

# Estrategias para la descarbonización del transporte terrestre en España

## Un análisis de escenarios

[ Informe ]

economics<sub>for</sub>  
energy



## Créditos

El presente informe ha sido preparado por David Declercq (Economics for Energy), Pedro Linares (Economics for Energy e Instituto de Investigación Tecnológica, U.P. Comillas), José Carlos Romero (Instituto de Investigación Tecnológica, U.P. Comillas), y Klaas Würzburg, con la colaboración de Xavier Labandeira (Economics for Energy), Xiral López (UNED), y Roberto Puente (U.P. Comillas)

Los informes anuales de Economics for Energy son aprobados por la junta directiva del centro, sin que sus opiniones reflejen necesariamente la visión de los socios sobre las cuestiones tratadas.

Diseño y Maquetación    seteseoitodeseñográfico

ISSN    2172-8127

Economics for Energy  
Gran Vía 3, 3ºE  
36204 Vigo (España)  
[info@eforenergy.org](mailto:info@eforenergy.org)  
[www.eforenergy.org](http://www.eforenergy.org)

Impreso sobre papel 100% reciclado.

En este año 2020, marcado por la tragedia que ha supuesto la COVID-19, Economics for Energy vuelve a su cita para analizar, en este caso, un sector que ha resultado particularmente afectado tanto por las situaciones de emergencia vividas, como por las restricciones sanitarias que aún nos afectan. Y que también puede ser uno de los focos de actuación de los fondos de recuperación europeos. Es el sector del transporte, un sector clave para la transición energética, el mayor emisor de gases de efecto invernadero en la economía española, así como un sector central para nuestra economía.

Economics for Energy es un centro de investigación especializado en el análisis económico de las cuestiones energéticas y se constituye como una asociación sin ánimo de lucro participada por universidades, empresas y fundaciones. La misión del centro es crear conocimiento en el ámbito de la economía de la energía y transferirlo de forma eficaz para informar, orientar y asesorar la toma de decisiones de agentes públicos y privados. Con ese objetivo, Economics for Energy sigue los procedimientos académicos habituales, con el rigor y profundidad adecuados. Sus líneas de trabajo son el análisis de la demanda de energía, el diseño y evaluación de las políticas energético-ambientales, la innovación en el mundo de la energía, el análisis económico de la seguridad energética, y la prospectiva de largo plazo. Este conocimiento se transfiere a través de informes de situación, como el que nos ocupa, y la organización de seminarios y jornadas sobre temas relevantes de actualidad para el sector energético.

El presente informe plantea, como uno de los elementos centrales en la transición energética y ambiental, una serie de escenarios posibles para el sector del transporte de pasajeros en España hacia 2030, y evalúa sus consecuencias económicas, ambientales y tecnológicas. El objetivo del estudio, al igual que en el caso de otros análisis previos realizados por el centro, no es predecir el futuro, algo por otra parte imposible, sino promover la reflexión en este ámbito a partir de un análisis riguroso, independiente y transparente, algo imprescindible en nuestra opinión para lograr el consenso necesario para la transición energética.

Confiamos en que, como en ocasiones anteriores, la información aportada en este trabajo pueda contribuir a generar un debate informado, amplio y productivo sobre un tema tan crucial y de alcance como la transición del transporte rodado de pasajeros hacia uno descarbonizado y que, junto a las otras actividades de Economics for Energy, sea del interés de los decisores políticos y empresariales, expertos en el sector energético y resto de la sociedad española.

Xavier Labandeira y Pedro Linares

Directores de Economics for Energy

<b>Resumen ejecutivo .....</b>	<b>8</b>
0.1 Emisiones desglosadas del sector del transporte en España .....	9
0.2 Escenarios para el sector del transporte 2030 .....	10
0.3 Recomendaciones para políticas de transporte .....	12
<b>1. Introducción .....</b>	<b>15</b>
<b>2. El transporte en España .....</b>	<b>18</b>
2.1 Introducción .....	19
2.2 Visión general del transporte en España .....	20
2.3 Balance de consumos y de emisiones del sector del transporte en España 2017 .....	23
<b>3. El futuro del transporte terrestre .....</b>	<b>28</b>
3.1 Tendencias globales para los vehículos privados .....	29
3.2 La regulación europea para los vehículos privados .....	36
3.3 El transporte de mercancías .....	39
<b>4. Escenarios para el sector del transporte en España 2030 .....</b>	<b>41</b>
4.1 Introducción .....	42
4.2 Escenario de referencia (BAU) .....	44
4.3 Escenario PNIEC (PNI) .....	48
4.4 Escenario de retirada acelerada (RET) .....	56
4.5 Escenario de restricciones al tráfico urbano (RTU) .....	60
4.6 Comparativa de escenarios .....	64
<b>5. Conclusiones: implicaciones para el diseño de políticas .....</b>	<b>72</b>
<b>6. Referencias .....</b>	<b>77</b>
<b>7. Anexo I: estimación desagregada de la movilidad, consumo energético y emisiones del transporte en España .....</b>	<b>82</b>
7.1 Transporte terrestre de pasajeros .....	83
7.2 Transporte terrestre de mercancías .....	113
<b>8. Anexo II: descripción de los modelos y parámetros utilizados en las simulaciones .....</b>	<b>118</b>
8.1 Modelado del parque de turismos a 2030 .....	119
8.2 Parametrización general de la herramienta MASTER.SO .....	121



Gráfico RE1. Emisiones totales de CO <sub>2</sub> del transporte en España 2017.....	10
Gráfico 1. Evolución de la demanda de movilidad interurbana de pasajeros en España. Pasajeros-km.....	20
Gráfico 2. Evolución de la demanda de movilidad de mercancías en España. Toneladas-km .....	21
Gráfico 3. Consumos energéticos de los modos de transporte en España. 2017. ....	22
Gráfico 4. Emisiones de CO <sub>2</sub> de los modos de transporte en España. 2017.....	22
Gráfico 5. Evolución histórica de las emisiones de contaminantes del sector transporte en España.....	23
Gráfico 6. Consumo energético total del transporte en España. 2017.....	25
Gráfico 7. Emisiones totales de CO <sub>2</sub> del transporte en España. 2017.....	25
Gráfico 8. Evolución de coste de las baterías.....	30
Gráfico 9. Ventas de vehículos eléctricos y térmicos a nivel global. ....	31
Gráfico 10. Porcentaje de ventas de vehículos eléctricos por regiones.....	31
Gráfico 11. Porcentaje de km recorridos por vehículos eléctricos en Europa. ....	33
Gráfico 12. Evolución prevista de la flota de mercancías.....	40
Gráfico 13. Comparativa de emisiones. BAU – 2017. Millones de toneladas de CO <sub>2</sub> .....	46
Gráfico 14. Sensibilidad BAU – COVID19. Millones de toneladas de CO <sub>2</sub> .....	48
Gráfico 15. Comparativa de emisiones. PNI – 2017. Millones de toneladas de CO <sub>2</sub> .....	51
Gráfico 16. Sensibilidad PNI – PNRET. Millones de toneladas de CO <sub>2</sub> .....	52
Gráfico 17. Sensibilidad PNI – BAUMOD. Millones de toneladas de CO <sub>2</sub> .....	53
Gráfico 18. Sensibilidad PNI – PNINOMOD. Millones de toneladas de CO <sub>2</sub> .....	54
Gráfico 19. Sensibilidad BAU – BAUELE – PNI. Millones de toneladas de CO <sub>2</sub> .....	55
Gráfico 20. Comparativa de emisiones. RET – 2017. Millones de toneladas de CO <sub>2</sub> .....	58
Gráfico 21. Sensibilidad RET – RETMINUS. Millones de toneladas de CO <sub>2</sub> .....	59
Gráfico 22. Comparativa de emisiones. RTU – 2017. Millones de toneladas de CO <sub>2</sub> .....	62
Gráfico 23. Sensibilidad RTU – RTUret. Millones de toneladas de CO <sub>2</sub> .....	63
Gráfico 24. Sensibilidad RTU – RTUOCU. Millones de toneladas de CO <sub>2</sub> .....	64
Gráfico 25. Comparativa de emisiones en los distintos escenarios por zonas. Millones de toneladas de CO <sub>2</sub> .....	65
Gráfico 26. Comparativa de emisiones de los turismos en los distintos escenarios por zonas. Millones de toneladas de CO <sub>2</sub> .....	66
Gráfico 27. Reducción de emisiones de NOx en los distintos escenarios. %. ....	67
Gráfico A1. Relación entre la distancia media por viaje y la superficie urbanizada donde s e realiza dicho viaje. ....	85
Gráfico A2. Distribución de los distintos modos de transporte en el interior de la capital. ....	86
Gráfico A3. Distribución de los distintos modos de transporte en la corona metropolitana .....	87
Gráfico A4. Distribución de los distintos modos de transporte (combinando interior y corona). ....	88
Gráfico A5. Penetración del vehículo eléctrico.....	124

Tabla RE1. Emisiones totales de CO <sub>2</sub> para cada escenario. Millones de toneladas en 2030 .....	11
Tabla RE2. Costes de los distintos escenarios. €/tCO <sub>2</sub> evitada.....	11
Tabla 1. Resumen de consumos y emisiones por combustible, modo y dominio. 2017.....	24
Tabla 2. Comparación de emisiones con el Inventario Nacional.....	26
Tabla 3: Comparativa de consumos con el Inventario Nacional. TJ.....	26
Tabla 4: Comparativa de consumos con CORES. Litros .....	27
Tabla 5. Potencial de mejora en eficiencia de vehículos con propulsión convencional (fósil).....	32
Tabla 6. Emisiones y consumos de los vehículos nuevos en la normativa europea .....	38
Tabla 7. Emisiones medias de los vehículos vendidos en España. 2017 .....	39
Tabla 8. Evolución estimada del parque de turismos en el escenario BAU .....	45
Tabla 9. Porcentajes de distribución modal en el escenario BAU .....	45
Tabla 10. Evolución estimada del parque de turismos en el escenario PNI.....	49
Tabla 11. Porcentajes de distribución modal en el escenario PNI .....	50
Tabla 12. Evolución estimada del parque de turismos en el escenario RET .....	56
Tabla 13. Porcentajes de distribución modal en el escenario RET .....	57
Tabla 14. Evolución estimada del parque de turismos en el escenario RTU.....	60
Tabla 15. Porcentajes de distribución modal en el escenario RTU .....	61
Tabla 16. Emisiones agregadas en los distintos escenarios. Transporte de pasajeros. Millones de toneladas de CO <sub>2</sub> .....	65
Tabla 17. Reducción de emisiones de NO <sub>x</sub> en los distintos escenarios. Miles de toneladas de NO <sub>x</sub> .....	68
Tabla 18. Costes en los distintos escenarios.....	69
Tabla 19. Coste implícito de reducción de emisiones de cada escenario.....	69
Tabla A1. Viajes y distancia recorridos privados urbanos. 2017 .....	84
Tabla A2. Kilómetros totales realizados en el ámbito metropolitano en el modo coche y moto a nivel nacional. 2017 .....	89
Tabla A3. V-km totales anuales en función de la tecnología y el año de matriculación de los turismos y motocicletas del parque móvil existente en España.....	91
Tabla A4. Consumo medio anual en función del año de matriculación .....	91
Tabla A5. Consumos energéticos anuales de los modos turismo y motocicleta a nivel urbano .....	92
Tabla A6: Viajeros-kilómetro en interurbano. Serie histórica 2012-2017. Millones de viajeros-km .....	93
Tabla A7. Vehículo-kilómetro en interurbano. Serie histórica 2012-2017. Millones de vehículos-km .....	93
Tabla A8. Desglose de los vehículos en circulación según el año de matriculación .....	94
Tabla A9. Consumos medios en función de la tecnología y el año de matriculación .....	94
Tabla A10. Consumos totales en función de la tecnología y el año de matriculación.....	94
Tabla A11. Consumos y emisiones de los vehículos privados en carretera.....	95
Tabla A12. Viajeros-km en transporte público urbano. 2017 .....	97
Tabla A13. Vehículos-km en transporte público urbano. 2017 .....	98
Tabla A14. Km-tren y km-rama Cercanías y FEVE 2017.....	99
Tabla A15. Consumos de diferentes modelos de autobuses urbanos en función de sus ciclos de prueba.....	100
Tabla A16. Consumos medios autobuses urbanos en función del combustible empleado .....	100
Tabla A17. Emisiones medias de los autobuses urbanos en función del combustible empleado.....	101



Tabla A18. Consumos y emisiones totales de los autobuses urbanos en el año 2017 en función del combustible empleado.....	101
Tabla A19. Modelos del parque móvil de metros y nº de coches de cada tipo.....	102
Tabla A20. Eficiencias energéticas diferentes modelos de metro .....	102
Tabla A21. Consumo energético del metro, metro ligero y tranvía. 2017 .....	103
Tabla A22. Eficiencias energéticas diferentes modelos de tren de cercanías.....	104
Tabla A23. Consumo energético y emisiones del modo cercanías.2017 .....	104
Tabla A24. Distribución de licencias de Taxi en Madrid según tecnología de motorización .....	104
Tabla A25. Kilómetros totales recorridos al día por tipo de licencia de Taxi .....	105
Tabla A26. Kilómetros totales recorridos al en España por tipo de licencia de taxi.....	106
Tabla A27. Modelos de taxis diésel y consumos medios .....	106
Tabla A28. Modelos de taxis híbridos y consumos medios.....	106
Tabla A29. Modelos de taxis de gasolina y consumos medios.....	107
Tabla A30. Distribución de las distancias recorridas por los taxis según tecnología empleada.....	107
Tabla A31. Consumos energéticos y emisiones de las diferentes tecnologías del taxi. 2015 .....	107
Tabla A32. Millones de viajeros-kilómetros en tren. Serie histórica 2012-2017.....	108
Tabla A33. Vehículos-km recorridos por trenes larga distancia. Serie histórica 2012-2017 .....	108
Tabla A34. Vehículos-km recorridos por trenes media distancia. Serie histórica 2012-2017 .....	109
Tabla A35. Consumos y potencias de la flota de autobuses interurbanos.....	109
Tabla A36. Consumos energéticos anuales de la flota de autobuses interurbanos. 2017 .....	109
Tabla A37. Consumos y emisiones del modo de transporte interurbano de autobús.....	110
Tabla A38. Eficiencias energéticas diferentes modelos de tren LD alta velocidad (AVE).....	110
Tabla A39. Eficiencias energéticas diferentes modelos de tren LD convencional (ALVIA) .....	111
Tabla A40. Consumos energéticos y emisiones de trenes larga distancia. 2017 .....	111
Tabla A41. Eficiencias energéticas diferentes modelos de tren MD alta velocidad (AVANT).....	112
Tabla A42. Consumos energéticos y emisiones de trenes media distancia. 2017 .....	112
Tabla A43. Reparto por combustible v-km mercancías ligeras. 2016 .....	113
Tabla A44. Consumo y emisiones transporte mercancías ligeras. 2017.....	113
Tabla A45. Toneladas-km por tipo de vehículo y capacidad de carga en intramunicipal. 2017 .....	114
Tabla A46. Número de vehículos-kilómetros de mercancías en intraurbano. 2017.....	114
Tabla A47. Toneladas-km por tipo de vehículo y capacidad de carga en interurbano. 2017 .....	114
Tabla A48. Número de vehículos-kilómetros de mercancías en interurbano. 2017.....	115
Tabla A49. Toneladas-km por tipo de vehículo y capacidad de carga en internacional. 2017 .....	115
Tabla A50. Número de vehículos-kilómetros de mercancías en interurbano. 2017.....	115
Tabla A51. Flujos energéticos y de emisiones del transporte pesado de mercancías. 2017.....	116
Tabla A52. Tn-km transporte mercancía pesada por ferrocarril. Serie histórica 2012-2017 .....	117
Tabla A53. Consumos energéticos y emisiones. 2017 .....	117
Tabla A54. Evolución del parque de vehículos. 2001-2017 .....	120
Tabla A55. Demanda de transporte de pasajeros y mercancías. 2017 y proyección a 2030.....	122





[ 00 ]

# Resumen Ejecutivo

- 0.1 Emisiones desglosadas del sector del transporte en España**
- 0.2 Escenarios para el sector del transporte 2030**
- 0.3 Recomendaciones para políticas de transporte**



El sector del transporte es un elemento clave de la actividad económica en España y del bienestar de sus ciudadanos. Un transporte eficiente permite la especialización geográfica y las economías de escala en la industria, y promueve una mayor competencia en los mercados. Un transporte de calidad también es condición indispensable para que se desarrolle el turismo, un sector económico fundamental en España. Además, la utilidad que proporciona la movilidad como factor para disfrutar del ocio es indiscutible.

Sin embargo, el transporte también genera numerosas externalidades: impacto ambiental (tanto por la emisión de contaminantes atmosféricos como por su contribución al cambio climático), congestión, accidentes, o ruido. En particular, el sector del transporte es el mayor emisor de gases de efecto invernadero en España, con un 27% del total en 2018. Esto se debe fundamentalmente a que este sector es también el mayor consumidor de energía, con un 40% del total de energía final en 2018, energía que procede en su casi totalidad de combustibles fósiles, derivados del petróleo. Ello hace que el transporte deba ser un sector prioritario en todas las estrategias de descarbonización de la economía, y en particular, el transporte terrestre, que representa el 93% de las emisiones y más del 80% de la energía consumida.

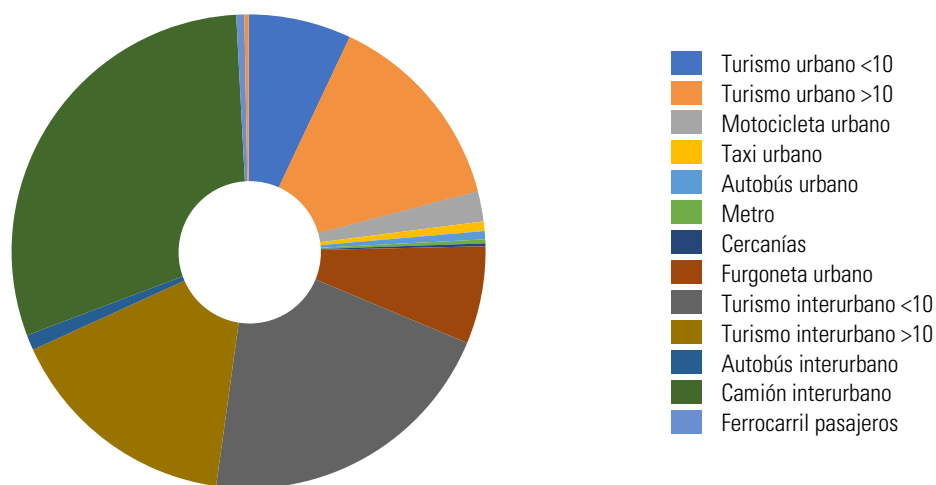
## 0.1

### Emisiones desglosadas del sector del transporte en España

El primer paso para cualquier estrategia de descarbonización debe ser el conocimiento, lo más preciso posible, del origen de estas emisiones por modos y ámbitos de transporte, algo esencial para poder diseñar las políticas adecuadas. El primer apartado de este informe ofrece información valiosa a estos efectos, al presentar un diagnóstico integrado, y hasta ahora no disponible, del sector del transporte terrestre en España, que permite entender de forma coherente la contribución de cada modo de transporte y tecnología al consumo de energía y las emisiones de gases de efecto invernadero en nuestro país. Este diagnóstico integra distintas fuentes estadísticas públicas, junto con algunos supuestos necesarios para dicha integración, para construir una imagen lo más fiel posible del sector; una imagen que por otro lado es imprescindible si se quiere, a partir de ella, proyectar posibles evoluciones futuras.

El objetivo último es presentar un mapa de consumos y emisiones del transporte que sea compatible con las estadísticas de emisiones que aporta anualmente el Inventario Nacional de Emisiones y con las de consumos de combustibles líquidos de CORES, pero a la vez con un nivel de desagregación por modos de transporte que permita realizar un análisis útil de escenarios futuros.

