/Destino		Tiempo de trayecto ferroviario	Pasajeros modo aéreo 2019	% de pasajeros en conexión	% de pax del avión sobre avión + tren
MADRID	VALENCIA	1:38	337.202	79%	11%
MADRID	ALICANTE	2:16	299.327	72%	16%
MADRID	SEVILLA	2:21	486.090	55%	15%
MADRID	MÁLAGA	2:24	356.557	53%	15%
MADRID	BARCELONA	2:30	2.570.428	29%	37%
<b>Totales</b>			<b>4.049.604</b>		

Fuente: Elaboración propia

Como puede verse, cuatro de estas rutas corresponden a relaciones donde la demanda se ha trasvasado de manera natural al ferrocarril por la competencia entre modos, quedando una demanda aérea inferior al 16% del total avión + ferrocarril. Además, buena parte de esta demanda aérea corresponde a pasajeros en conexión.

La excepción es la ruta Madrid – Barcelona, en la que la demanda aérea se mantiene en el 37% del total avión + ferrocarril, y los pasajeros en conexión suponen el 29% del total.

Figura 4 Características de las rutas afectadas en el escenario actual



El tamaño de la burbuja representa el porcentaje de pasajeros en conexión en cada ruta, indicado en la etiqueta de datos.

Fuente: Elaboración propia

En el total de estas rutas aéreas se emiten 220,9 kt CO<sub>2</sub>, por lo que, en caso de suprimirse completamente, este sería el ahorro teniendo en cuenta el factor de mercado (0 t CO<sub>2</sub>/MWh) del ferrocarril, dado que ADIF AV tiene compromiso de compra de energía limpia desde 2019. Si atendemos a las emisiones generadas por la electricidad consumida con el factor de emisión (0,19 t CO<sub>2</sub>/MWh), el ahorro sería de 174,4 kt CO<sub>2</sub>, considerando las emisiones que se producirían para generar la energía eléctrica consumida para el transporte del total de pasajeros de estas rutas en modo ferroviario.

Tabla 2 Ahorros de emisiones por el total de pasajeros en el escenario 2019

Origen/Destino		Emisiones vinculadas al total de pasajeros (t CO <sub>2</sub> )		Ahorro de emisiones (t CO <sub>2</sub> )	
		Modo aéreo	Modo ferroviario (factor de mix de generación eléctrica)	Factor de mercado	Factor de mix de generación eléctrica <sup>15</sup>
MADRID	VALENCIA	16.818,38	2.630,52	16.818,38	14.187,86
MADRID	ALICANTE	16.550,08	2.710,33	16.550,08	13.839,75
MADRID	SEVILLA	25.339,24	4.556,20	25.339,24	20.783,04
MADRID	MÁLAGA	20.630,29	3.640,09	20.630,29	16.990,20
MADRID	BARCELONA	141.571,20	33.044,82	141.571,20	108.526,38
<b>Totales</b>		<b>220.909,19</b>	<b>46.581,96</b>	<b>220.909,19</b>	<b>174.408,23</b>

Fuente: Elaboración propia

Sin embargo, en estas rutas el porcentaje de pasajeros en conexión es muy elevado, por lo que se incluyen también los resultados de los ahorros que supondría la eliminación únicamente de las emisiones generadas por los pasajeros sin conexión, si bien es previsible que estas emisiones puedan variar por adaptarse la oferta, la ocupación de las aeronaves, etc. En este caso, el ahorro atendiendo al factor de mercado sería de 130,2 kt CO<sub>2</sub>, y atendiendo al factor de emisión, sería de 101,6 kt CO<sub>2</sub>.