Para ello, se ha dividido el sector entre vehículos privados y públicos, así como de transporte de personas y de mercancías. También se distingue entre usos urbanos y extraurbanos. Para cada una de las tipologías se presentará una estimación de la demanda de movilidad, que después se traducirá en un consumo y unas emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas. El resultado obtenido se muestra en el gráfico RE1.

**Gráfico RE1. Emisiones totales de CO<sub>2</sub> del transporte en España 2017**

Fuente: Elaboración propia

El transporte urbano representa un 35% del consumo energético y emisiones. Este hecho es muy relevante: muchas de las políticas de gestión del transporte se centran en las ciudades, mientras que la gran mayoría de las emisiones provienen del transporte interurbano. Por otra parte, el transporte de pasajeros supone un 63% del total, de forma que el transporte de mercancías genera más de un tercio de las emisiones, por lo que es también imprescindible diseñar políticas para este sector particular si se quiere avanzar en la descarbonización.

Otro aspecto reseñable es la influencia de la antigüedad del parque. En el caso de los turismos para uso urbano, los vehículos más antiguos suponen más de dos tercios de todas sus emisiones, mientras que en el caso interurbano el reparto es más equilibrado, con una cuota muy similar. Ahora bien, si sumamos la contribución de todos los vehículos con más de 10 años (tanto turismos como motocicletas), vemos que suponen un 38% del consumo de energía y de emisiones del transporte en España, lo que indica el potencial interés de las políticas focalizadas en este segmento de vehículos. Dentro de este grupo, los vehículos con más de 20 años suponen un 4% del total de consumos y emisiones.

## 0.2

### Escenarios para el sector del transporte 2030

Una vez conocida en detalle la situación del sector del transporte en España, el informe procede a simular distintos escenarios de evolución del sector hacia 2030. Dichos escenarios incorporan, por una parte, las políticas europeas ya implantadas de reducción de emisiones para la venta de coches nuevos; mientras que por otro lado incluyen, en distintos grados, cuatro elementos que consideramos fundamentales para reducir las emisiones de transporte en España: el cambio modal (esto es, el desplazamiento hacia modos de transporte colectivo), la penetración del vehículo eléctrico, la retirada acelerada de vehículos convencionales, y las restricciones al tráfico urbano. Entre ellos simulamos, como no podía ser de otra forma, la proyección del Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC). Estos escenarios, y las sensibilidades asociadas a los mismos, nos permiten entender la influencia de cada una de las variables en las emisiones del sector.

A este respecto, es importante señalar que, en los momentos finales de redacción de este informe, se desencadenó la pandemia COVID-19, que evidentemente podría cambiar drásticamente tanto el escenario tendencial como los demás



escenarios simulados, al verse modificadas tanto la evolución económica como las preferencias de los usuarios por los distintos modos de transporte. Sin embargo, la elevada incertidumbre que aún existe sobre estos aspectos hacía poco recomendable incorporarlos apresuradamente. Además, hay otros elementos, como los fondos de reconstrucción, que podrían actuar en dirección opuesta. Nos hemos limitado pues a introducir una sensibilidad en el escenario tendencial para valorar la posible magnitud de los impactos.

A continuación, presentamos las emisiones asociadas al transporte de pasajeros en los principales escenarios simulados para 2030 (Tabla RE1). Cada uno de estos escenarios hace hincapié en distintos instrumentos de reducción de emisiones. Adicionalmente, hemos efectuado algunos análisis de sensibilidad para identificar mejor el efecto de políticas concretas.

**Tabla RE1. Emisiones totales de CO<sub>2</sub> para cada escenario. Millones de toneladas en 2030**

2017	Referencia	PNIEC	Retirada acelerada	Restricción tráfico urbano
81	65,12	56,68	61,18	63,20
PNIEC + Retirada	Ref. + Cambio modal	PNIEC sin cambio modal	Retirada menos acelerada	Promoción del vehículo eléctrico
53,88	61,10	59,32	63,03	58,96

Fuente: Elaboración propia

Puede observarse cómo el escenario que logra mayores reducciones sobre el escenario de referencia es el que combina una cuota elevada de vehículos eléctricos, el cambio modal y la retirada acelerada de vehículos antiguos. La retirada acelerada es la medida que más emisiones reduce por sí sola, seguida del cambio modal. El aumento de la penetración de vehículos eléctricos también reduce emisiones, pero sólo lo hace de forma significativa si dicha penetración se produce de forma independiente, y no como consecuencia de una política de limitación de emisiones global como la planteada por la normativa europea. Cuando el límite de emisiones es global, la reducción lograda por los vehículos eléctricos se compensa con mayores emisiones de los vehículos convencionales, por lo que, salvo que vaya acompañada de cambio modal, la reducción de emisiones que logra es limitada. Las restricciones de tráfico urbano también logran reducir emisiones, aunque a un nivel intermedio, algo entendible dado que el tráfico urbano sólo supone un 35% de las emisiones totales del transporte.

Ahora bien, la efectividad en la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> no puede ser el único criterio de decisión a la hora de diseñar políticas de descarbonización para el transporte. Es imprescindible por supuesto evaluar el coste-eficiencia de las medidas. La Tabla RE2 muestra los resultados obtenidos, según una metodología descrita en el informe, en términos de coste por tonelada evitada de CO<sub>2</sub>.

**Tabla RE2. Costes de los distintos escenarios. €/tCO<sub>2</sub> evitada**

PNIEC	Retirada acelerada	Restricción tráfico urbano	PNIEC+Retirada
-117	2955	-306	1983
Ref. + Cambio modal	PNIEC sin cambio modal	Retirada menos acelerada	Promoción del vehículo eléctrico
-377	1240	1572	165

Fuente: Elaboración propia

Como puede observarse, el escenario que presenta menores costes por tonelada evitada (de hecho, costes negativos) es el de restricción de tráfico urbano, que combina estrategias de cambio modal a nivel urbano y penetración de vehículos eléctricos en este ámbito. También el escenario que sólo tiene en cuenta el cambio modal presenta costes negativos, más negativos incluso que los del escenario de restricción de tráfico urbano, por su mayor volumen de cambio modal (que ahora afecta también al transporte interurbano) y menores costes de renovación. El escenario basado en el PNIEC muestra unos costes también negativos de  $-117 \text{ €/tCO}_2$  evitada, lo que subraya la eficiencia global en costes de dicho escenario.

Ahora bien, es preciso recordar que el PNIEC engloba dos tipos de medidas, penetración de vehículos eléctricos y cambio modal. La introducción de vehículos eléctricos por sí misma, y en el contexto de la normativa europea de control de emisiones de  $\text{CO}_2$ , tiene un coste de abatimiento de  $1240 \text{ €/t}$  evitada. Es el cambio modal, con su gran eficiencia en coste, el que logra mejorar la eficiencia global del PNIEC, y por tanto la clave para que el plan en conjunto sea rentable.

La otra opción que existiría para mantener este conjunto de medidas en un rango de rentabilidad razonable sería evitar que las mejoras de emisiones logradas por la penetración de vehículos eléctricos se compensaran con más emisiones de los vehículos convencionales (que es, como hemos mencionado antes, lo que hace la normativa europea). En este caso, el coste de la introducción de vehículos eléctricos se reduciría hasta los  $165 \text{ €/t}$  de  $\text{CO}_2$  evitada: superior a los precios actuales del  $\text{CO}_2$ , pero quizá asumible en un contexto de mejora tecnológica. De hecho, si el sobrecoste del vehículo eléctrico se hiciera nulo en 2026, como indican algunos estudios, entonces el coste por t de  $\text{CO}_2$  evitada sería incluso negativo ( $-31 \text{ €/tCO}_2$ ).

En cambio, el resto de escenarios presentan unos costes de reducción bastante elevados, de hasta dos órdenes de magnitud superiores al que se estima para el precio del  $\text{CO}_2$  en los mercados de emisiones para la próxima década. De ellos, el escenario que considera en exclusiva la retirada acelerada de vehículos convencionales es el que muestra los costes más elevados, de casi  $3.000 \text{ €/tCO}_2$ . Cuando reducimos la tasa de renovación de vehículos (que, recordemos, era muy agresiva) el coste se mitiga, aunque sigue por encima de los  $1.500 \text{ €/tCO}_2$ .

## 0.3

### Recomendaciones para políticas de transporte

Una de las conclusiones evidentes del estudio es que el **cambio modal** (entendido como la sustitución de vehículo privado por transporte público) es la política más eficiente y la más efectiva: no supone coste adicional en términos de inversión en el parque de vehículos ligeros, y logra reducciones de emisiones muy importantes. Podría requerir un aumento de las inversiones en el parque de transporte público, para absorber la mayor demanda, pero esto no es necesariamente así: en primer lugar, la tasa de ocupación del transporte público suele ser inferior a la óptima, y además pueden conseguirse mejoras simplemente con el rediseño de rutas. También puede suponer un mayor coste en términos de confort o de tiempo de desplazamiento, aunque estos son más complicados de determinar. Si sólo se consideran los costes monetarios, nuestras estimaciones indican que las reducciones de emisiones se lograrían incluso con costes negativos (al reducirse el consumo de combustible y por tanto el coste variable del desplazamiento).

Es una política además más eficiente en entornos urbanos, que por tanto deberían ser los prioritarios para su implantación. Asimismo, estos núcleos, sobre todo los de mayor tamaño, son los que presentan más alternativas de transporte público, que amortiguan la reducción de confort y por tanto las pérdidas de bienestar de la población, tal como se muestra en análisis previos.

Es importante recordar que una forma indirecta de estimular el cambio modal es mediante la promoción del *car pooling*, es decir, aumentar la tasa de ocupación del vehículo privado. Este aumento tiene una traducción inmediata en términos



de reducción de emisiones contaminantes o de congestión, aunque, como se ha visto en los resultados, de una magnitud relativamente pequeña frente al total (de un 5%), aunque muy significativa en el ámbito urbano.

La **promoción de vehículos eléctricos** (básicamente, subvencionando su sobre coste mientras este exista, y también desplegando la estructura de recarga necesaria para mitigar el *range anxiety*) es una política que en principio permite reducir emisiones, pero sólo si no supone un empeoramiento de los objetivos de reducción de emisiones de los vehículos convencionales mientras estos sigan suponiendo un porcentaje elevado del parque circulante. Como se ha mencionado antes, bajo la política actual de la UE, una mayor penetración de vehículos eléctricos permite relajar los objetivos de reducción de emisiones de los vehículos convencionales, pudiendo llegar a suponer un aumento de emisiones con respecto al escenario de referencia si se suma a una menor tasa de renovación de los vehículos convencionales, en un ejemplo de *backfire* debido al diseño de la política. Por tanto, la promoción adicional de vehículos eléctricos debería realizarse de forma que no se modifiquen el resto de condiciones del parque convencional, si se quiere que realmente haya un ahorro de emisiones sobre el escenario de referencia.

Ahora bien, incluso cuando se trata de evitar este efecto rebote aislando ambas medidas, el coste de esta actuación es mayor que el del cambio modal, algo que puede observarse en caso de penetración “pura” de vehículos eléctricos. Se pasaría de una medida con coste despreciable, o negativo, a otra con un coste un orden de magnitud por encima del precio esperado del CO<sub>2</sub> para 2030. Cabe preguntarse pues si tiene sentido incurrir en estos costes (siempre que la alternativa de cambio modal sea realista).

Para responder a esto es preciso contestar a otra pregunta previa, si es preciso apoyar el desarrollo tecnológico del vehículo eléctrico para internalizar las externalidades asociadas al proceso de innovación. En principio, la respuesta es que, al igual que en el caso de las energías renovables, sí parece conveniente tratar de internalizar esta externalidad, creando mercados que favorezcan la innovación tecnológica. La ilustración de las ventajas que ofrece este desarrollo tecnológico está en la sensibilidad realizada a una bajada de los costes de las baterías. Si los vehículos eléctricos lograran llegar a un sobre coste nulo en 2026, el coste de la tonelada de CO<sub>2</sub> evitada se haría incluso negativo.

En este sentido, hay que recordar que el proceso de innovación es global y, por tanto, hay que valorar en qué medida debe contribuir cada país a la creación de dichos mercados, algo que dependerá de los beneficios que puedan obtenerse en términos de rentas de innovación o de desarrollo industrial, y de cómo estos beneficios compensen los costes incurridos en la promoción. Es fundamental pues combinar las políticas de incentivo a la demanda con políticas industriales y tecnológicas que permitan generar valor añadido en nuestro país.

También, por supuesto, habrá que tener en cuenta las posibles implicaciones distributivas de las políticas de promoción de vehículos eléctricos, ya que las posibles ayudas a su compra podrían ir predominantemente a los usuarios con mayor renta (que son los que tienden a utilizar más el vehículo privado)<sup>1</sup>.

Finalmente, la **retirada acelerada de vehículos convencionales** se muestra como una política también potencialmente efectiva para reducir emisiones, pero muy cara, ya que requiere deshacerse de vehículos con un valor residual aún significativo, sobre todo cuando se sigue aplicando con edades medias ya bajas. Cuando se aplica sólo para eliminar los vehículos verdaderamente más antiguos, entonces su coste baja, pero sigue situándose en niveles muy elevados, dos órdenes de magnitud por encima de los de otras políticas, y un orden de magnitud por encima de las que promocionan los vehículos eléctricos.

<sup>1</sup> También puede tener efectos distributivos el despliegue de la infraestructura de recarga, si esta se imputa a los peajes eléctricos (que pagan todos los consumidores de electricidad) en lugar de únicamente a los usuarios de la recarga, generalmente además con niveles de renta superiores.

Además, las políticas para lograr esta retirada acelerada (ayudas al achatarramiento) también presentan riesgos: riesgos distributivos, de free-riding, de captura por los fabricantes (cuando se implantan mediante subvenciones) y riesgo de picos de venta de vehículos contaminantes cuando se establecen prohibiciones de venta como las planteadas en algunos países europeos.

En este sentido, es interesante señalar que un impuesto de matriculación más elevado, que es una medida de gran interés para lograr un parque menos contaminante a medio plazo, podría reducir la tasa de renovación. Pero este efecto se puede mitigar si el impuesto sólo se aumenta para los vehículos más contaminantes, dejándose igual, o incluso más bajo, para los menos contaminantes, de forma que el impacto neto sobre el comprador que se plantea renovar su vehículo se mantenga o incluso reduzca.

A este respecto, el impuesto de matriculación debería utilizarse para que la compra de vehículos nuevos se dirigiera en la dirección apropiada, esto es, vehículos menos contaminantes, y no de forma relativa – por segmento – sino absoluta, de forma por ejemplo que no se incentive indirectamente la compra de vehículos de peso elevado (como los SUV) y por tanto alto consumo absoluto. En este sentido, la normativa europea ayuda a que no se produzcan aumentos de emisiones asociados a una renovación del parque con vehículos más contaminantes (como se ha producido en casos anteriores), ya que la media de las emisiones de la flota de vehículos nuevos está restringida.

Finalmente, creemos que también es muy relevante apuntar a uno de los resultados que se mantienen en todos los escenarios, como es la creciente importancia en términos de emisiones del transporte de mercancías. Como en este sector no hay previstos cambios tecnológicos significativos a 2030, la única mejora sería la derivada de la normativa europea, que requiere una reducción de emisiones del 30%. Pero esta reducción no basta para compensar el posible incremento de actividad asociado al crecimiento del PIB (siempre que, ojalá, la recuperación del COVID-19 sea rápida). Así, el transporte de mercancías pasa de representar un 30% en 2017 a más del 50% en todos los escenarios en 2030. Es prioritario pues comenzar a reflexionar acerca de cómo descarbonizar el transporte pesado.

En todo caso, no podemos terminar este resumen sin recordar que hay más elementos que deben tenerse en cuenta a la hora de diseñar una política de transporte. Así, la reducción de emisiones atmosféricas de carácter local es prioritaria y también debe considerarse el impacto de las distintas políticas en la generación de valor añadido en España, tanto en el corto como en el largo plazo, o en otras externalidades como la congestión o los accidentes de tráfico. Todos estos elementos exceden el alcance de un análisis como el presente y requieren estudios adicionales.

En cualquier caso, confiamos en que el esfuerzo realizado, tanto de la compilación de un conjunto de datos coherente, como del análisis de los distintos escenarios de descarbonización, permita alimentar un debate informado y riguroso sobre la mejor manera de descarbonizar este sector tan crítico para la economía española





[ 01 ]

# Introducción

El sector del transporte es un elemento clave de la actividad económica en España y del bienestar de sus ciudadanos. Un transporte eficiente permite la especialización geográfica y las economías de escala en la industria, y promueve una mayor competencia en los mercados. Un transporte de calidad también es condición indispensable para que se desarrolle el turismo, un sector económico fundamental en España. Además, la utilidad que proporciona la movilidad como factor para disfrutar del ocio es indiscutible.

Sin embargo, el transporte también genera numerosas externalidades: impacto ambiental (tanto por la emisión de contaminantes atmosféricos como por su contribución al cambio climático), congestión, accidentes, o ruido. En particular, el sector del transporte es el mayor emisor de gases de efecto invernadero en España, con un 27% del total en 2018. Esto se debe fundamentalmente a que este sector es también el mayor consumidor de energía, con un 40% del total de energía final en 2018, energía que procede en su casi totalidad de combustibles fósiles, derivados del petróleo. Ello hace que el transporte deba ser un sector prioritario en todas las estrategias de descarbonización de la economía, y en particular el transporte terrestre, que representa el 93% de las emisiones y más del 80% de la energía consumida.

La descarbonización del transporte terrestre permitiría además reducir significativamente las emisiones de contaminantes atmosféricos como los NO<sub>x</sub>, a los que el transporte por carretera contribuye con un 34% de las emisiones totales en España (y un porcentaje aún mayor de los daños en ciudades) y el resto del transporte con otro 14%. A nivel urbano, las emisiones de partículas también son un problema ambiental relevante al que el transporte contribuye en gran medida.

Algunos de estos problemas podrían mitigarse con la aparición de nuevas tecnologías, fundamentalmente los vehículos eléctricos con baterías, o los vehículos basados en pilas de combustible (que son esencialmente eléctricos, aunque con mayor autonomía). Otra posibilidad, viable para reducir en cierta medida las emisiones, pero no para eliminarlas totalmente, es el desarrollo de vehículos de combustión mucho más eficientes (o híbridos). Asimismo, las nuevas tecnologías de comunicación, de forma indirecta, están permitiendo la aparición de nuevos modelos de negocio como el *car-sharing* o, en términos generales, la movilidad como servicio (MaaS), que pueden contribuir a reducir algunos de los problemas del transporte, aunque también podrían aumentarlos, según cómo se desarrollen.

Y es que la descarbonización del sector debe basarse en estos tres componentes: la reducción de las necesidades de movilidad, la eficiencia energética, y el uso de vectores energéticos descarbonizados. Si bien las nuevas tecnologías pueden aumentar el uso de vectores libres de carbono y la eficiencia energética, también podrían a su vez aumentar la demanda de movilidad, reduciendo por tanto los beneficios ambientales de las dos primeras, e intensificando otras externalidades como la congestión o los accidentes. Parece pues conveniente diseñar políticas que permitan avanzar en la misma dirección para la mitigación de las distintas externalidades del sector, algo que puede requerir actuaciones a distintos niveles administrativos.

Así, las políticas europeas se han centrado fundamentalmente en el avance tecnológico en materia de impacto ambiental, tanto limitando las emisiones de los vehículos nuevos, como promoviendo el desarrollo de las baterías. Sin embargo, otras medidas, como la fiscalidad (recordemos que el transporte no está incluido en el sistema europeo de comercio de emisiones), son competencia de los Estados Miembros, e incluso otras como las que tratan de reducir la congestión o el ruido deben ser desarrolladas por las administraciones locales.

Dada esta complejidad del sector, los plazos de tiempo asociados a la descarbonización (que típicamente son 2030 y 2050, como ya ilustrábamos en nuestros escenarios energéticos para España) y la incertidumbre inherente, consideramos muy difícil tratar de diseñar políticas óptimas para la descarbonización del sector, y menos aún que combinen todas las externalidades citadas. En su lugar, y en línea con informes anteriores de Economics for Energy, pretendemos, mediante un análisis de escenarios en los que se trata de simular los efectos de distintas políticas posibles, aportar información útil y rigurosa para el debate público, que permita informar las decisiones políticas necesarias.