Tabla 3 Ahorros de emisiones por pasajeros sin conexión en el escenario 2019

Origen/Destino		Emisiones vinculadas a los pasajeros que no están en conexión (t CO <sub>2</sub> )		Ahorro de emisiones (t CO <sub>2</sub> )	
		Modo aéreo	Modo ferroviario (factor de mix de generación eléctrica)	Factor de mercado	Factor de mix de generación eléctrica <sup>10</sup>
MADRID	VALENCIA	3.614,13	565,28	3.614,13	3.048,85
MADRID	ALICANTE	4.667,50	764,38	4.667,50	3.903,12
MADRID	SEVILLA	11.409,31	2.051,49	11.409,31	9.357,82
MADRID	MÁLAGA	9.773,84	1.724,53	9.773,84	8.049,31
MADRID	BARCELONA	100.762,75	23.519,52	100.762,75	77.243,23
<b>Totales</b>		<b>130.227,52</b>	<b>28.625,19</b>	<b>130.227,52</b>	<b>101.602,33</b>

Fuente: Elaboración propia

<sup>15</sup> Según factor de emisiones de Red Eléctrica Española 2019.

En el siguiente gráfico se puede apreciar cómo contribuye cada una de estas relaciones al total de emisiones, tanto si consideramos el trasvase modal del total de pasajeros como considerando únicamente el trasvase de aquellos que no realizan conexión.

Figura 5 Emisiones de las rutas afectadas en el escenario actual



Fuente: Elaboración propia

## 6.2 EN EL ESCENARIO 2030

En el escenario futuro 2030, se prevén distintas actuaciones en la red ferroviaria existente que permitirán que tres trayectos adicionales (Barcelona-Valencia, Madrid-Pamplona y Madrid-Bilbao) puedan realizarse en un tiempo inferior a 2 h 30 min.

Para ello, en cada uno de los recorridos deben realizarse las actuaciones que se detallan a continuación, indicando su estado actual, y que conllevarán las reducciones de tiempo correspondientes:

- **Barcelona-Valencia**
  - Tramo Castellón - Tarragona en ancho UIC (en estudio informativo)
  - Línea de Alta Velocidad entre Valencia y Castellón (en estudio informativo).
  - Túnel pasante de Valencia (en estudio informativo).
- **Madrid-Pamplona**
  - Tramo Zaragoza – Castejón (pendiente de Estudio Informativo en redacción),
  - Tramo Castejón – Campanas (en distintas fases de construcción),
  - Tramo Campanas – Zuasti cuyo estudio informativo está en redacción.
- **Madrid-Bilbao**

En el recorrido entre Valladolid y Vitoria, los siguientes tramos:

- Red Arterial Ferroviaria de Valladolid (en construcción),
- Tramo Valladolid – Venta de Baños (una vía en servicio y otra en construcción),
- Tramo Venta de Baños – Burgos (en construcción),
- Tramo Burgos – Vitoria (en estudio informativo).

En la Y vasca, los siguientes tramos:

- Accesos a Vitoria (en estudio informativo),
- Tramo Vitoria – Nudo de Mondragón – Basauri (en construcción),
- Accesos a Bilbao (en estudio informativo).

Estas tres relaciones son de muy distinta naturaleza.

La ruta Barcelona – Valencia actualmente tiene un tiempo de trayecto ferroviario de cerca de 3h, y en el escenario futuro podría llegar a las 2h. Actualmente en esta relación el reparto entre avión y ferrocarril es muy favorable a este último, manteniendo el avión únicamente el 8% de los pasajeros anuales en 2019.

En el caso de la relación Madrid – Pamplona, actualmente con un tiempo de trayecto ferroviario cercano a las 3h, el avión mantiene el 29% de los pasajeros frente al ferrocarril, siendo el 63% de estos pasajeros en conexión. En el escenario futuro podría reducirse el tiempo de trayecto hasta las 2h25.

El caso de Madrid – Bilbao es particular, pues actualmente el trayecto ferroviario se realiza en más de 5h, y es el avión quien mantiene la mayor cuota con el 76% de la demanda, siendo el 41% de los pasajeros en conexión.

Tabla 4 Relaciones adicionales afectadas por la posible medida en el escenario 2030

Origen/Destino		Tiempo de trayecto ferroviario ACTUAL	Tiempo trayecto ferroviario FUTURO	Pasajeros modo aéreo 2019	% de pasajeros en conexión	% de pax del avión sobre avión + tren
BARCELONA	VALENCIA	3:06	2:00	88.608	28%	8%
MADRID	PAMPLONA	3:03	2:25	184.692	63%	29%
MADRID	BILBAO	5:04	2:30	870.961	41%	76%
<b>Totales</b>				<b>1.144.261</b>		

Fuente: Elaboración propia

En el escenario 2030, de acuerdo con las hipótesis planteadas de evolución de la demanda de transporte aéreo de acuerdo con las estimaciones del DORA 2022-2026, y de la eficiencia tanto del modo aéreo (mejora de un 2% anual) como del mix de generación eléctrico considerando el escenario objetivo del PNIEC, se obtendrían los ahorros que se detallan en las siguientes tablas.

Si consideramos el total de viajeros, el ahorro anual de emisiones atendiendo al factor de mercado sería de 233,3 kt CO<sub>2</sub>-eq, y si empleamos el factor de emisión, el ahorro anual sería de 214,7 kt CO<sub>2</sub>-eq.

Tabla 5 Ahorros anuales de emisiones por el total de pasajeros en el escenario 2030

Origen/Destino		Emisiones vinculadas a los pasajeros que no están en conexión (t CO <sub>2</sub> )		Ahorro de emisiones (t CO <sub>2</sub> )	
		Modo aéreo <sup>16</sup>	Modo ferroviario (factor de mix de generación eléctrica) <sup>12</sup>	Factor de mercado	Factor de mix de generación eléctrica <sup>17</sup>
MADRID	VALENCIA	14.043,50	858,98	14.043,50	13184,52
BARCELONA	VALENCIA	4.343,27	219,76	4.343,27	4.123,51
MADRID	ALICANTE	13.819,48	885,04	13.819,48	12.934,44
MADRID	SEVILLA	21.158,52	1.487,80	21.158,52	19.670,72
MADRID	MÁLAGA	17.226,50	1.188,65	17.226,50	16.037,85
MADRID	PAMPLONA	8.682,17	572,01	8.682,17	8.110,15
MADRID	BARCELONA	118.213,20	10.790,57	118.213,20	107.422,63
MADRID	BILBAO	35.795,23	2.541,16	35.795,23	33.254,07
<b>Totales</b>		<b>233.281,86</b>	<b>18.543,99</b>	<b>233.281,86</b>	<b>214.737,88</b>

Fuente: Elaboración propia

<sup>16</sup> Aplicando hipótesis de mejora anual del 2% de la eficiencia en emisiones GEI del modo aéreo y manteniendo la ocupación de vuelos de 2019.

<sup>17</sup> Según valores de escenario objetivo del PNIEC de emisiones y generación de energía eléctrica.

En caso de considerar la aplicación de la medida únicamente a los pasajeros que no están en conexión, el ahorro anual de emisiones atendiendo al factor de mercado sería de 136,1 kt CO<sub>2</sub>-eq, y si consideramos el factor de emisión, este ahorro anual sería de 124,9 kt CO<sub>2</sub>-eq.

Tabla 6 Ahorros anuales de emisiones por los pasajeros sin conexión en el escenario 2030

Origen/Destino		Emisiones vinculadas a los pasajeros que no están en conexión (t CO <sub>2</sub> )		Ahorro de emisiones (t CO <sub>2</sub> )	
		Modo aéreo <sup>18</sup>	Modo ferroviario (factor de mix de generación eléctrica) <sup>14</sup>	Factor de mercado	Factor de mix de generación eléctrica <sup>19</sup>
MADRID	VALENCIA	3.017,80	184,59	3.017,80	2833,21
BARCELONA	VALENCIA	3.122,61	158,00	3.122,61	2.964,61
MADRID	ALICANTE	3.897,37	249,60	3.897,37	3.647,77
MADRID	SEVILLA	9.526,86	669,90	9.526,86	8.856,96
MADRID	MÁLAGA	8.161,23	563,13	8.161,23	7.598,10
MADRID	PAMPLONA	3.186,45	209,94	3.186,45	2.976,52
MADRID	BARCELONA	84.137,77	7.680,15	84.137,77	76.457,62
MADRID	BILBAO	21.036,82	1.493,44	21.036,82	19.543,38
<b>Totales</b>		<b>136.086,91</b>	<b>11.208,74</b>	<b>136.086,91</b>	<b>124.878,17</b>

Fuente: Elaboración propia

<sup>18</sup> Aplicando hipótesis de mejora anual del 2% de la eficiencia en emisiones GEI del modo aéreo y manteniendo la ocupación de vuelos de 2019.