Para ello, en primer lugar, queremos presentar un diagnóstico integrado, hasta ahora no disponible, del sector del transporte terrestre en España, que permita entender de forma coherente la contribución de cada modo de transporte y tecnología al consumo de energía y las emisiones de gases de efecto invernadero en nuestro país. Este diagnóstico integra distintas fuentes estadísticas públicas para construir una imagen lo más fiel posible del sector; una imagen que por otro lado es imprescindible si se quiere, a partir de ella, proyectar posibles evoluciones futuras.

En segundo lugar, analizamos las consecuencias en términos de descarbonización y económicas de distintos escenarios de evolución del sector del transporte en España con el horizonte 2030. Entre ellos incluimos, como no podría ser de otra forma, el contenido en el recientemente presentado Plan Nacional Integrado de Energía y Clima. Además, evaluamos las consecuencias de una retirada acelerada de vehículos antiguos o de las restricciones al tráfico urbano. Este análisis nos permite estimar las consecuencias de distintas actuaciones políticas, para así identificar cuáles pueden ser más interesantes de cara a las actuaciones necesarias para la descarbonización de este sector.

Por supuesto, hay más elementos que deben tenerse en cuenta a la hora de diseñar dichas actuaciones, además de la descarbonización. Así, la reducción de emisiones atmosféricas de carácter local es prioritaria y también debe considerarse el impacto de las distintas políticas en la generación de valor añadido en España, tanto en el corto como en el largo plazo, o en otras externalidades como la congestión o los accidentes de tráfico. Todos estos elementos exceden el alcance de un análisis como el presente y requieren estudios adicionales.

En cualquier caso, confiamos en que el esfuerzo realizado, tanto de la compilación de un conjunto de datos coherente, como del análisis de los distintos escenarios de descarbonización, permita alimentar un debate informado y riguroso sobre la mejor manera de descarbonizar este sector tan crítico para la economía española.





[ 0 2 ]

# El transporte en España

## 2.1 Introducción

## 2.2 Visión general del transporte en España

## 2.3 Balance de consumos y de emisiones del sector del transporte en España 2017

## 2.1 Introducción

Este capítulo pretende mostrar una imagen lo más realista posible del sector del transporte en España a partir de las estadísticas públicas disponibles, desafortunadamente incompletas, y de una serie de supuestos que las complementan, imprescindibles para poder presentar una visión homogénea y completa del sector en términos energéticos y medioambientales.

El objetivo último es presentar un mapa de consumos y emisiones del transporte que sea compatible con las estadísticas de emisiones que aporta anualmente el Inventario Nacional de Emisiones y con las de consumos de combustibles líquidos de CORES, pero a la vez con un nivel de desagregación por modos de transporte que permita realizar un análisis útil de escenarios futuros.

Para ello, se ha dividido el sector entre vehículos privados y públicos, así como de transporte de personas y de mercancías. También se distingue entre usos urbanos y extraurbanos. Para cada una de las tipologías se presentará una estimación de la demanda de movilidad, que después se traducirá en un consumo y unas emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas.

La fuente principal de datos para este estudio es el Observatorio del Transporte y la Logística en España (OTLE), elaborado por el Ministerio de Transportes (2020). El OTLE es la fuente más completa que existe en España para analizar la movilidad, ofreciendo estadísticas por modos de transporte y ámbitos geográficos. Sin embargo, también presenta algunas limitaciones para construir una imagen completa del sector del transporte:

- El transporte urbano aparece de forma separada, y no homogénea con el transporte extraurbano;
- En el caso del transporte urbano, sólo se recogen las seis mayores áreas metropolitanas;
- El consumo de energía y las emisiones se obtienen directamente del Inventario Nacional de Emisiones, sin relacionarlo con las estadísticas propias de OTLE. Ello impide repartir el consumo de energía entre urbano y extraurbano, o entre mercancías y pasajeros;
- No incluye estadísticas de transporte público mediante taxi a nivel urbano.

Así pues, para lograr una visión homogénea y completa del sector del transporte en España, será necesario, en función del modo de transporte, complementar esta información con otras fuentes que se indicarán en cada apartado.

El análisis que se presenta aquí está basado en gran parte en el trabajo realizado por Puente (2018), aunque ha sido actualizado para recoger los datos más recientes y completado para asegurar la coherencia de los cálculos.

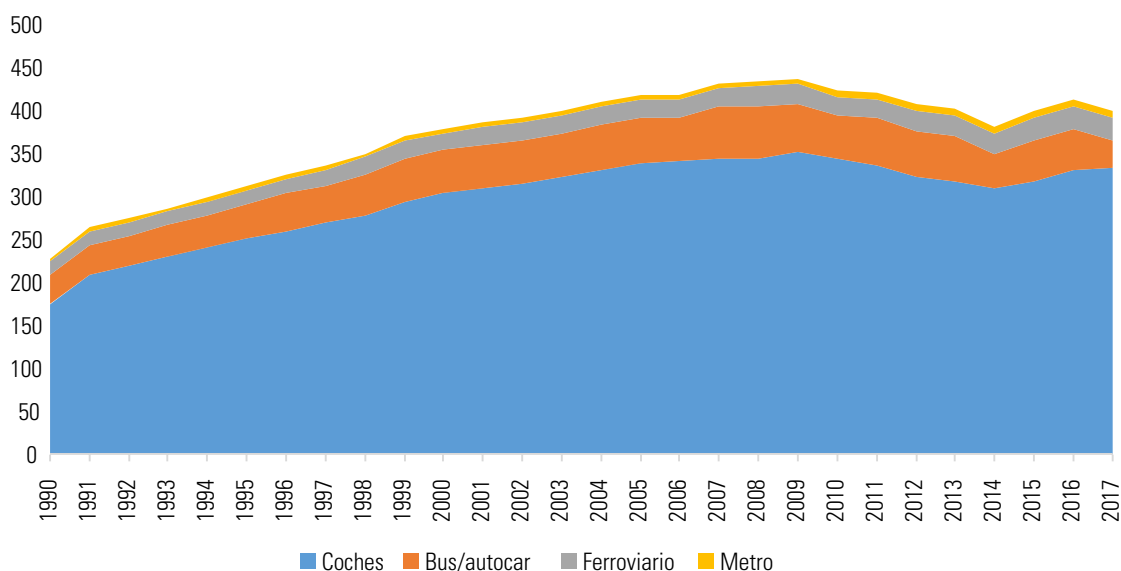
## 2.2

## Visión general del transporte en España

Como hemos mencionado en la introducción, el transporte es el principal responsable del consumo energético y de las emisiones de gases de efecto invernadero en España. Además, su contribución sigue aumentando, por la creciente demanda de movilidad.

Como puede verse en el Gráfico 1, la demanda de movilidad interurbana<sup>1</sup>, medida en pasajeros-kilómetro, lleva aumentando constantemente desde 1990, con sólo un ligero descenso en los años asociados a la crisis económica, que ya se ha comenzado a recuperar. Esta movilidad está además asociada fundamentalmente al vehículo privado, con el transporte público aportando una cuota muy baja.

**Gráfico 1. Evolución de la demanda de movilidad interurbana de pasajeros en España. Pasajeros-km**

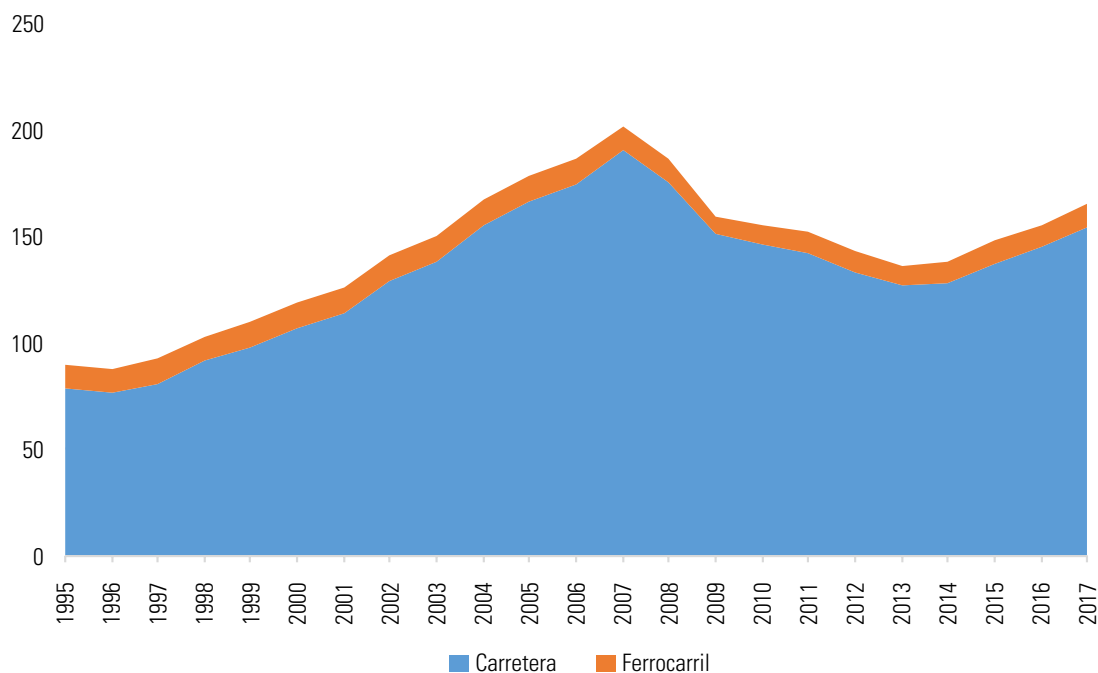


Fuente: Ministerio de Transportes (2020)

Por su parte, la demanda de movilidad para mercancías ha seguido una evolución similar, aunque, como puede observarse en el Gráfico 2, mucho más relacionada con la evolución económica, salvo en los años posteriores al pinchazo de la burbuja inmobiliaria. Y es que la demanda de transporte de mercancías no sólo depende de la evolución de la producción, sino también de la intensidad en el uso del transporte de los distintos sectores. El sector de la construcción en particular es muy intensivo en el uso de transporte, lo que explica ese “desacoplamiento”, que podría desaparecer si el sector de la construcción volviera a ganar peso en la economía.

<sup>1</sup> La movilidad urbana no se recoge en unidades homogéneas en el OTLE. Este es uno de los problemas que el presente estudio pretende solucionar.

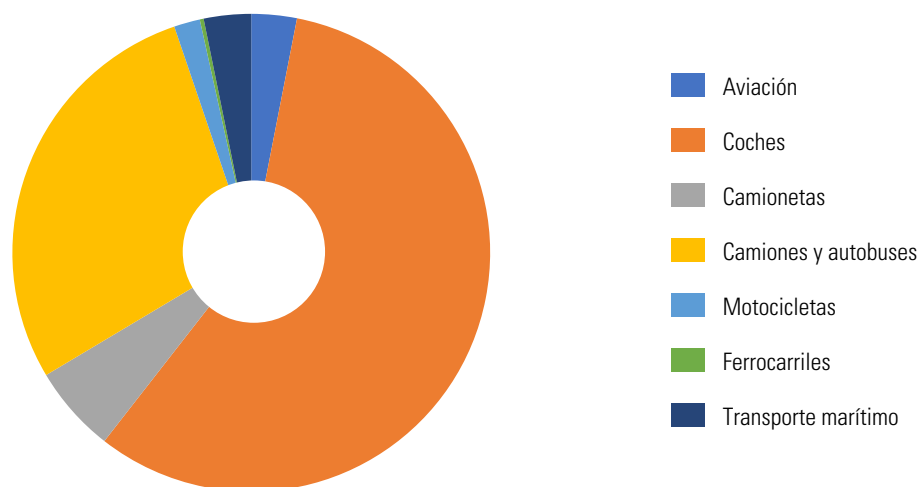


**Gráfico 2. Evolución de la demanda de movilidad de mercancías en España. Toneladas-km**

Fuente: Ministerio de Transportes (2020)

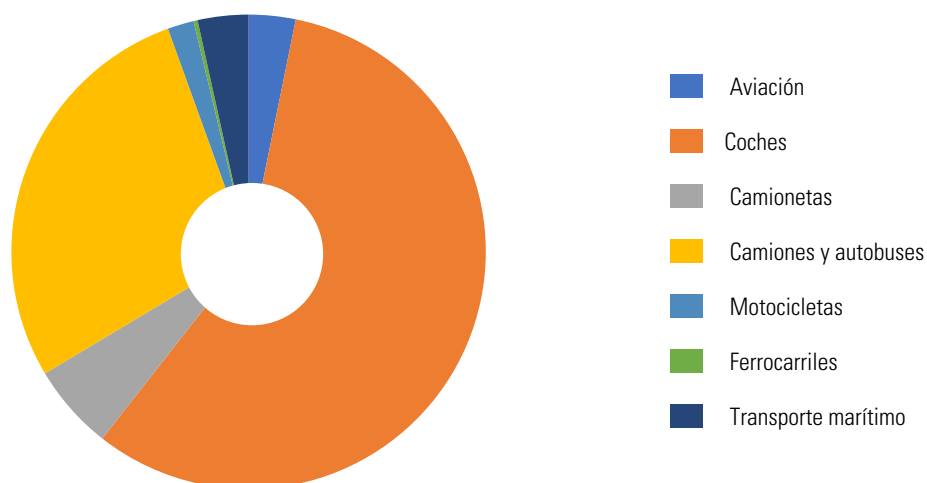
A futuro, y si no se establecen políticas adicionales, las previsiones son que la demanda de movilidad siga aumentando. Según los datos del modelo europeo PRIMES (en el que se basa la estrategia europea 2050), se prevé para 2050 un incremento del 50% en el transporte de pasajeros, y un 80% en el transporte de mercancías. Nuestras propias estimaciones, presentadas en el informe sobre Escenarios para el sector energético en España (Economics for Energy, 2017), preveían aumentos inferiores para el transporte de pasajeros, de un 10% para 2050 (basado en una elasticidad demanda-renta de 0,16), y del 60% en el transporte de mercancías. Estas previsiones están evidentemente muy influidas por el supuesto subyacente de crecimiento de la economía.

En cuanto al consumo energético del transporte, como ya se ha indicado antes, desgraciadamente no existen estadísticas públicas que recojan de una forma integrada todos los modos de transporte con nivel de detalle suficiente. Las estadísticas de IDAE no presentan el consumo de las zonas urbanas, mientras que el Inventario Nacional de Emisiones (MITECO, 2020a), en una de sus tablas suplementarias, sí ofrece una estimación de consumos agregados, aunque no al nivel de detalle requerido en este estudio (Gráfico 3).

**Gráfico 3. Consumos energéticos de los modos de transporte en España. 2017**

Fuente: MITECO (2020a)

Finalmente, en lo que se refiere a las emisiones de contaminantes, de nuevo tenemos que recurrir a la información contenida en el Inventario Nacional de Emisiones. De acuerdo con dicho inventario, el sector del transporte emitió en 2018 el 27% de las emisiones de gases de efecto invernadero (89 Mt), el 40% de las emisiones de NO<sub>x</sub> (315 kt), el 8% de las emisiones de SO<sub>2</sub> (17 kt) y el 11% (13 kt) de las emisiones de partículas (PM<sub>2.5</sub>). De ellas, el desglose por modos de las emisiones de CO<sub>2</sub> se recoge en el Gráfico 4. Como puede observarse es muy similar al de los consumos energéticos.

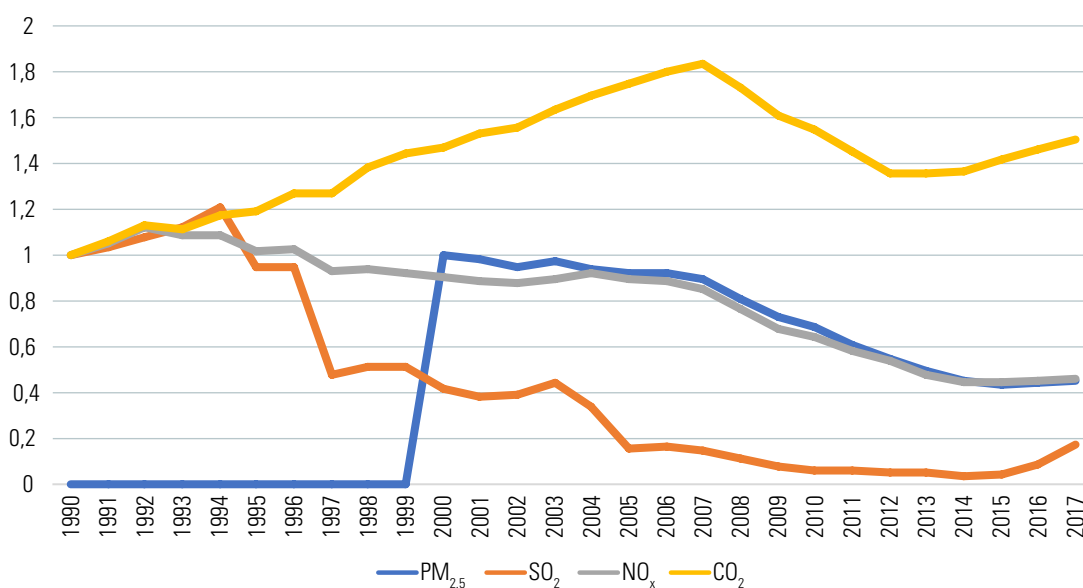
**Gráfico 4. Emisiones de CO<sub>2</sub> de los modos de transporte en España. 2017**

Fuente: MITECO (2020a)

En cuanto a la evolución histórica de estas emisiones, en el Gráfico 5 se indica cómo han variado las emisiones de los distintos contaminantes para el transporte en España a partir de 1990 (excepto para las partículas, en que no hay datos anteriores a 2000). Las variaciones más llamativas han sido el aumento de emisiones de CO<sub>2</sub>, muy asociado a la

demanda de movilidad, y la reducción de las emisiones de NO<sub>x</sub> y PM<sub>2.5</sub>, que han bajado a la mitad, y las de SO<sub>2</sub>, que se han reducido en un 90%.

**Gráfico 5. Evolución histórica de las emisiones de contaminantes del sector transporte en España.**  
Base 1990 = 1



Fuente: MITECO (2020a)

Sin embargo, como ya hemos mencionado, estas cifras agregadas de movilidad, consumos energéticos y emisiones deben ser desagregadas por modos, usos y tecnologías del transporte, con el fin de poder facilitar un diagnóstico claro de la situación en España, así como permitir simular el impacto de políticas que afecten de distinta forma a cada uno de los modos. En el Anexo I se presentan todos los cálculos detallados. En este capítulo se presenta el resumen de dichos cálculos.

## 2.3

### Balance de consumos y de emisiones del sector del transporte en España 2017

La Tabla 1, y los gráficos derivados (Gráficos 6 y 7), resumen toda la información presentada en el Anexo I, en el cual se han desagregado los consumos de combustible, energía y emisiones de CO<sub>2</sub> para cada uno de los modos de transporte en España de acuerdo con las fuentes públicas disponibles y las estimaciones realizadas por Economics for Energy. Se presentan aquí los datos para 2017 al ser el último año para el cual se cuenta con datos desagregados suficientes.



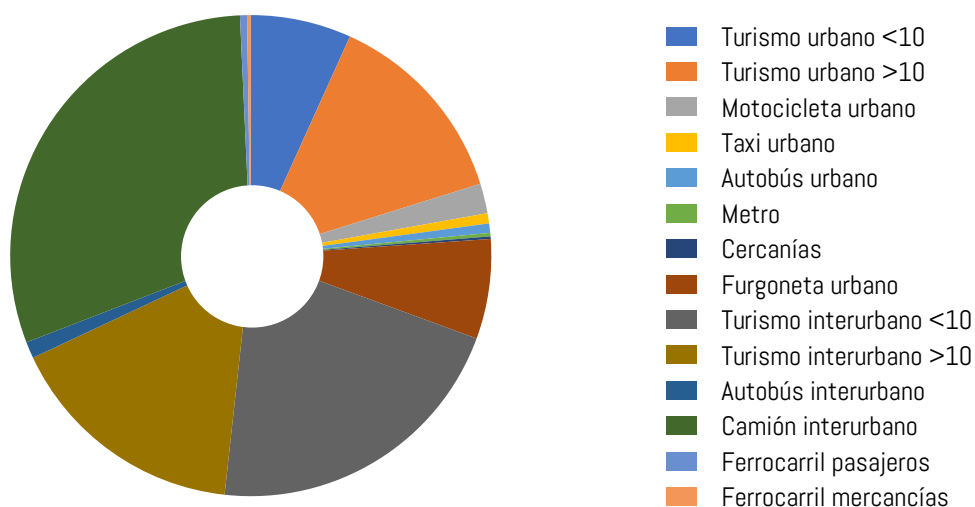
**Tabla 1. Resumen de consumos y emisiones por combustible, modo y dominio. 2017**

Combustible	Antigüedad	Vehículo	Modo	Tipo	Dominio	Consumo (mil. litros)	Consumo (PJ)	Emisiones (Mt CO <sub>2</sub> )
Gasoil	< 10 años	Turismo	Urbano	Pasajeros	Privado	1363	49.75	3.60
Gasoil	10-20 años	Turismo	Urbano	Pasajeros	Privado	2456	89.65	6.48
Gasoil	> 20 años	Turismo	Urbano	Pasajeros	Privado	289	10.54	0.76
Gasoil	< 10 años	Turismo	Interurbano	Pasajeros	Privado	4058	156.62	10.71
Gasoil	10-20 años	Turismo	Interurbano	Pasajeros	Privado	4067	156.99	10.74
Gasoil	> 20 años	Turismo	Interurbano	Pasajeros	Privado	523	20.17	1.38
Gasoil	***	Taxi	Urbano	Pasajeros	Público	193	7.48	0.49
Gasoil	***	Furgoneta	Urbano	Mercancías	***	1988	72.86	5.03
Gasoil	***	Autobús	Urbano	Pasajeros	Público	228	6.84	0.42
Gasoil	***	Autobús	Interurbano	Pasajeros	Público	310	12.00	0.79
Gasoil	***	Camión	Interurbano	Mercancías	***	8576	327.61	22.64
Gasolina	< 10 años	Turismo	Urbano	Pasajeros	Privado	670	23.79	1.70
Gasolina	10-20 años	Turismo	Urbano	Pasajeros	Privado	1152	40.89	2.91
Gasolina	> 20 años	Turismo	Urbano	Pasajeros	Privado	134	4.75	0.34
Gasolina	< 10 años	Turismo	Interurbano	Pasajeros	Privado	2000	73.01	5.06
Gasolina	10-20 años	Turismo	Interurbano	Pasajeros	Privado	1906	69.58	4.82
Gasolina	> 20 años	Turismo	Interurbano	Pasajeros	Privado	242	8.84	0.61
Gasolina	***	Taxi	Urbano	Pasajeros	Público	42	1.64	0.11
Gasolina	***	Furgoneta	Urbano	Mercancías	***	21	0.75	0.06
Gasolina	< 10 años	Motocicleta	Urbano	Pasajeros	Privado	221	7.79	0.56
Gasolina	10-20 años	Motocicleta	Urbano	Pasajeros	Privado	356	12.58	0.90
Gasolina	> 20 años	Motocicleta	Urbano	Pasajeros	Privado	39	1.39	0.10
Electricidad	***	Metro	Urbano	Pasajeros	Público	***	2.56	0.21
Electricidad	***	Cercanías	Urbano	Pasajeros	Público	***	1.86	0.15
Electricidad	***	Ferrocarril (larga distancia)	Interurbano	Pasajeros	Público	***	4.28	0.35
Electricidad	***	Ferrocarril (media distancia)	Interurbano	Pasajeros	Público	***	0.86	0.07
Electricidad	***	Ferrocarril	Interurbano	Mercancías	***	***	2.70	0.22

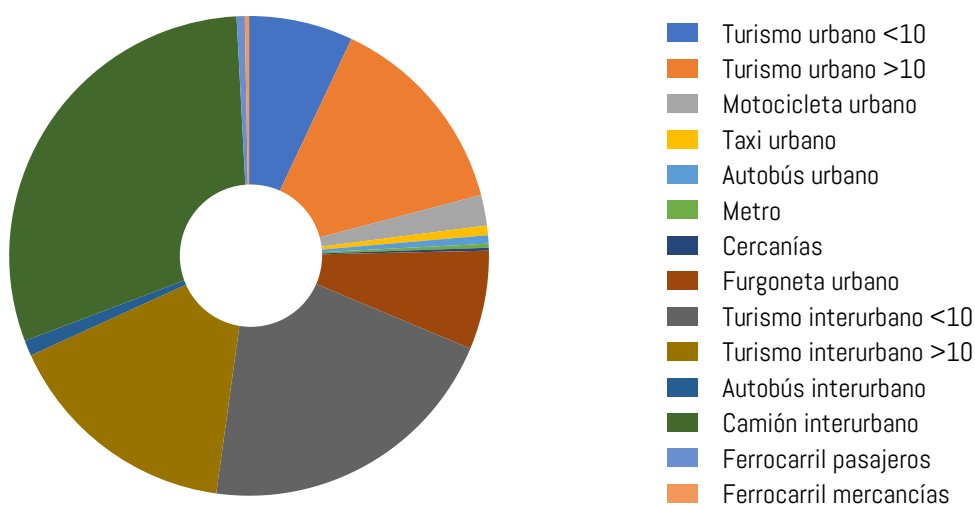
Nota: El transporte urbano incluye también el transporte metropolitano.

Fuente: Elaboración propia

Como puede observarse, hay cuatro contribuyentes fundamentales al consumo de energía y emisiones del transporte en España: el vehículo privado para uso interurbano, el camión de mercancías, el vehículo privado urbano, y las furgonetas de mercancías para uso urbano.

**Gráfico 6. Consumo energético total del transporte en España. 2017**

Fuente: Elaboración propia

**Gráfico 7. Emisiones totales de CO<sub>2</sub> del transporte en España. 2017**

Fuente: Elaboración propia

El transporte urbano representa un 35% del consumo energético y emisiones. Este hecho es muy relevante, ya que muchas de las políticas de gestión del transporte se centran en las ciudades, mientras que la gran mayoría de las emisiones provienen del transporte interurbano. Por otra parte, el transporte de pasajeros supone un 63% del total, de forma que el transporte de mercancías representa más de un tercio de las emisiones, por lo que es también imprescindible diseñar políticas para este sector particular si se quiere avanzar en la descarbonización.

Otro aspecto reseñable es la influencia de la antigüedad del parque. En el caso de los turismos para uso urbano, los vehículos más antiguos suponen más de dos tercios de todas sus emisiones, mientras que en el caso interurbano el reparto es más equilibrado, con una cuota muy similar. Ahora bien, si sumamos la contribución de todos los vehículos

con más de 10 años (tanto turismos como motocicletas), vemos que suponen un 38% del consumo de energía y de emisiones del transporte en España, lo que indica el potencial interés de las políticas focalizadas en este segmento de vehículos. Dentro de este grupo, los vehículos con más de 20 años suponen un 4% del total de consumos y emisiones.

El último paso que resta es comparar los resultados obtenidos con dos fuentes de datos de referencia. La primera es el Inventario Nacional de emisiones (MITECO, 2020a), el cual ha servido de fuente permanente de comparación a lo largo del informe. El segundo es CORES (2020), que aporta datos de consumo mensual de combustibles fósiles. Es importante dejar claro que en ningún caso se puede buscar una comparación perfecta, pues los supuestos realizados en el informe junto con las diferentes agregaciones realizadas no coinciden. El objetivo por tanto no es tanto cuadrar los consumos y las emisiones a las estadísticas oficiales cuanto asegurar que los resultados se encuentran en un rango aceptable de consonancia.

La Tabla 2 presenta la comparación entre las emisiones obtenidas para los cuatro principales tipos de vehículos que recoge el Inventario Nacional, es decir, turismos, furgonetas, camiones y motocicletas. Se observa que las emisiones totales obtenidas en el informe son menores que las que recoge el Inventario. No obstante, el descuadre no es excesivamente elevado: menos de un 2% con respecto a 2017. Por su parte, la Tabla 3 recoge la comparación entre los consumos en TJ calculados por el informe y aquellos que refleja el Inventario Nacional. En esta ocasión los resultados son muy aproximados, de forma que el desvío con respecto al 2017 es de un 1,7%.

**Tabla 2. Comparación de emisiones con el Inventario Nacional**

Referencia	Emisiones informe (Mt CO <sub>2</sub> )	Emisiones Inventario Nacional 2017 (MtCO <sub>2</sub> )
i. Coches	49,7	50,5
ii. Furgonetas	5,03	5,10
iii. Camiones y buses	23,9	24,4
iv. Motocicletas	1,56	1,59
Total	80,2	81,6

Fuente: MITECO (2020a) y elaboración propia

**Tabla 3: Comparativa de consumos con el Inventario Nacional**

Referencia	Consumo informe (PJ)	Consumo Inventario Nacional 2017 (PJ)
i. Coches	714	724
ii. Furgonetas	72,9	73,8
iii. Camiones y buses	346	354
iv. Motocicletas	21,8	22,2
Total	1150	1170

Fuente: MITECO (2020a) y elaboración propia



Finalmente, hemos querido también incorporar una última comparación con los datos de consumo de consumo de derivados de petróleo de CORES (Tabla 4). En este caso la unidad son litros de combustible y la divergencia que encontramos es un 2% sobre el total en 2017, que, de nuevo, consideramos aceptable.

**Tabla 4: Comparativa de consumos con CORES**

Referencia	Consumo informe (mill.l)	Consumo CORES 2017 (mill. l)
Subtotal gasolinas auto	6760	6940
Subtotal gasóleos auto	24100	24600
Total	30800	31500

Fuente: CORES (2020) y elaboración propia



# [ 03 ]

## El futuro del transporte terrestre

- 3.1 Tendencias globales para los vehículos privados**
- 3.2 La regulación europea para los vehículos privados**
- 3.3 El transporte de mercancías**

En las secciones anteriores ha quedado claro que los grandes responsables de los problemas del transporte son los vehículos privados convencionales, por un lado, y el transporte de mercancías, por otro. Estos deberían ser pues los modos en los que deberían concentrarse las acciones para reducir emisiones.

En este informe hemos optado por centrarnos en los vehículos privados, cuya contribución al consumo energético y emisiones es actualmente mucho mayor, y además para los que hay disponible mucha más información para efectuar las simulaciones. También comentaremos brevemente la situación para el transporte de mercancías y analizaremos las posibles implicaciones de su evolución, pero sin llegar al nivel de detalle que presentamos para los vehículos privados.

En cualquier caso, para poder construir escenarios es preciso previamente analizar cómo puede evolucionar la tecnología de ambos modos de transporte a futuro, así como la regulación (europea, en este caso). En esta sección resumimos brevemente ambos aspectos.

### 3.1 Tendencias globales para los vehículos privados

Existe un buen número de tendencias que pueden afectar al sector del transporte terrestre, y en particular al vehículo ligero, de una manera disruptiva en el futuro cercano. Las fundamentales son el cambio de vector energético hacia la electricidad, fundamentalmente por razones de impacto ambiental y de creciente competitividad en costes; la mayor conectividad, inteligencia, y conducción autónoma de los vehículos; y un cambio en las preferencias del consumidor respecto a cómo quiere desplazarse<sup>1</sup>.

Así, en distintos informes (véanse Arbib y Seba, 2017; McKinsey y Bloomberg, 2016; Deloitte, 2017; ETC, 2017; Heywood y MacKenzie, 2015) se concluye que ese conjunto de tendencias nos llevará a un futuro en el cual el transporte convergerá hacia un paradigma de *Movilidad como Servicio* (MaaS), bajo el cual los usuarios idealmente escogerán la forma de realizar la movilidad con mucha más flexibilidad, de forma conectada, automatizada y limpia, y sin que esto requiera necesariamente la propiedad de los medios de transporte. En este escenario, y según algunos autores, el vehículo de propiedad privada y los motores de combustión convencionales podrían llegar a desaparecer eventualmente. Revisemos a continuación estos elementos.

---

<sup>1</sup> Es importante señalar que, en los momentos finales de redacción de este informe, se desencadenó la pandemia del COVID-19, que evidentemente podría cambiar algunas de estas tendencias como las preferencias de los usuarios por los distintos modos de transporte o la evolución tecnológica. Sin embargo, la elevada incertidumbre que aún existe sobre estos aspectos hacía poco recomendable incorporarlos apresuradamente.



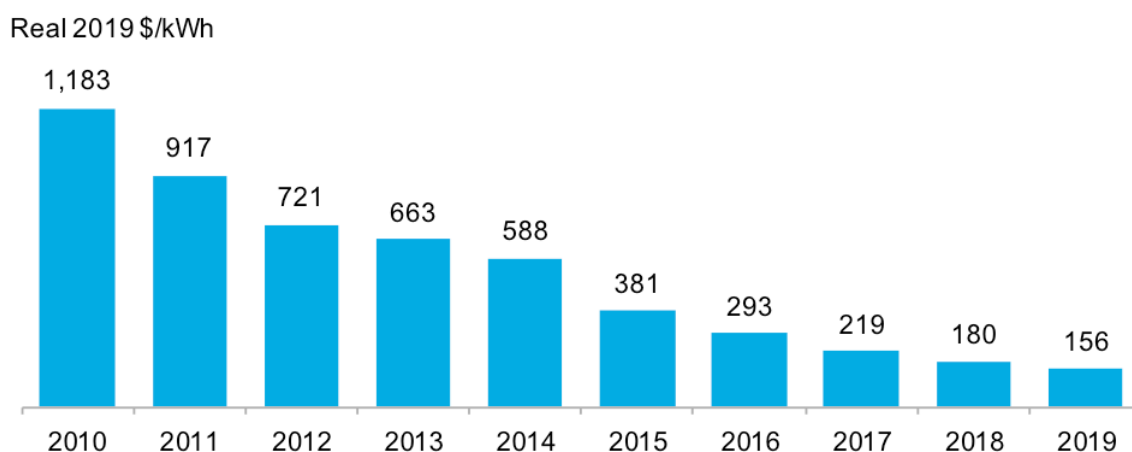
### 3.1.1. Electrificación del vehículo

La penetración del vehículo eléctrico, y su incorporación a las flotas de los distintos fabricantes, parece imparable, al menos en lo que se refiere a los vehículos ligeros<sup>2</sup>. Numerosos estudios indican que los vehículos eléctricos podrían ser competitivos con los vehículos convencionales antes de 2030 (incluso ya en 2022), dependiendo del tipo de utilización, y también, por supuesto, de la competitividad de los vehículos convencionales y de las políticas públicas.

Actualmente circulan en el mundo alrededor de 7 millones de vehículos ligeros eléctricos, con una tasa de crecimiento anual del 10% en 2019, inferior al 70% de 2018, en parte por la retirada de los subsidios en China, que representa el 57% del mercado global (BNEF, 2020).

Este avance está asociado en gran medida a la reducción en el coste de las baterías, tal como muestra el Gráfico 8. Actualmente las baterías suponen un sobrecoste para el vehículo eléctrico de unos 15.000 euros, pero si este sobrecoste no superara los 5.000-6.000 euros, el vehículo eléctrico sería competitivo en términos de coste total de operación (TCO) sin apoyos externos.

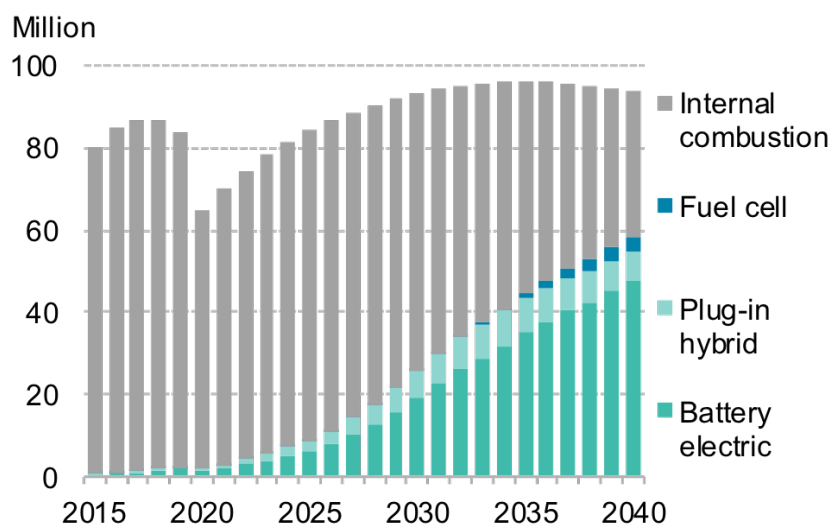
**Gráfico 8. Evolución de coste de las baterías**



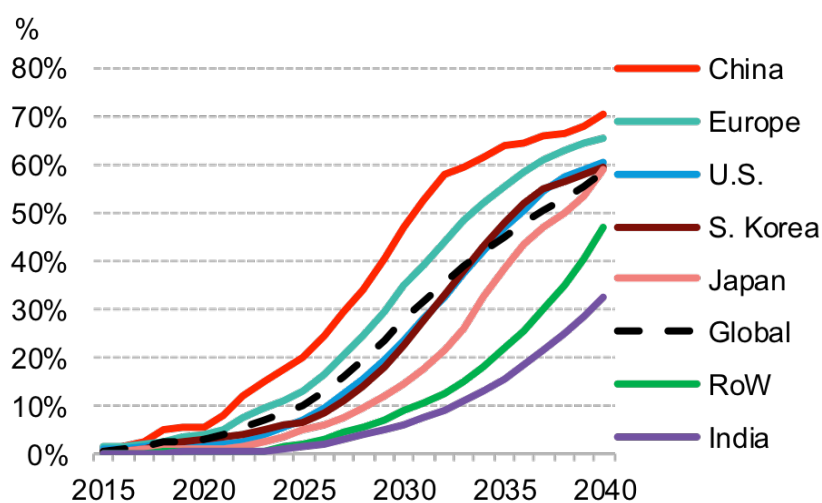
Fuente: BNEF (2020)

Así, y si la tendencia de reducción de coste de las baterías continúa (ver más abajo), lo más probable será contar con escenarios en los que las ventas de los vehículos eléctricos pasen a dominar el mercado del vehículo de pasajeros (y también de los vehículos ligeros comerciales), tal como indican las proyecciones de los Gráficos 9 y 10.

<sup>2</sup> En el caso del transporte de mercancías la necesidad de contar con una autonomía mayor plantea mayores obstáculos a la electrificación, en particular para la basada en baterías.

**Gráfico 9. Ventas de vehículos eléctricos y térmicos a nivel global**

Fuente: BNEF (2020)

**Gráfico 10. Porcentaje de ventas de vehículos eléctricos por regiones**

Fuente: BNEF (2020)

Como hemos comentado, esta senda de penetración dependerá de los usos, de la regulación, y de la competencia con los vehículos convencionales. Los usos urbanos serán probablemente los primeros en los que el vehículo eléctrico sea competitivo, fundamentalmente debido a que, en estos casos, no es necesaria una gran autonomía (y por tanto el sobrecoste de las baterías será inferior). También es esperable que la competitividad se alcance antes en los segmentos de vehículos más caros, en los que el impacto del sobrecoste de la batería es menos significativo. Así, el vehículo eléctrico podría ser competitivo en Europa en 2022 para los segmentos más caros, y en 2026 para los utilitarios (BNEF, 2020).

En este sentido, se espera que los mercados más activos sean aquellos con mayor renta (y por tanto mayor capacidad de compra), un alto número de viviendas unifamiliares (que facilitan la recarga), y un fuerte impulso por los fabricantes

domésticos. Este es el caso, por ejemplo, de Alemania, mientras que los países del Sur de Europa seguirán una senda más lenta (BNEF, 2020).