<sup>19</sup> Según valores de escenario objetivo del PNIEC de emisiones y generación de energía.

## 7 CONCLUSIONES

Los vuelos de corto recorrido que podrían sustituirse por servicios ferroviarios con trayectos de menos de 2 h 30 min emiten en conjunto 220.909 t CO<sub>2</sub> anuales en el escenario 2019, que equivalen al 0,24% de las emisiones de CO<sub>2</sub> generadas por el transporte en España, el 7,1% de las emisiones del transporte aéreo nacional y el 19,3% de las emisiones del transporte aéreo comercial peninsular.

Por lo que respecta al transporte ferroviario de Alta Velocidad (totalmente electrificado), tiene compromiso de compra de energía limpia desde 2019, por lo que su factor de emisión por criterio de mercado es cero.

No obstante, considerando el factor a partir del mix de generación de energía eléctrica, y el consumo de energía eléctrica de tracción para Alta Velocidad, el transporte de los pasajeros de estas rutas aéreas en tren de Alta Velocidad supondría la emisión de 46.582 t CO<sub>2</sub> en 2019.

La eliminación de vuelos no implica directamente el trasvase de todos los pasajeros al ferrocarril, sino que estos podrían optar por otros modos de transporte. Sin embargo, se toma esta hipótesis de trasvase total al ferrocarril por simplicidad del cálculo, y porque permite conocer el máximo ahorro posible suponiendo que todos los pasajeros aéreos utilizaran como alternativa el modo con menos emisiones GEI.

De esta manera, se obtendría una reducción de 220.909 t CO<sub>2</sub> atendiendo al factor de mercado (emisión cero en ferrocarril de Alta Velocidad). En caso de considerar el factor de emisiones del mix de generación eléctrico nacional, la reducción de emisiones sería de 174.327 t CO<sub>2</sub>.

En caso de mantener parte de los vuelos para atender a los pasajeros en conexión que utilizan estas rutas, como es el planteamiento de Francia, y considerando la hipótesis simplificadora de que se mantuviera la ratio de emisión por pasajero-kilómetro, el ahorro sería de 130,2 kt CO<sub>2</sub> atendiendo al factor de mercado, o de 101,6 kt CO<sub>2</sub> considerando el factor de emisiones del mix de generación eléctrico.

En la mayoría de las relaciones que ya disponen de trayecto ferroviario alternativo inferior a 2 h 30 min la demanda se ha adaptado a esta situación trasvasándose de manera natural hacia el ferrocarril, y la oferta se ha adaptado en consecuencia. Así, en la mayor parte de las relaciones con trayectos ferroviarios alternativos inferiores a 2 h 30 min, el porcentaje de viajeros del total avión + ferrocarril que continúa usando el avión es inferior al 16%, y el porcentaje de pasajeros en conexión con otros vuelos es en todos estos casos superior al 50%, en algún caso cercano al 80%.

La excepción es la relación Madrid – Barcelona donde el avión transporta un 37% de los pasajeros frente al ferrocarril, la oferta es más equilibrada y los pasajeros en conexión suponen el 29%. Es también esta ruta la que concentra la mayor parte de las emisiones, con 141,6 kt CO<sub>2</sub>, por lo que sería recomendable realizar un estudio más detallado de la misma, para evaluar correctamente las causas por las que no se ha producido el trasvase de pasajeros entre ambos medios de transporte, de acuerdo al patrón que se ha evidenciado en el resto de rutas evaluadas.