La regulación también jugará un papel muy relevante, como ya se ha podido observar en casos como Noruega o California, donde los vehículos eléctricos cuentan con numerosas ventajas fiscales o parafiscales. Por ejemplo, en Noruega los vehículos eléctricos suponen un 49% de las ventas de vehículos nuevos, aunque para lograrlo el gobierno ha desplegado unos incentivos muy cuantiosos: la exención del IVA (un 25%) y del impuesto de matriculación, la exención (total o parcial) de los peajes y tasas de aparcamiento en ciudades; y la autorización para utilizar el carril-bus. Cuando se monetizan estos incentivos, el sobre coste de la batería se ve más que compensado. En California los incentivos son inferiores, aunque también lo es el porcentaje sobre las ventas de vehículos (un 1,5%), mientras que en China o la India las ventas se han centrado en vehículos pequeños y baratos.

El caso noruego también ilustra bien cómo este tipo de incentivos pueden favorecer la compra de vehículos más caros, aunque esto depende de la renta de la población y del tipo de ayudas. Así, la mitad de las ventas de vehículos eléctricos en Noruega corresponde a vehículos de lujo (Tesla, Audi e-tron, etc.).

Por último, un factor importante es la competitividad con los vehículos convencionales, competitividad que también viene determinada en gran medida por la internalización de los costes ambientales, bien explícita o implícitamente (mediante impuestos de hidrocarburos o sobre la electricidad). De forma simplificada, esta competitividad vendrá medida por la comparación entre el sobre coste de la batería para el vehículo eléctrico y los sobre costes vía impuestos ambientales o medidas como la limitación de uso del vehículo convencional en zonas urbanas. Evidentemente, si se supone que los vehículos convencionales no mejorarán sus emisiones y consumos en el futuro, la competitividad del vehículo eléctrico llegará antes.

A este respecto, es interesante el estudio de Heywood y MacKenzie (2015), que identifica un buen número de mejoras potenciales en los vehículos convencionales e híbridos, algunas ya implantadas con carácter general y otras en modelos específicos, como los híbridos (Tabla 5).

**Tabla 5. Potencial de mejora en eficiencia de vehículos con propulsión convencional (fósil)**

Áreas de mejora para motores de gasolina	Reducción en consumo de combustible
Aumento de innovaciones recientes (e.g. VTT, DCT)	3%
Mejora lubricantes sintéticos para reducir fricción	1%
Oportunidades adicionales reducción fricción	3%
Optimización cilindros	4%
Control variable de válvulas	5%
Ratio de compresión incrementado	3%
Sistemas de refrigeración optimizado	2%
Inyección directa	2%
Operación de motor GDI: catalizadores Lean NOx	6%
Motores GDI más eficientes con turbo	8-12%
Sistema motor plus batería en híbrido	15-30%
Start/Stop (desactivación de motor cuando parado)	4%
Ratio de expansión mayor (híbridos)	3%

Nota: Las mejoras no son necesariamente acumulables.

Fuente: Heywood y MacKenzie (2015)

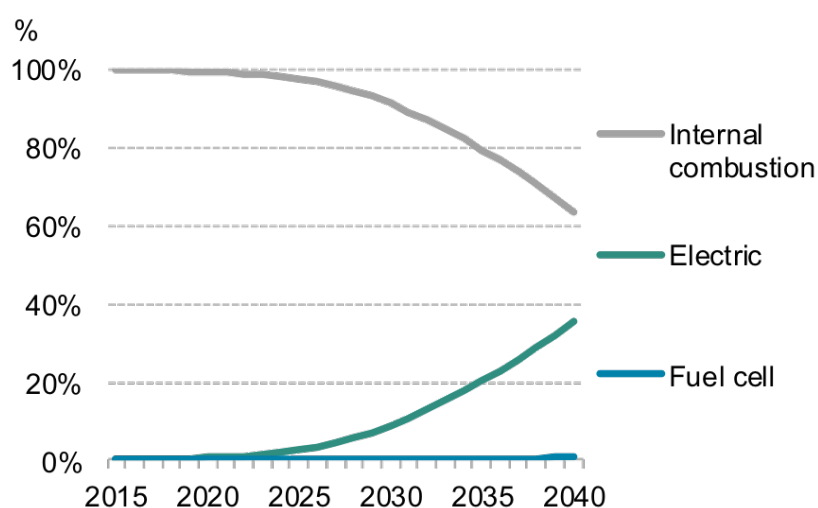


Si todas estas mejoras se trasladaran a una reducción de consumos real, el sobrecoste del vehículo convencional sería inferior, y por tanto su competitividad mayor. Ahora bien, es preciso recordar que, en general, las mejoras potenciales ya anunciadas por análisis similares (como el ya clásico *On the Road 2035*) no han resultado en mejoras absolutas en el consumo de los vehículos, sino en el aumento de su peso y prestaciones. Así, Knittel (2011), muestra que, si se hubiera mantenido constante el peso y potencia de los vehículos, se habría podido lograr una reducción de los consumos de un 60% entre 1980 y 2006. Por tanto, las mejoras tecnológicas deberían verse acompañadas de una estabilización del peso y la potencia, algo que no parece ser el caso, como bien muestra el creciente peso de los SUVs en el parque.

En los escenarios que se presentan en el informe se representarán diferentes alternativas de penetración de vehículos eléctricos en el parque de vehículos ligeros en España, bajo distintos supuestos de política y de avance tecnológico. La competitividad del vehículo convencional vendrá determinada por la regulación europea en la materia (que se describe posteriormente). Evidentemente, cuando la penetración de los vehículos (eléctricos o convencionales) se vea impulsada no por su competitividad sino por políticas específicas, deberá recogerse también el coste de las mismas en la medida de lo posible.

En cualquier caso, y como recordaremos al presentar los escenarios, es importante tener en cuenta que, incluso bajo las hipótesis más optimistas de penetración de vehículos eléctricos, esto no supone que los vehículos eléctricos dominarán la flota de vehículos ligeros, debido a la larga vida media de los vehículos convencionales. Bloomberg, no precisamente sospechoso de ser pesimista en este sentido, muestra cómo en 2040 los vehículos de combustión seguirán siendo mayoritarios en la flota, no sólo en términos de parque sino también de km recorridos (suponiendo que los vehículos eléctricos hacen más kilómetros que los convencionales, por sus menores costes operativos) (Gráfico 11). De nuevo, esto podría ser incompatible con los objetivos de descarbonización de la economía, y por tanto podría requerir regulaciones más estrictas o impulsos mayores a la electrificación.

**Gráfico 11. Porcentaje de km recorridos por vehículos eléctricos en Europa**



Fuente: BNEF (2020)

Finalmente, otro reto adicional para la penetración del vehículo eléctrico es la creación de la infraestructura de recarga eléctrica, algo fundamental para reducir la denominada *range anxiety*, esto es, la preocupación de quedarse sin batería en un lugar lejano a una estación de recarga. La creación de una red de estaciones de recarga es fundamental para una

implementación del vehículo eléctrico, aunque aún no está claro qué estructura debe tener esta red, ni la forma más adecuada de impulsarla.

A modo de ejemplo, en Deloitte (2017) se estima cuántos puntos de recarga haría falta instalar para hacer posible una implementación del vehículo eléctrico en línea con el escenario de penetración de mercado del vehículo eléctrico en España. Para ello se distingue entre 4 tipos de puntos de recarga:

- Puntos particulares: puntos de recarga situados en un garaje o vivienda privada que pueden ser utilizados por el propietario del vehículo eléctrico de modo exclusivo y permiten una recarga suficiente, para las necesidades de uso diario habitual, en 6-8 horas.
- Postes en vía pública: puntos de recarga situados en la vía pública o en lugares públicos para estacionamiento, disponibles especialmente para aquellos usuarios que no cuentan con un espacio privado para la recarga diaria y necesitan recargar su vehículo en un espacio público.
- Electrolineras semirrápidas y rápidas: puntos de recarga situados en centros comerciales o de ocio, gasolineras, garajes públicos, autopistas y autovías, zonas de alta afluencia de vehículos, etc. y diseñados para una recarga de ocasión o de emergencia. Las electrolineras rápidas consiguen recargar, con las tecnologías actuales, el 80% de la batería en 20 minutos, mientras que las semirrápidas alcanzan ese mismo nivel en 3-4 horas.
- Postes de recarga en instalaciones disponibles para flotas de vehículos: puntos destinados a la recarga de vehículos compartidos, vehículos autónomos o vehículos de transporte público.

Según Deloitte (2017), el coste de crear esa infraestructura de recarga eléctrica hasta el 2030 estaría entre 1.250 y 1.650 millones de euros.

### 3.1.2. Digitalización y Movilidad como Servicio (MaaS)

Los avances en las tecnologías de información y comunicación han sido significativos en los últimos años. La inteligencia artificial, a través de la tecnología de big data y el big data analytics, la conectividad, la capacidad de transmisión de datos y el *Internet of Things* (IoT) afectan a nuestras economías y vidas de una manera tan disruptiva que el World Economic Forum denominó esta década como la época de la cuarta revolución industrial (industria 4.0). Todas las industrias se están viendo afectadas por esas nuevas tecnologías, y el sector del transporte no es una excepción. En este caso, la digitalización afectará tanto a la conducción (mediante la automatización de la misma), como a la creación de plataformas digitales para facilitar la movilidad como servicio (conocido por su acrónimo inglés MaaS, *Mobility as a Service*).

La automatización de la conducción, en sus distintos grados, ya está convirtiéndose en una realidad. El hardware necesario ya está disponible (aunque algunos elementos son aún muy caros), y los algoritmos de reconocimiento (que son los que plantean los mayores retos) siguen avanzando. A este respecto, es importante recordar que ya existen vehículos comerciales con niveles básicos<sup>3</sup> de automatización, y que el nivel 3 parece asequible en 2020, como ya muestran algunos ejemplos como Tesla (que también ilustran sus problemas asociados). El nivel 5, que correspondería con el verdadero “vehículo autónomo”, presenta bastantes más problemas, incluida la programación de decisiones éticas.

Por otra parte, la automatización, o al menos, el intercambio de datos entre los vehículos, los usuarios, y los sistemas de control, permitirá avanzar a las plataformas de movilidad compartida, y también gestionar mejor la circulación y la

3 El nivel 1 consiste en el control de un elemento (por ejemplo, el control automático de velocidad). El nivel 2 es en el que nos encontramos en la actualidad, incluyendo por ejemplo frenada automática, o aparcamiento automático. El nivel 3 automatiza toda la conducción, pero requiere la intervención puntual del conductor. El nivel 4 no requiere conductor, pero sólo en zonas controladas. El nivel 5 se extendería a cualquier tipo de ruta.

logística. La automatización de la conducción producirá efectos significativos sobre la congestión y sobre la seguridad (al reducir drásticamente el número de accidentes). Sin embargo, las consecuencias sobre el consumo energético o las emisiones son más indirectas: la mejora de la seguridad podría reducir el peso de los vehículos y con ello su consumo, mientras que la reducción de la congestión también permite reducir el consumo, pero ninguno de estos cambios seguramente sea relevante en el horizonte considerado en este estudio (2030). Otra consecuencia indirecta de la automatización y la digitalización es que impulsa la movilidad como servicio, que también puede tener consecuencias sobre la energía o las emisiones, y que analizamos a continuación.

Como consecuencia de todas las tendencias descritas anteriormente, los informes prevén la transformación del transporte urbano hacia el transporte o movilidad como servicio. Esto supone básicamente un cambio desde la propiedad privada de los vehículos hacia el uso de vehículos compartidos, que se contratan en el momento en que se requiere el servicio (*on demand*). El producto deja de ser el vehículo físico y pasa a ser el desplazamiento de un lugar a otro. Algunos analistas, como Arbib y Seba (2017), consideran que todo el transporte urbano podría ser del tipo MaaS en 2030.

Parte del atractivo de este nuevo modelo MaaS es su coste. Arbib y Seba (2017) hacen una comparación estimada entre el coste por kilómetro-pasajero entre el vehículo privado y el desplazamiento por MaaS, y concluyen que el MaaS es mucho más económico. Aunque algunas de sus estimaciones son muy discutibles (como la imputación de los seguros, impuestos, etc.), lo cierto es que el mayor uso del vehículo compartido permite amortizarlo mucho más rápidamente y, por tanto, a igualdad de condiciones, debería suponer un coste menor por km recorrido.

Sin embargo, esta misma bajada de costes asociada al paradigma MaaS puede tener importantes consecuencias indirectas y no deseadas. Y es que, si el coste para el usuario disminuye y no se disponen otras restricciones o señales que lo contrarresten, lo lógico es que la demanda de movilidad aumente. Esto, que es positivo desde el punto de vista económico, puede tener consecuencias negativas sobre la congestión, sobre el consumo de energía o sobre el impacto ambiental. De todos modos, si el aumento de movilidad se produce con vehículos eléctricos alimentados por energías renovables, el impacto ambiental podría no ser significativo, aunque los estudios también indican que una parte significativa de la contaminación atmosférica urbana se produce simplemente por la rodadura y por el desgaste de los frenos y neumáticos, y por tanto afecta a todos los vehículos (véase AQEG, 2019)<sup>4</sup>. Las consecuencias negativas serían aún mayores si este nuevo tipo de movilidad sustituyera al transporte público, algo que ya comienza a observarse en algunas ciudades americanas o europeas (Bloomberg, 2019). Por otra parte, la movilidad como servicio puede favorecer algunos elementos positivos, ya que al elevar drásticamente la tasa de utilización de los vehículos aumenta la tasa de rotación de los mismos, y por tanto puede permitir una penetración mucho más rápida de las nuevas tecnologías (generalmente más eficientes y limpias) en este sector.

Finalmente, en esta transición hacia el paradigma MaaS también es necesario tener en cuenta el posible cambio de las preferencias de los usuarios. En este sentido, una de las tendencias más comentadas en los últimos años es el aparente menor interés de los *millennials* por poseer vehículos, o incluso por conducirlos. Un estudio de Goldman Sachs (2015) muestra cómo los *millennials* parecen darle menor importancia al vehículo que las generaciones anteriores, en las que éste era un símbolo de estatus. Este análisis puede complementarse con el realizado por Eventbrite (2017), en el que se afirma que tres cuartos de los *millennials* prefieren experiencias por encima de las cosas materiales.

Sin embargo, la influencia de estas posibles tendencias no está demasiado clara. Por una parte, el no poseer un vehículo no indica necesariamente que la movilidad se reduzca, como ya hemos comentado anteriormente: si precisamente el coste de la MaaS es inferior, podría esperarse incluso una mayor movilidad (algo que sería coherente con preferir experiencias y que también puede estar detrás del aumento espectacular del transporte por avión en los últimos años).

4 En este informe se indica que entre un 60 y un 73% de la masa de las emisiones de partículas se debe al desgaste de frenos, ruedas y pavimento, algo que puede multiplicarse por mil en el caso de las ruedas de acuerdo con mediciones reales (Emissions Analytics, 2020).

Además, Knittel y Murphy (2019) encuentran que este aparente menor interés de los *millennials* por conducir no es real, sino que se debe fundamentalmente al efecto renta creado por la recesión económica de 2008. De hecho, los autores encuentran un mayor número de kilómetros recorridos en comparación con generaciones anteriores. Sí observan un pequeño efecto (inferior al 1%) en la tasa de posesión de vehículos por hogar, algo que también puede estar causado por la mayor tasa de urbanización de estas nuevas familias. Por tanto, al menos en el horizonte de estudio considerado, no consideramos apropiado suponer cambios en la demanda de movilidad asociados a la digitalización, al paradigma MaaS, o a los cambios en las preferencias de los usuarios.

## 3.2

### La regulación europea para los vehículos privados

Como mencionábamos anteriormente, la regulación será un factor fundamental para la evolución tecnológica y la utilización del vehículo privado. Y esta regulación viene dictada fundamentalmente hasta el momento por la normativa europea, centrada en el control de las emisiones de los vehículos ya desde 1970 con la Directiva 70/220 sobre turismos, a la que se añadió la Directiva 91/542 sobre camiones, y que ha contado recientemente con un nuevo impulso en materia de descarbonización, como se describirá posteriormente.

En 1992, el Tratado de Maastricht estableció las redes europeas e integró los requisitos de protección medioambiental en la política de transportes, un desarrollo que se pretendió reforzar en el primer Libro Blanco sobre la política común de transportes, publicado por la Comisión el año siguiente. Se hizo hincapié en la importancia del principio de movilidad sostenible junto con el objetivo de abrir los mercados del transporte a la competencia.

En 1994 se aprobó la primera norma Auto-Oil, que estimaba una reducción del 90% de las emisiones en 1997 frente a las de 1970. Sin embargo, esta reducción no se pudo materializar debido al aumento del tráfico. En 1997 se aprobó Auto-Oil II, cuyo impacto sobre las emisiones de CO<sub>2</sub> era insignificante, e incluso con un pequeño aumento a nivel de refinería por la producción de combustibles avanzados.

En 2001 se publicó el Libro Blanco sobre la política europea de transportes para 2010 (Comisión Europea, 2001), que preveía un marcado cambio hacia una política de transporte más respetuosa con el medio ambiente, capaz de adaptarse al crecimiento desigual de las diversas formas de transporte, la congestión en la red de carreteras y ferrocarriles en Europa y el creciente impacto de la contaminación. En este libro se planteaba un trasvase modal hacia el ferrocarril (del 6 al 10% para pasajeros, y del 8 al 15% para mercancías), y una reducción del 25% en las emisiones de CO<sub>2</sub> de los automóviles nuevos para 2008.

En 2011 se publicó un nuevo Libro Blanco sobre transporte (Comisión Europea, 2011), basado en un informe previo que concluía que se debían hacer más esfuerzos para contrarrestar el impacto negativo del transporte en el consumo de energía y el medio ambiente. Propuso medidas como un plan para la logística del transporte de mercancías, sistemas inteligentes para hacer el transporte menos contaminante y más eficiente, y un plan para impulsar las vías navegables interiores.

Como resultado de esta evolución, y de las crecientes exigencias en materia de emisiones, los vehículos han ido reduciendo sus emisiones unitarias, de acuerdo con los protocolos de medida<sup>5</sup>. La reducción ha sido mucho más pronunciada en emisiones de NOx y partículas que en emisiones de CO<sub>2</sub>, correspondiente al nivel de exigencia de las normas Euro (implantadas desde 1992), que se aplican a los contaminantes atmosféricos y no al CO<sub>2</sub>.

<sup>5</sup> Que en ocasiones no se corresponden con las emisiones en condiciones reales.



Pero, a pesar de ello, la Comisión consideraba que todavía existían muchos retos para el transporte, especialmente en un contexto de descarbonización elevada de la economía y de emisiones de CO<sub>2</sub> crecientes, y en 2017 adoptó una estrategia a largo plazo para convertir estos desafíos en oportunidades y ofrecer una movilidad inteligente, socialmente equitativa y competitiva para 2025. Así, comenzó a publicar lo que se ha denominado “Paquete de Movilidad”, en tres partes.

El 31 de mayo de 2017 se presentó la primera parte, llamada “Europa en movimiento” (Comisión Europea, 2017b), que recoge un amplio conjunto de iniciativas que pretenden que el tráfico sea más seguro; fomentar el transporte de mercancías inteligente; reducir las emisiones de CO<sub>2</sub>, la contaminación del aire y la congestión; reducir la burocracia para las empresas; luchar contra el empleo ilícito; y garantizar las condiciones adecuadas y los tiempos de descanso para los trabajadores. Los beneficios a largo plazo de estas medidas se extenderían, según la Comisión, mucho más allá del sector del transporte, promoviendo el crecimiento y la creación de empleo, fortaleciendo la equidad social, ampliando las opciones de los consumidores y colocando firmemente a Europa en el camino hacia cero emisiones.

El 8 de noviembre de 2017, la Comisión presentó la segunda parte del paquete, centrándose en la movilidad limpia (Comisión Europea, 2017a). Esta segunda parte a su vez estaba formada por:

- Una comunicación que describe los pasos para hacer que la movilidad limpia sea una realidad. Incluye la Iniciativa de la Batería, para garantizar que los vehículos nuevos eléctricos y sus componentes se produzcan en la UE. 200 millones de euros se destinarán a investigación e innovación de baterías (además de los 150 millones de euros ya asignados).
- Un plan de acción que propone una gama de soluciones de inversión para el despliegue transeuropeo de infraestructura de combustibles alternativos.
- Un conjunto de 4 iniciativas legislativas dirigidas al transporte por carretera y combinado. Estas propuestas apuntan a fortalecer las normas de emisiones de CO<sub>2</sub> para automóviles y furgonetas nuevas a partir de 2020, promoviendo la movilidad limpia mediante compras públicas, estimulando el uso combinado de camiones, trenes y barcos para el transporte de mercancías y promoviendo el desarrollo de conexiones de autobuses para largas distancias.
- Un informe sobre la evaluación de la necesidad de revisar el Reglamento (CE) n° 1222/2009 sobre el etiquetado de los neumáticos con respecto a la eficiencia del combustible y otros parámetros esenciales.

El 17 de mayo de 2018, la Comisión presentó la parte final del paquete (Comisión Europea, 2018), apoyando una movilidad segura, limpia y conectada, que cumple con la nueva estrategia de política industrial de septiembre de 2017 y completa el proceso iniciado con la estrategia de movilidad de bajas emisiones de 2016. Todas las iniciativas contenidas en las tres partes del paquete de movilidad forman un conjunto único de políticas coherentes que abordan las múltiples facetas interconectadas del sistema de movilidad de la UE.

El tercer paquete consiste en:

- Movilidad segura: una comunicación que presenta un plan de acción estratégico sobre seguridad vial para 2020-2030. Incluye dos iniciativas legislativas sobre seguridad de vehículos y peatones y sobre gestión de seguridad de la infraestructura.
- Una comunicación sobre movilidad conectada y automatizada para promover sistemas de movilidad autónomos y seguros de la UE. Se acompaña de dos iniciativas legislativas que establecen un entorno digital para el intercambio de información en el transporte. El primero establece un entorno europeo de ventanilla única marítima y el segundo introduce un marco de un sistema de comunicación electrónica para el transporte de mercancías.

- Movilidad limpia. Iniciativas legislativas sobre normas de CO<sub>2</sub> para camiones, su aerodinámica, el etiquetado de neumáticos y la metodología común para la comparación de precios de combustibles alternativos, acompañadas de un plan de acción para baterías. Estas medidas reafirman el objetivo de la UE de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero del transporte y cumplir los compromisos del Acuerdo de París.
- Una iniciativa legislativa para racionalizar los procedimientos de avance de la red transeuropea de transporte.

En lo que respecta a las emisiones de CO<sub>2</sub>, todas estas normativas se traducen en lo siguiente:

- Las emisiones medias de la flota de coches nuevos<sup>6</sup> desde 1 de enero de 2020 tienen que ser inferiores a 95gCO<sub>2</sub>/km (147gCO<sub>2</sub>/km en el caso de vehículos comerciales ligeros).
- A partir de 2030, las emisiones deben bajar un 30% respecto a los límites de 2020, pero se medirán a través del procedimiento nuevo planteado tras el "Dieselgate", lo que se traduce a 66,5gCO<sub>2</sub>/km y 102,9gCO<sub>2</sub>/km para turismos y furgonetas, respectivamente, con el procedimiento antiguo. El procedimiento nuevo consiste en:
  - La prueba en condiciones de conducción reales (RDE).
  - La prueba "Procedimiento mundial de vehículo ligero armonizado" (WLTP).

Además de estos límites, el Reglamento UE 2019/631 establece que, a partir del 1 de enero de 2025, los vehículos de emisión cero y de baja emisión (con emisiones inferiores a 50 gCO<sub>2</sub>/km) tendrán que suponer una cuota de al menos del 15% del parque de vehículos nuevos (tanto turismos como vehículos comerciales ligeros), y en 2030 estas cuotas subirán al 35% para turismos y al 30% para vehículos comerciales ligeros. Según el consejo internacional sobre transporte limpio (ICCT, 2020b), las emisiones de los coches nuevos de la normativa europea se traducirían en los consumos mostrados en la Tabla 6.

**Tabla 6. Emisiones y consumos de los vehículos nuevos en la normativa europea**

Coches					
			gasolina	diésel	
2015	130	grCO <sub>2</sub> /km	5,6	4,9	l/100 km
2020	95		4,1	3,6	
2025	80,75*		3,5	3,0	
2030	66,5*		2,8	2,5	
Furgonetas					
			gasolina	diésel	
2017	175	grCO <sub>2</sub> /km	7,5	6,5	l/100 km
2020	147		6,3	5,5	
2025	125*		5,3	4,7	
2030	102,9*		4,4	3,8	

Nota: \*Después de 2020 los objetivos de emisiones están basados en el nuevo WLTP de 01/09/2017. Por eso en realidad los objetivos de 2025 y 2030 son de 15% y 30% por debajo de 2020.

Fuente: ICCT (2020b)

<sup>6</sup> Los fabricantes con menos de 1000 coches están exentos.

Estas emisiones pueden compararse con las emisiones medias de los vehículos vendidos en España en 2017 (Tabla 7), según la base de datos de matriculaciones de la DGT (2020) para el caso de los vehículos ligeros, y según las estimaciones propias presentadas en el capítulo 2 para los vehículos pesados. Como puede observarse, los límites para 2020 ya son muy inferiores a las emisiones reales de 2017<sup>7</sup>, por lo que su cumplimiento requerirá un importante esfuerzo<sup>8</sup>.

**Tabla 7. Emisiones medias de los vehículos vendidos en España. 2017**

Tipo de vehículo	Emisiones NEDC [g/km]	Consumo equivalente ICCT [l/100km]
Coches	115,47 (Europa 118,5)	4,61 (4,93 Gasolina y 4,33 Diésel)
Motos	80,39	3,40
Furgonetas	137,90	5,12
Autobuses	925	35
Camiones	1188	45

Nota: En el caso de las furgonetas puede parecer que las emisiones ya están por debajo del límite exigido, pero hay que recordar que las emisiones recogidas por la base de datos se miden conforme al estándar NEDC, menos exigente que el actual WLTP.

Fuente: DGT (2020), Comisión Europea (2020) y elaboración propia

En cualquier caso, los escenarios analizados en el informe permitirán evaluar las consecuencias de esta normativa sobre el parque de vehículos, en función de distintos supuestos de penetración de vehículos eléctricos o de renovación del parque de vehículos convencionales.

### 3.3 El transporte de mercancías

El análisis de la descarbonización del transporte de mercancías es más complejo que para el transporte de pasajeros, por varios motivos.

En primer lugar, las opciones tecnológicas para la descarbonización de los camiones son más limitadas. La electrificación del transporte pesado con baterías presenta más problemas en el caso de largas distancias, en las que el peso de las baterías necesarias podría ser inviable, pero no en cortas distancias, donde la electrificación de furgonetas para transporte urbano podría ser competitiva en un plazo muy breve, anterior al de los vehículos ligeros (por su mayor grado de utilización).

Otra opción sería la utilización de pilas de combustible alimentadas por hidrógeno (producido con fuentes renovables). En este caso la autonomía puede ser mayor, aunque requiere un transporte y almacenamiento seguro del hidrógeno.

La tercera opción, aunque sólo a corto plazo por sus efectos limitados, es el uso del gas natural, que permite, en los casos más optimistas, reducir hasta un 15-20% las emisiones de CO<sub>2</sub> (sin tener en cuenta el ciclo de vida del combustible, disminuyendo hasta un 7% si se tiene en cuenta) en condiciones reales, según estudios realizados por TNO (véase Transport & Environment, 2019). En este caso, sin embargo, las emisiones de NOx no son significativamente menores,

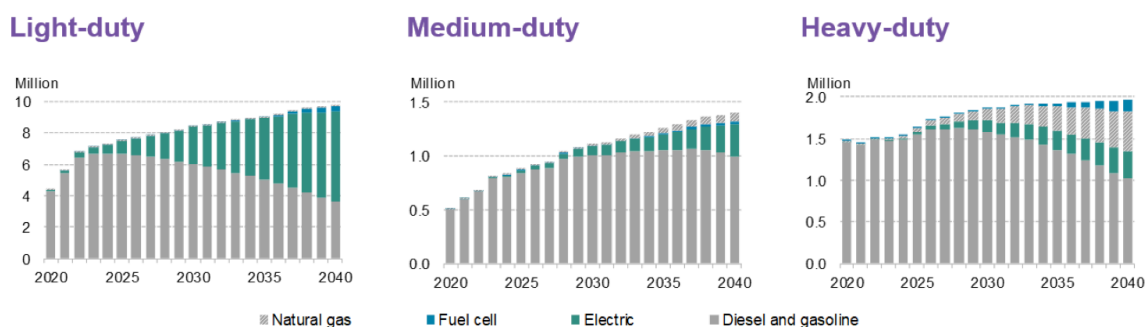
<sup>7</sup> Aunque realmente en 2020 sólo el 95% de los vehículos deben cumplir los límites establecidos.

<sup>8</sup> La multa prevista es de 95 euros por cada gramo emitido de más por cada vehículo.

de acuerdo con el mismo estudio, seguramente debido a que los vehículos diésel cuentan con catalizadores y válvulas EGR que ya las reducen en gran medida.

La viabilidad de cada una de estas opciones dependerá de su nivel de competitividad económica y de su madurez tecnológica. Los distintos análisis muestran distintos grados de optimismo respecto a las baterías o las pilas de combustible. Así, Transport & Environment (2020b) se apoya en un estudio de McKinsey (2017) para proyectar la competitividad de las furgonetas en 2021 para uso urbano y de los camiones pesados en 2029 para transporte regional y en 2031 para transporte de larga distancia. Tanto Transport & Environment (2020b) como la European Climate Foundation (2018) o ICCT (2017) apuestan por el modelo basado en baterías, en cambio, el Rocky Mountain Institute (2019) parece defender los camiones alimentados por pilas de combustible con hidrógeno verde para las distancias más largas. BNEF (2020) sintetiza estas distintas opiniones, como muestra el Gráfico 12.

**Gráfico 12. Evolución prevista de la flota de mercancías**



Fuente: BNEF (2020)

Por otro lado, las actuaciones sobre el sector del transporte de mercancías, conectado mucho más directamente con la actividad económica que el transporte de pasajeros, pueden suponer impactos más elevados en dicha actividad, y por tanto en el PIB.

En cualquier caso, el Paquete de Movilidad europeo plantea una reducción del 15% de las emisiones de CO<sub>2</sub> en los camiones para 2025, y un 30% para 2030, en ambos casos medidas sobre los niveles de 2019. En el caso de los contaminantes atmosféricos, las normativas europeas también han logrado reducciones muy significativas en las emisiones teóricas, algo menos en las reales (en especial en el paso de Euro V a Euro VI).


De acuerdo con todas estas cuestiones, y el horizonte temporal considerado en el estudio, se ha optado por representar únicamente la mejora de emisiones de los camiones convencionales a 2030, e introducir un 25% de furgonetas eléctricas para el transporte de mercancías urbano en el escenario de referencia.





# [ 04 ]

## Escenarios para el sector del transporte en España 2030

- 
- 4.1 Introducción
  - 4.2 Escenario de referencia (BAU)
  - 4.3 Escenario PNIEC (PNI)
  - 4.4 Escenario de retirada acelerada (RET)
  - 4.5 Escenario de restricciones al tráfico urbano (RTU)
  - 4.6 Comparativa de escenarios

## 4.1 Introducción

Como planteábamos en la introducción, el objetivo de este informe no es proponer políticas óptimas que permitan alcanzar una movilidad segura, competitiva y descarbonizada. Este es un ejercicio que debe dejarse al debate social, ya que todas las políticas tienen distintas y complejas consecuencias económicas, ambientales y distributivas, que deben ser valoradas en función de las preferencias sociales. El objetivo es, al igual que en otros informes previos, facilitar e informar este debate, y para ello evaluar las consecuencias económicas y en términos de descarbonización de distintos escenarios de evolución del sector del transporte en España.

Así, como primer paso imprescindible, se presenta un escenario tendencial, con el que puedan ser comparados los demás escenarios. Posteriormente, y a partir de un conjunto de supuestos explícitos, se ofrecen distintos escenarios de parque de vehículos y costes tecnológicos, que a su vez resultan en distintos niveles de emisiones y costes totales.

A este respecto, es importante señalar que, en los momentos finales de redacción de este informe, se desencadenó la pandemia COVID-19, que evidentemente podría cambiar drásticamente tanto el escenario tendencial como los demás escenarios simulados, al verse modificadas tanto la evolución económica como las preferencias de los usuarios por los distintos modos de transporte (véase Falchetta y Noussan, 2020). Sin embargo, la elevada incertidumbre que aún existe sobre estos aspectos hacía poco recomendable incorporarlos apresuradamente. Además, hay otros elementos, como los fondos de reconstrucción, que podrían actuar en dirección opuesta. Nos hemos limitado pues a introducir una sensibilidad en el escenario tendencial para valorar la posible magnitud de los impactos.

El horizonte temporal del análisis es 2030. Para 2050, la evolución tecnológica indica que, con una elevada probabilidad, la electrificación y otras posibles tecnologías descarbonizadas habrán avanzado tanto que todo el parque de vehículos ligeros, y la mayor parte de vehículos pesados, no tendrán emisiones de CO<sub>2</sub>. Aunque el transporte aéreo y el marítimo seguirán probablemente planteando retos tecnológicos relevantes, consideramos que donde es interesante nuestra aportación es precisamente en la transición hacia ese objetivo de descarbonización final, y sobre todo en lo que tiene que ver con el transporte rodado.

En consecuencia con lo apuntado anteriormente, este ejercicio no modela de forma explícita instrumentos de política, como los distintos tipos de impuestos, subvenciones o limitaciones de tráfico que se pueden aplicar al sector. Tampoco modela endógenamente la adopción del paradigma MaaS, aunque sí trata de incorporar de forma exógena, en la definición de los escenarios, las posibles consecuencias sobre la demanda de movilidad o sobre la penetración de las nuevas tecnologías<sup>1</sup> de las tendencias identificadas en el capítulo anterior.

<sup>1</sup> Por supuesto, en términos de penetración de tecnologías, también sería conveniente tener en cuenta el tiempo necesario para alcanzar el objetivo en 2050 de capacidad productiva (de vehículos, baterías, etc.). Sin embargo, este análisis está fuera del alcance del estudio.

De forma resumida, la metodología de este análisis consiste en:

- En primer lugar, partir del diagnóstico sobre el sector del transporte en España en 2017 ofrecido en secciones previas.
- En segundo lugar, realizar supuestos de evolución de la movilidad que deberán estar basados en políticas o en el comportamiento de los usuarios. En particular, hemos concentrado nuestros supuestos en la evolución de las características del parque de vehículos ligeros y también en la demanda de movilidad en los distintos modos. Esta evolución se construye de forma sencilla mediante un modelo de hoja de cálculo.
- Finalmente, introducimos las características del parque de vehículos y de demanda de movilidad en el modelo MASTER.SO desarrollado por el IIT, lo que nos permite evaluar las consecuencias de los distintos escenarios y supuestos en términos económicos y medioambientales para todo el sector energético español, algo de interés dadas las interacciones de los distintos escenarios con el sector eléctrico o del refino.

Es importante explicar que en todos los escenarios se supone el cumplimiento de la normativa europea de emisiones de CO<sub>2</sub> de la flota de vehículos nuevos. Para ello, a partir de la tasa supuesta para la renovación del parque (la histórica o desviaciones sobre la misma, explicada para cada escenario) y de la penetración de vehículos eléctricos, calculamos la tasa de emisión de los vehículos convencionales que permite cumplir con la normativa. Esto genera en ocasiones un efecto que puede ser contraproducente: cuanto mayor es la penetración de vehículos eléctricos, menos aguda es la necesidad de reducir las emisiones de los vehículos nuevos convencionales, al estar la restricción de emisiones fijada con carácter global. Es un efecto similar al que se produjo en el mercado europeo de emisiones ETS al promover la instalación de energías renovables. Esto redujo el precio del permiso de emisión, y desincentivó la mejora en otras tecnologías. Aquí esto se produce de forma aún más clara: la mayor penetración de vehículos eléctricos desincentiva directamente la mejora en los vehículos tradicionales

En el estudio se supone que los km recorridos por los vehículos privados, sean eléctricos o convencionales, son los mismos: los eléctricos realizan más km en zonas urbanas o metropolitanas, mientras que los convencionales se utilizarían más en desplazamientos interurbanos<sup>2</sup>, pero en agregado recorren los mismos km al año. Bajo estas condiciones, el efecto de la cuota global de emisiones es neutro: más vehículos eléctricos no reducirían las emisiones. Si los km reducidos por uno y otro tipo de vehículo cambiaran, entonces sí podrían modificarse las emisiones.

Pero, además, la penetración de vehículos eléctricos tiene otro efecto adicional: al hacer el supuesto de que el número de vehículos del parque es fijo, una mayor entrada de vehículos eléctricos supone una menor tasa de renovación de los vehículos convencionales, lo que sí puede suponer un ligero aumento de las emisiones cuando aumenta la cuota de vehículos eléctricos, de nuevo bajo el supuesto de que el tamaño del parque es fijo y que los vehículos hacen el mismo número de km al año.

A este respecto, es necesario recordar que la restricción de emisiones se fija en gCO<sub>2</sub>/km, y aplica a todo tipo de vehículos. Esto quiere decir que también los SUV, por los que los consumidores o los fabricantes parecen expresar preferencias en los últimos años, y que según la Agencia Internacional de la Energía están detrás de gran parte de los recientes aumentos de emisiones, están sujetos a este límite en el contexto de toda la flota. Por lo tanto, una mayor venta de SUV no podría modificar este límite global para la flota de vehículos nuevos.

---

<sup>2</sup> Existen distintos argumentos sobre el balance del kilometraje anual de los vehículos: por un lado, podría pensarse que los vehículos eléctricos deberían hacer relativamente más kilómetros, si su coste relativo es menor; por otro lado, si se utilizan predominantemente para desplazamientos cortos o como segundo vehículo, podrían hacer menos km. Dada la ausencia de datos que permitan escoger una opción u otra, hemos optado por suponer que hacen los mismos km anuales por vehículo que los convencionales.



También es importante subrayar que el supuesto que realizamos asume que los vehículos convencionales pueden reducir sus consumos hasta el nivel necesario para cumplir con la restricción global de emisiones, dada una penetración establecida de vehículos eléctricos. Como ya indicábamos en el capítulo 3, este potencial existe, siempre que no se dilapide en aumentar peso o prestaciones del vehículo. Por ejemplo, un predominio de SUVs podría hacer imposible cumplir con la reducción de consumo necesaria, que tendría que ser compensada aumentando las ventas de vehículos eléctricos por encima de la penetración prevista. Evidentemente, los intereses de los fabricantes o los posibles cambios en las preferencias de los consumidores jugarán aquí un papel muy relevante.

Por último, es conveniente señalar que en ninguno de los escenarios se incluyen posibles modificaciones al transporte de mercancías (salvo en lo que respecta a la cuota de electrificación de las furgonetas).

En el Anexo II se describe el modelo simplificado del parque de turismos y los principales parámetros generales utilizados en el modelo MASTER.SO. A continuación, se recoge la descripción detallada de los diferentes escenarios implementados.

## 4.2 Escenario de referencia (BAU)

### 4.2.1. Contexto del escenario

Los supuestos centrales del escenario tendencial son, como se ha mencionado en el epígrafe anterior, el crecimiento de la demanda de movilidad (con una elasticidad-renta de 0,2 para el transporte de pasajeros por carretera e igual al crecimiento del PIB para el transporte de mercancías), lo que supondría en 2030 una demanda de movilidad un 4% superior a la de 2017 para pasajeros, y un 21% superior para el transporte de mercancías. El avance del MaaS no supondría cambios significativos en esta demanda (al no suponerse modificaciones relevantes de los costes relativos).