Todas las rutas susceptibles de ser sustituidas por trayectos de Alta Velocidad en el escenario de partida, con elevados porcentajes de pasajeros en conexión, tienen por origen o destino el aeropuerto Adolfo Suárez Madrid – Barajas. El Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana está elaborando actualmente el Estudio Informativo de la conexión ferroviaria en Alta Velocidad de este aeropuerto. Sin embargo, como en el resto de casos, no puede inferirse que toda la demanda se trasvasaría automáticamente al ferrocarril, puesto que ya actualmente, una parte de los usuarios de vuelos con origen en Madrid – Barajas utiliza otros modos de acceso como el vehículo privado y el autobús.

Por otra parte, en la relación Madrid-Barcelona, donde la demanda aérea continuaba siendo en 2019 el 37% frente al ferrocarril, se ha producido en los últimos meses la entrada del nuevo operador ferroviario

---

OUIGO, y el nuevo servicio low cost AVLO de Renfe. También se espera que la empresa Ilsa entre a prestar servicios en los próximos meses. Estos cambios en la oferta de servicios podrían influir en el reparto de la demanda entre ambos modos, y por tanto en la generación de emisiones en el trayecto.

En el Escenario 2030, tomando como punto de partida las previsiones de evolución de la demanda del DORA 2022-2026, y las previsiones de tiempos de trayectos ferroviarios, la medida afectaría a ocho relaciones, en las que, suponiendo que se cumplen los objetivos de la OACI de mejora de la eficiencia en un 2% anual, las emisiones generadas por el modo aéreo serían 233.282 t CO<sub>2</sub>.

Considerando el factor de emisión del mix eléctrico nacional de la generación de energía en España de acuerdo con el Escenario objetivo del PNIEC para 2030, el transporte de los pasajeros de estas rutas aéreas en tren de Alta Velocidad supondría la emisión de 18.405 t CO<sub>2</sub> anuales, pero desde 2019 ADIF AV tiene un compromiso de compra de energía con Garantía de Origen renovable, con el que se considera que las emisiones son cero.

Por tanto, la medida de sustitución de vuelos por servicios ferroviarios en trayectos de menos de 2 h 30 min supondría en el escenario 2030 un ahorro de 233.282 t CO<sub>2</sub> anuales si atendemos al factor de mercado, o de 214.877 t CO<sub>2</sub> si consideramos el factor de emisión del mix eléctrico nacional.

## APÉNDICE – COMPARATIVA PRECIOS BILLETES

En la caracterización del transporte se han recogido los valores de los precios de los billetes aéreos y ferroviarios en el año 2019, tomando para el transporte aéreo la base de datos de IATA IS, según se recoge en el capítulo 3.1.5, y calculando para el transporte ferroviario los precios medios en base a una ratio de precio por viajero-kilómetro de Alta Velocidad, según está explicado en el capítulo 3.2.5.

Tabla 7 Precios medios billetes aéreos y ferroviarios en las relaciones afectadas en el escenario 2019

Origen/Destino		Precio medio del billete aéreo en 2019 (€)	Precio medio del billete ferroviario en 2019 (€)
MADRID	VALENCIA	83,59	45,54
MADRID	ALICANTE	101,00	52,86
MADRID	SEVILLA	63,98	54,72
MADRID	MÁLAGA	91,24	59,60
MADRID	BARCELONA	75,45	75,05

Fuente: Elaboración propia

Para el escenario 2030, se añadirían estas tres relaciones, en las que para obtener el precio medio del billete ferroviario en Alta Velocidad se emplean las distancias ferroviarias de la conexión futura.

Tabla 8 Precios medios billetes aéreos y ferroviarios en las relaciones afectadas en el escenario 2030

Origen/Destino		Precio medio del billete aéreo en 2019 (€)	Precio medio del billete ferroviario en 2019 (€)
BARCELONA	VALENCIA	81,61	46,24
MADRID	PAMPLONA	128,15	57,74
MADRID	BILBAO	113,08	54,39

Fuente: Elaboración propia

Si bien son datos que en el caso del transporte ferroviario pueden no reflejar particularidades de la oferta en determinadas rutas, sí permiten tener una primera visión de la oferta a disposición de los usuarios en uno y otro modo.