Por otra parte, el escenario supone el cumplimiento de las directivas europeas sobre niveles máximos de emisiones de vehículos ligeros y pesados para vehículos nuevos, como se expuso en el epígrafe anterior. Además, el escenario incluye una senda de penetración de vehículos eléctricos de acuerdo con las estimaciones de Bloomberg para Europa, llegando a los 1,8 millones de vehículos en 2030 (ver gráfico 10). A este respecto es conveniente indicar que la normativa europea, al afectar al total de la flota de vehículos nuevos, es compatible con distintos porcentajes de penetración de vehículos eléctricos (que sí afectan a las emisiones de los vehículos convencionales nuevos).

A partir de todo lo anterior, la Tabla 8 muestra la evolución estimada del parque de turismos desagregada entre eléctricos e ICE, así como los consumos medios del total del parque y de los vehículos de combustión para el escenario BAU. Se ha supuesto que los vehículos de gasolina van aumentando progresivamente su importancia frente al diésel (partiendo de un 55% de ventas del total de ICE en 2018 al 90% en 2030). La tabla muestra, en su última columna, la evolución de las emisiones del parque de vehículos convencionales. Conviene destacar también que se supone una penetración de 1 millón de furgonetas pequeñas eléctricas en todos los escenarios (54% del parque), salvo en el PNI y sus sensibilidades correspondientes, donde esta penetración sube a 1,5 millones (80% del parque).

Este escenario supone un mantenimiento de las cuotas de los distintos modos (de nuevo, suponiendo que el avance del MaaS no afecta al transporte público), sin suponer pues trasvase entre carretera y ferrocarril, ni entre modos privados y públicos. La Tabla 9 recoge los porcentajes de distribución modal supuestos para los distintos modos de transporte que utiliza el modelo MASTER.SO, a saber, urbano (URBN), metropolitano (L50), interurbano de entre 50 y 100 km (G50), interurbano de entre 100 y 500 km (G100) e interurbano de más de 500 km (G500). En el caso urbano la distribución se basa originalmente en los datos del Observatorio Metropolitano de la Movilidad, con ajustes posteriores para su coherencia con los datos estadísticos agregados.



Tabla 8. Evolución estimada del parque de turismos en el escenario BAU

año	Parque eléctricos	Parque ICE	Consumo parque total [l/100km]	Consumo parque ICE [l/100km]
2017	37727	23470533	7,34	7,35
2018	56185	23702751	6,75	6,76
2019	80307	23678630	6,47	6,49
2020	111808	23647129	6,17	6,19
2021	152905	23606031	5,88	5,92
2022	206458	23552479	5,76	5,81
2023	276127	23482809	5,53	5,59
2024	366578	23392358	5,30	5,38
2025	483698	23275239	5,10	5,20
2026	634834	23124103	4,86	4,99
2027	829026	22929910	4,69	4,86
2028	1077187	22681749	4,36	4,56
2029	1392174	22366763	4,07	4,32
2030	1788666	21970271	3,85	4,16

Fuente: Elaboración propia

Tabla 9. Porcentajes de distribución modal en el escenario BAU

Distribución Pasajeros URBN	
Bici o a pie	45%
Autobús	8%
Cercanías	2%
Metro	2%
Motocicleta	5%
Taxi	10%
Turismo	28%
Distribución Pasajeros L50	
Autobús	15%
Cercanías	10%
Metro	2%
Motocicleta	5%
Taxi	10%
Turismo	58%
Distribución Pasajeros G50, G100 Y G500	
Autobús	8%

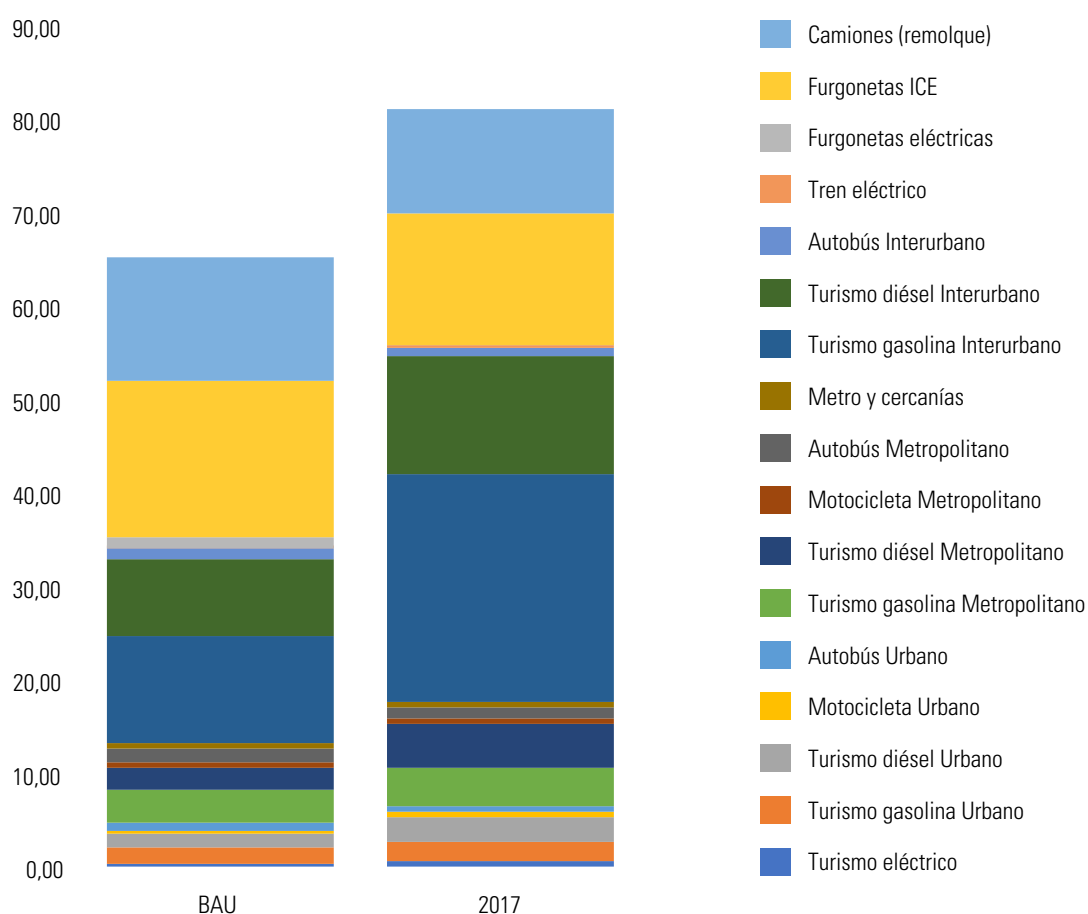
Ferrocarril (larga distancia)	5%
Ferrocarril (media distancia)	3%
Turismo	84%
<b>Distribución Mercancías URBN Y L50</b>	
Furgoneta	100%
<b>Distribución Mercancías G50, G100 Y G500</b>	
Camión	96%
Ferrocarril	4%

Fuente: Elaboración propia

### 4.1.2. Principales indicadores

Comenzamos analizando las emisiones de CO<sub>2</sub> del escenario (Gráfico 13). En términos agregados, las emisiones de CO<sub>2</sub> se reducen un 20% con respecto a 2017, incluso a pesar del crecimiento de la demanda. La reducción viene fundamentalmente de las menores emisiones de los turismos convencionales en uso interurbano.

**Gráfico 13. Comparativa de emisiones. BAU – 2017. Millones de toneladas de CO<sub>2</sub>**



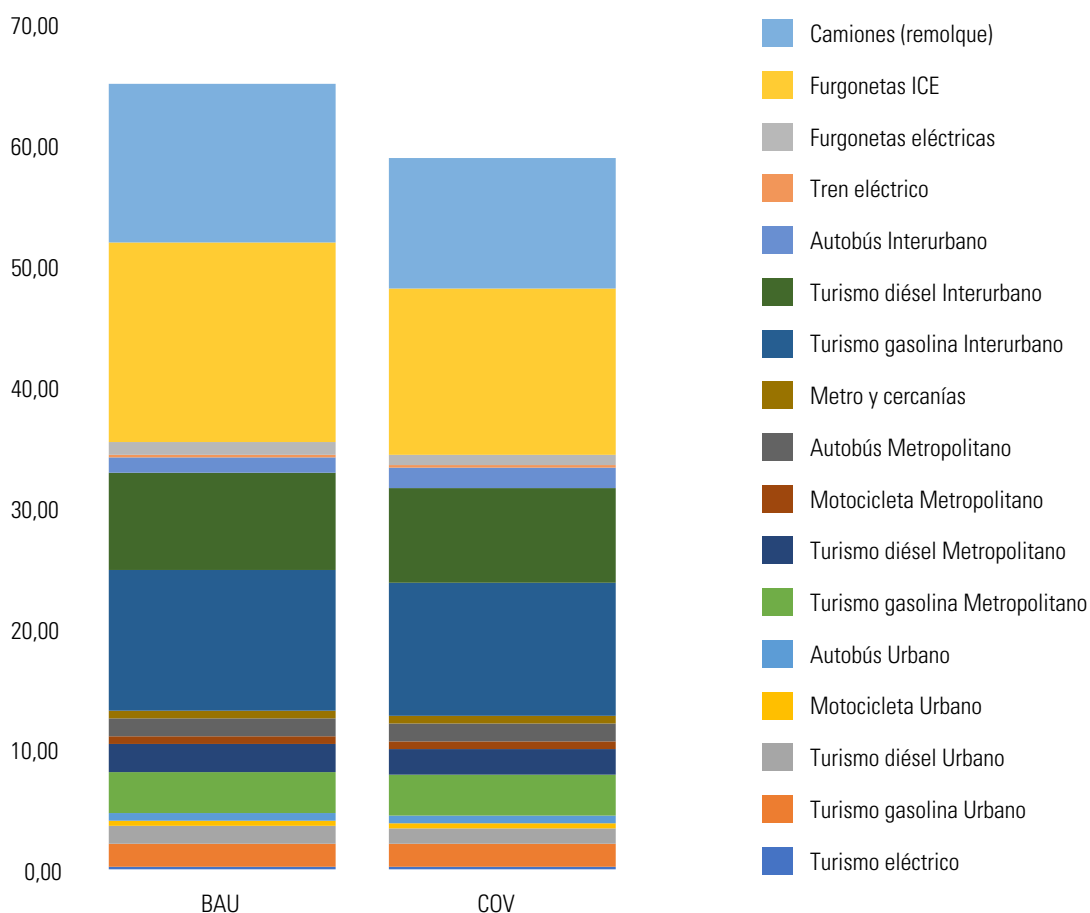
Fuente: Elaboración propia

Es importante tener en cuenta que esta comparación se realiza frente a los resultados del escenario de calibración a 2017 obtenidos con el modelo MASTER.SO. Dicho escenario es coherente con el Inventario Nacional de Emisiones, pero el nivel de desagregación de las mismas es diferente. Además, en este caso se están incorporando las emisiones indirectas<sup>3</sup> de los modos eléctricos, a saber, turismo, furgoneta, metro/cercanías y tren. Por tanto, los resultados no son directamente comparables con el inventario, donde las emisiones de generación eléctrica se presentan de forma agregada e independiente del uso final de esa energía. Además, hay alguna discordancia en la desagregación del parque de mercancías del modelo en comparación con el inventario de emisiones; esta discordancia se soluciona asimilando las furgonetas grandes a camiones de pequeño tamaño. Por lo demás, pueden existir ajustes de calibración que no suponen desviaciones significativas.

### 4.1.3. Análisis de sensibilidad

Aunque a priori, por tratarse del escenario de referencia, consideramos que no era necesario plantear ningún análisis de sensibilidad, finalmente optamos por reflejar el posible impacto que la pandemia COVID-19 puede tener en el sector a 2030. Aunque, como ya se ha mencionado previamente, la incertidumbre sobre el impacto concreto sobre la economía o sobre las preferencias sobre los distintos modos de transporte es enorme, planteamos para este escenario un crecimiento nulo del PIB en el periodo 2020-2030, asumiendo que nuestra economía precisará de toda la década para recuperar el nivel de 2019. No nos atrevemos a formular hipótesis sobre el cambio en las preferencias de los consumidores: aunque en principio sí se podría apuntar a un incremento del transporte privado frente al transporte público, esto se podría ver compensado por un aumento del teletrabajo. Con este cambio en el crecimiento estimado del PIB, y manteniendo las elasticidades-renta expuestas en el epígrafe anterior, se recalcularon las demandas y se realizó una ejecución adicional del modelo para este escenario BAU alternativo. Nos limitamos aquí a recoger los principales resultados en término de reducción de emisiones, y los comparamos con los obtenidos para el escenario BAU estándar. El Gráfico 14 muestra esta comparación.

<sup>3</sup> Por emisiones indirectas entendemos las asociadas a la producción de la electricidad necesaria. No incluimos las emisiones del refino (despreciables respecto a las directas del combustible), ni las emisiones del ciclo de vida (mucho más complejas de estimar con precisión).

**Gráfico 14. Sensibilidad BAU – COVID19. Millones de toneladas de CO<sub>2</sub>**

Fuente: Elaboración propia

El gráfico muestra con claridad la dimensión de la reducción en las emisiones con respecto al escenario de referencia. Cada modo ve reducida sus emisiones de manera proporcional, siendo el transporte de mercancías donde esta reducción es más acusada, al ser su elasticidad-renta más alta. En términos absolutos, este escenario presenta un total de 59 millones de toneladas de CO<sub>2</sub>, por los 65 del escenario de referencia, es decir, las emisiones se reducirían un 11% por el efecto de la menor actividad económica.

## 4.3

### Escenario PNIEC (PNI)

#### 4.3.1. Contexto del escenario

El segundo escenario modelado trata de incorporar todos los supuestos explícitos que se hacen en el escenario Objetivo del Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (MITECO, 2020b), pero partiendo del dato de demanda calculado en secciones anteriores. Este es un factor muy relevante, pues impide la comparación directa con los resultados planteados en el PNIEC. Nuestro propósito es representar el impacto de las políticas especificadas en el PNIEC, y no



tanto replicar sus resultados, basados en otros supuestos que no permitirían compararlos con el resto de los escenarios planteados en nuestro informe.

En cualquier caso, nos ha parecido relevante destacar que la diferencia entre la demanda estimada en este informe y la que plantea el PNIEC es pequeña. En transporte de pasajeros, el PNIEC estima en su escenario objetivo una demanda aproximada de 670 Gpkm por los 636 estimados en el presente informe; y en transporte de mercancías, el PNIEC estima 329 Gtkm por las 353 de este informe.

De esta manera, aclarada la cuestión de la demanda, los supuestos que configuran este escenario son: el 35% de cambio modal (es decir, sustitución del vehículo privado por el transporte público) para el ámbito urbano, y el porcentaje de penetración de vehículos eléctricos, que llega a los 5 millones en 2030 (3,5 millones de turismos y 1,5 millones de furgonetas), ambos valores tomados del PNIEC. Con relación al cambio modal en transporte interurbano, el escenario objetivo del PNIEC habla de un porcentaje aproximado del 1,5% anual. En nuestro caso, optamos por un valor fijo para todo el periodo (de 10 años) del 15%.

**Tabla 10. Evolución estimada del parque de turismos en el escenario PNI**

año	Parque eléctricos	Parque ICE	Consumo parque	Consumo ICE
			[l/100km]	[l/100km]
2017	37727	23470533	7,34	7,35
2018	52063	23763599	6,75	6,76
2019	77625	23738036	6,47	6,50
2020	122455	23693206	6,18	6,21
2021	198913	23616749	5,90	5,95
2022	323678	23491984	5,78	5,86
2023	514670	23300992	5,54	5,66
2024	784170	23031492	5,29	5,47
2025	1132178	22683484	5,17	5,42
2026	1546413	22269249	4,87	5,21
2027	2008955	21806706	4,68	5,11
2028	2503125	21312536	4,39	4,91
2029	3016563	20799099	4,15	4,75
2030	3541227	20274435	3,74	4,39

Fuente: Elaboración propia

La evolución del parque resultante se muestra en la Tabla 10, que también recoge los consumos medios con y sin los eléctricos. Estos dos datos son relevantes, sobre todo si los comparamos con los planteados en el escenario BAU. Mientras que el consumo medio agregado del parque se ha reducido (3,74 por 3,85 l/100km), el consumo agregado del parque de vehículos de combustión ha empeorado (4,39 por 4,34).

Esto se debe a que, aunque la penetración del vehículo eléctrico es masiva, la tasa de renovación del parque convencional no ha variado. Por lo tanto, nos encontramos con un parque de turismos con una alta penetración de eléctricos (58% en ventas y 15% de parque), que convive con un parque convencional cuya edad promedio se sitúa en los 11 años,

un dato muy cercano al de 2017. Además, la mayor penetración de vehículos eléctricos hace que se reduzca la presión sobre los vehículos convencionales para reducir sus consumos en línea con la normativa europea: como ésta se aplica sobre todo el parque de vehículos nuevos, más vehículos eléctricos suponen una menor necesidad de reducir consumos en los vehículos nuevos convencionales. Esto, como veremos luego, tiene consecuencias en términos de emisiones.

Finalmente, conviene recordar que este escenario también asume un incremento en la penetración de furgonetas eléctricas urbanas, que alcanza el millón y medio de unidades en 2030, lo que representa el 80% del parque, frente al 54% que asume el resto de escenarios principales, tal y como se indicó en la descripción del escenario BAU. En relación con el cambio modal, la Tabla 11 muestra cómo resulta teniendo en cuenta los porcentajes ya mencionados.

**Tabla 11. Porcentajes de distribución modal en el escenario PNI**

<b>Distribución Pasajeros URBN</b>	
Bici o a pie	53%
Autobús	9%
Cercanías	2%
Metro	2%
Motocicleta	5%
Taxi	10%
Turismo	19%
<b>Distribución Pasajeros L50</b>	
Autobús	26%
Cercanías	17,5%
Metro	3,5%
Motocicleta	5%
Taxi	10%
Turismo	38%
<b>Distribución Pasajeros G50, G100 Y G500</b>	
Autobús	14%
Ferrocarril (larga distancia)	9%
Ferrocarril (media distancia)	5%
Turismo	72%
<b>Distribución Mercancías URBN Y L50</b>	
Furgoneta	100%
<b>Distribución Mercancías G50, G100 Y G500</b>	
Camión	90%
Ferrocarril	10%

Fuente: Elaboración propia

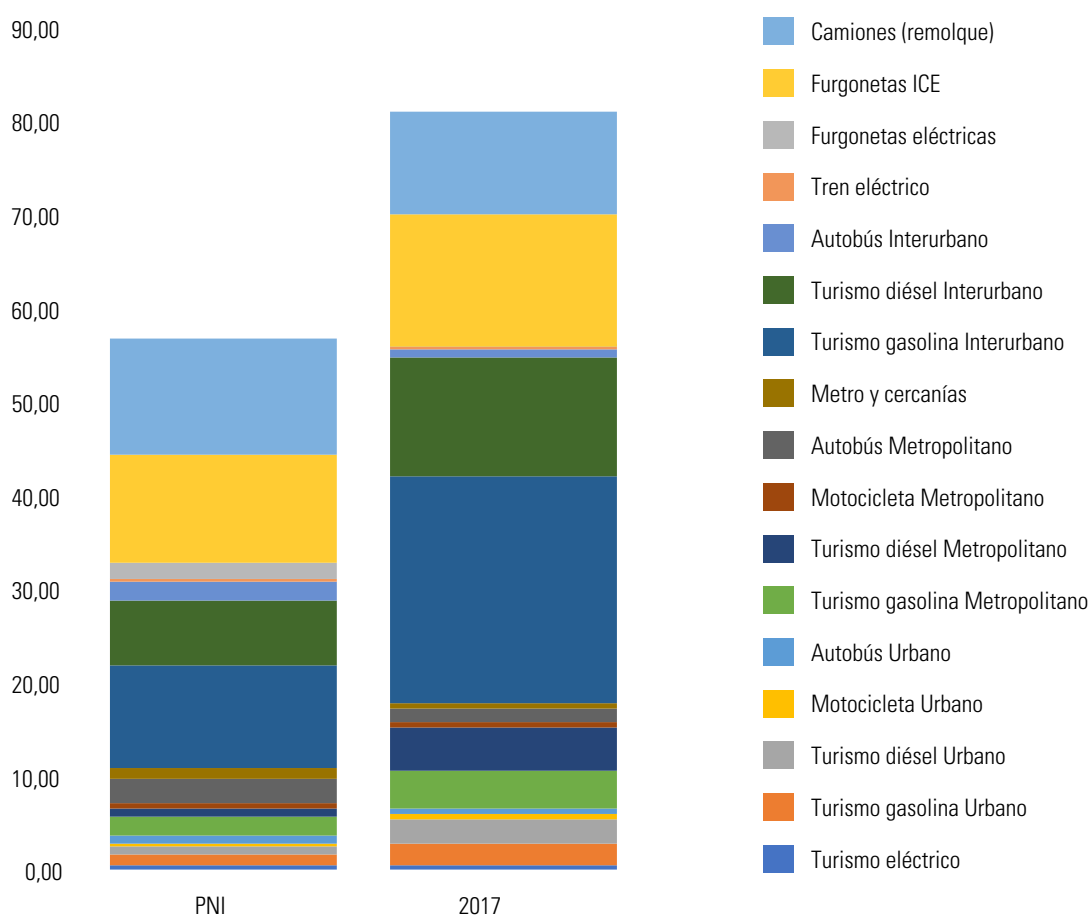
Como resultado del cambio modal hay trasvases de movilidad hacia modos de transporte de pasajeros colectivos. También se plantea un incremento significativo del transporte de mercancías por vía férrea, aunque siga siendo pequeño (10%).

### 4.3.2. Principales indicadores

Se muestra a continuación el Gráfico 15 que compara los resultados de emisiones de CO<sub>2</sub> obtenidos en este escenario frente al escenario de referencia en 2017. En términos agregados, nos encontramos con una reducción de emisiones del 29,5%.

Se observa una reducción muy significativa en todos los modos privados, destacando las emisiones de los turismos tanto diésel como gasolina en recorridos interurbanos. En transporte de mercancías el total de emisiones (incorporando las indirectas debidas a las furgonetas eléctricas) se mantiene esencialmente constante. Es decir, la mejora en la eficiencia junto con la penetración de furgonetas eléctricas solo consigue mitigar el aumento de emisiones debido al incremento de demanda.

**Gráfico 15. Comparativa de emisiones. PNI – 2017. Millones de toneladas de CO<sub>2</sub>**

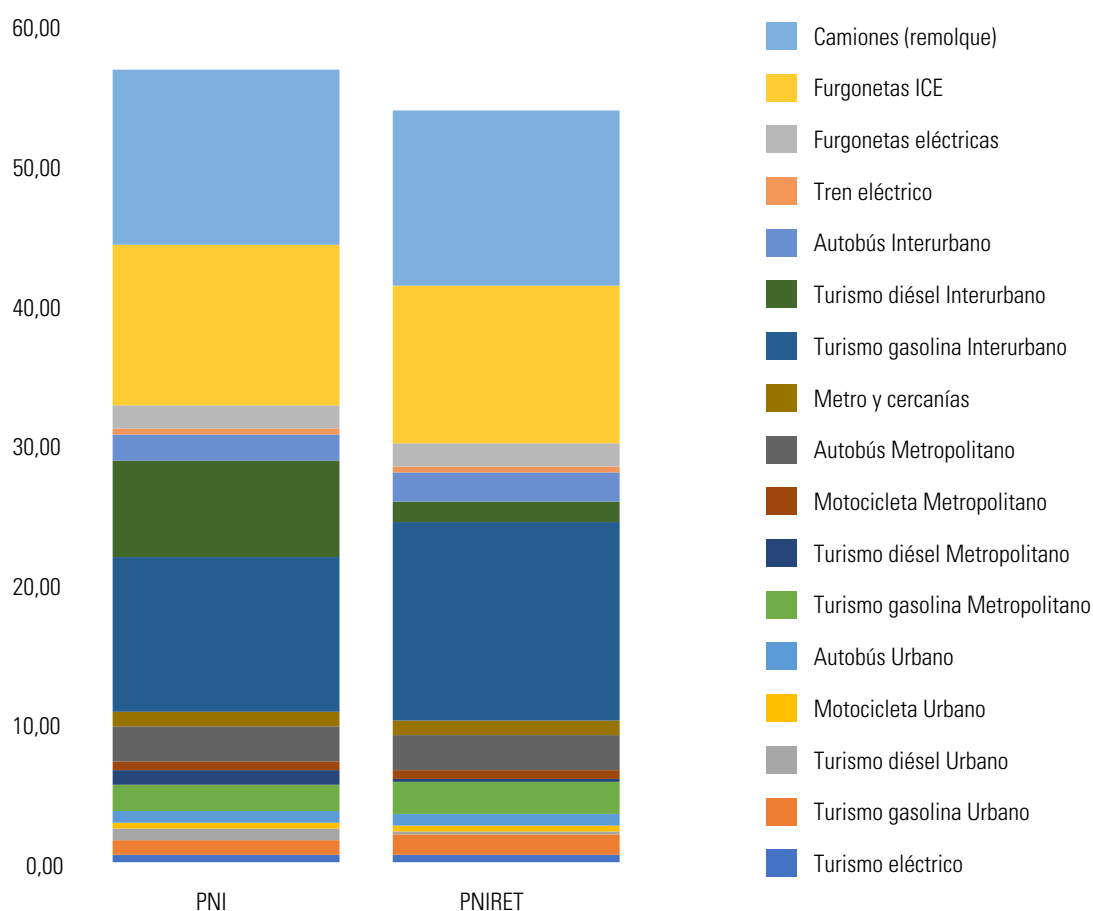


Fuente: Elaboración propia

### 4.3.3. Análisis de sensibilidad

Se ha comentado anteriormente la aparente paradoja de que en este escenario PNIEC convivan una alta penetración de vehículos eléctricos con un parque convencional más envejecido. Ante ello, planteamos una primera sensibilidad adicional en este escenario en la cual se fuerza una tasa de renovación más alta, equivalente a la del escenario de retirada agresiva (que se describe posteriormente). El resto de hipótesis se mantienen iguales. El Gráfico 16 compara las emisiones de CO<sub>2</sub> obtenidas en este escenario alternativo (PNIRET) y el PNI de referencia.

**Gráfico 16. Sensibilidad PNI – PNIRET. Millones de toneladas de CO<sub>2</sub>**



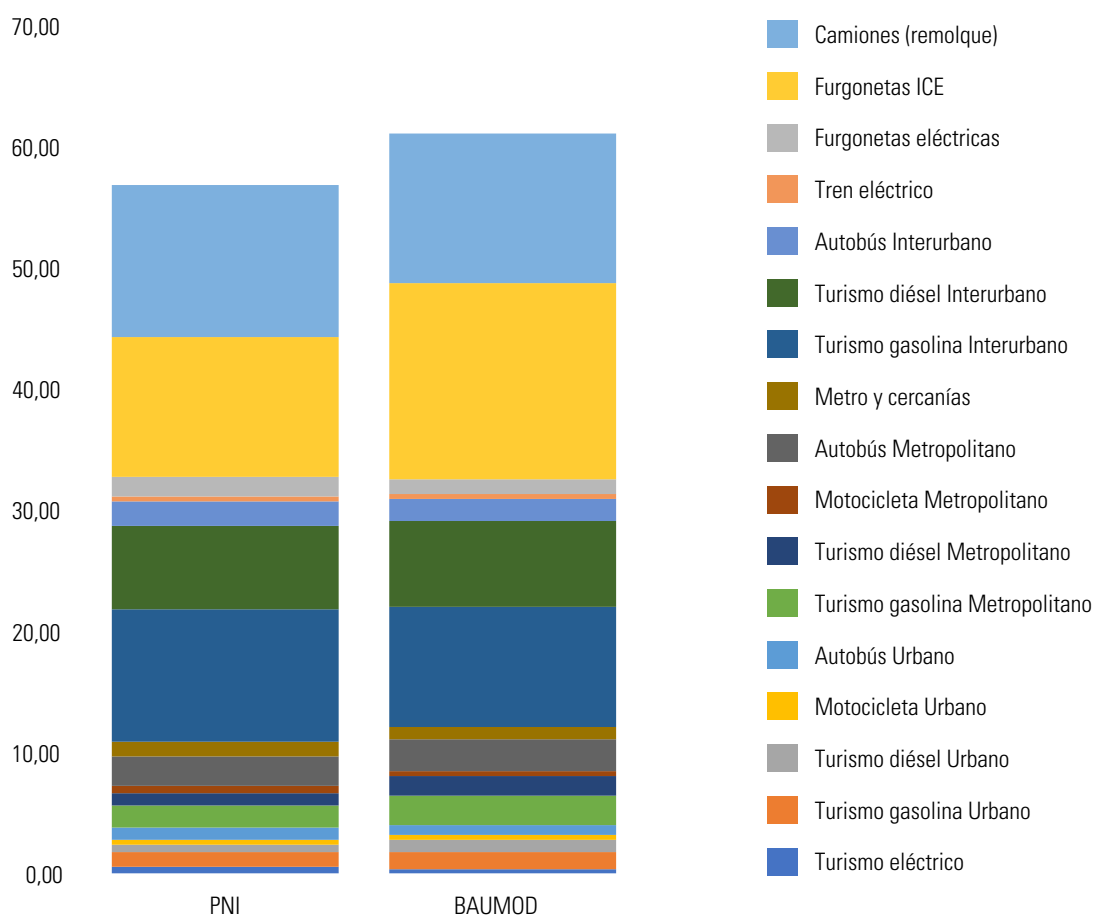
Fuente: Elaboración propia

Se observa que se produce una reducción de emisiones del 5% con respecto al PNI, que se localizan, como era de esperar, en todos los modos de turismo diésel y gasolina. Las emisiones en transporte de mercancías se mantienen constantes por definición del propio escenario.



Una segunda sensibilidad que se planteó trata de aislar los efectos de las dos políticas tan potentes que combina el PNIEC, a saber, el cambio modal y los vehículos eléctricos. Así, se evaluó qué sucedería si únicamente tuviera lugar el cambio modal, dejando la tasa de retiradas y de penetración de vehículo eléctrico como las del escenario BAU (Gráfico 17).

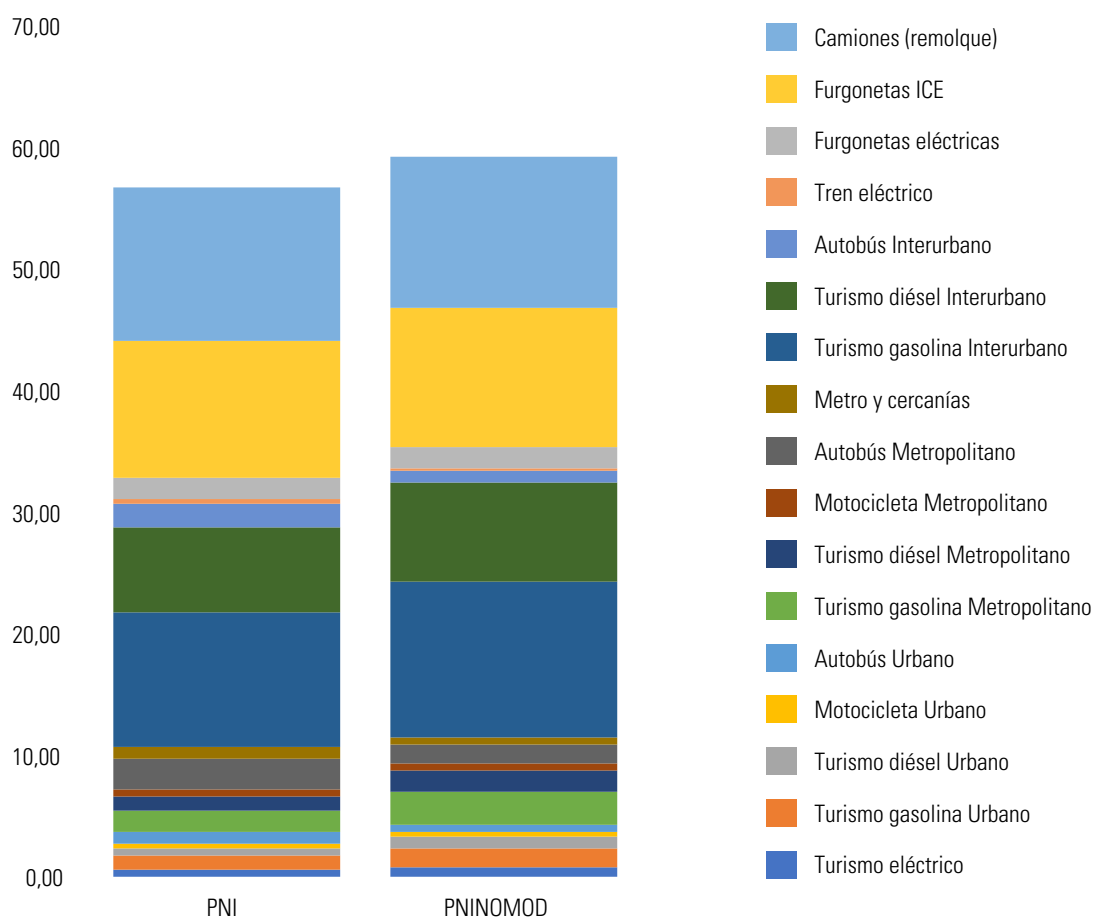
**Gráfico 17. Sensibilidad PNI –BAUMOD. Millones de toneladas de CO<sub>2</sub>**



Fuente: Elaboración propia

Se observa que este escenario (BAUMOD) empeora las emisiones del PNI, pero fundamentalmente por no considerar el mismo porcentaje de furgonetas eléctricas. Si nos centramos en el transporte de pasajeros, podemos observar que las emisiones son muy similares, algo esperable por el efecto ya comentado de la cuota global de emisiones y el impacto de los vehículos eléctricos sobre la tasa de renovación de los convencionales. Es decir, este escenario logra la misma reducción sobre el BAU que el PNI en transporte de pasajeros, pero sin cambios en la penetración de los vehículos eléctricos.

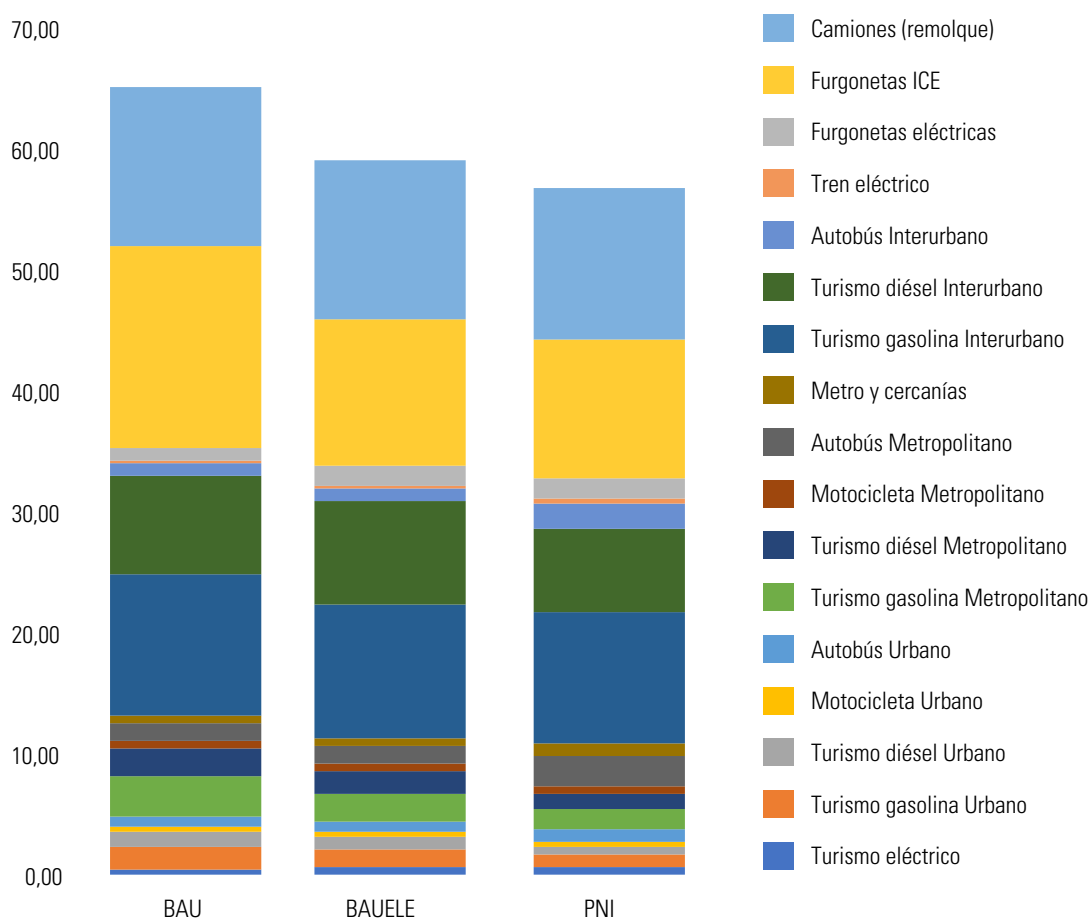
El efecto de la restricción de emisiones global se puede observar aún más claramente en la tercera sensibilidad, donde se simuló el efecto de únicamente mantener el gran despliegue de vehículos eléctricos, pero sin el cambio modal (Gráfico 18).

**Gráfico 18. Sensibilidad PNI – PNINOMOD. Millones de toneladas de CO<sub>2</sub>**

Fuente: Elaboración propia

Se puede observar en este caso que los resultados empeoran un 4% (un 10% en transporte de pasajeros) con respecto al PNI. Esto pone de manifiesto el efecto de reducción que logra el cambio modal, y también, cuando se comparan estos resultados con los de BAU, muestra el efecto limitado que supone la introducción de vehículos eléctricos cuando se combina con un objetivo global de limitación de emisiones en la flota de vehículos nuevos.

Podría resultar interesante pues tratar de separar el efecto de la penetración de los vehículos eléctricos de la restricción global de emisiones. Para ver los efectos de esta separación hemos realizado una sensibilidad más, aunque algo más compleja: hemos partido del escenario BAU, hemos fijado los consumos medios de los vehículos convencionales (para que no les afecte la mayor penetración de los vehículos eléctricos), y hemos eliminado, como en la sensibilidad anterior, el cambio modal. Con todo ello obtenemos un caso (BAUELE) en el que podemos observar de forma aislada el efecto de la mayor penetración de vehículos eléctricos (Gráfico 19).

**Gráfico 19. Sensibilidad BAU – BAUELE – PNI. Millones de toneladas de CO<sub>2</sub>**

Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar, en este escenario las emisiones de transporte de pasajeros son intermedias entre el BAU y el PNI, e inferiores en todo caso a las de PNINOMOD. Esto ayuda a entender la importancia de las distintas medidas: una mayor cuota de vehículos eléctricos, si no estuviera activa la restricción global de emisiones, ayudaría a reducir las emisiones en el transporte de pasajeros. La eliminación de la restricción global hace que la reducción de emisiones sea mayor que en el escenario PNINOMOD, en el que está activa. Sin embargo, la reducción de emisiones no es tan alta como la lograda con el cambio modal (BAUMOD).

## 4.4

**Escenario de retirada acelerada (RET)****4.4.1. Contexto del escenario**

La principal variable identificadora de este escenario es una tasa de retirada de los vehículos convencionales muy agresiva, que, de forma gradual, llevaría al parque en 2030 a presentar una edad media de los turismos que se situara algo por encima de los cuatro años. Este escenario permite representar los efectos directos de una tasa elevada de renovación, aunque no tiene en cuenta los posibles efectos sobre las emisiones del ciclo de vida (que como se ha mencionado antes no se incluyen en el análisis por la dificultad de atribuirlos dentro o fuera de España), y evidentemente supone un mayor uso de los recursos necesarios para la fabricación de los vehículos adicionales.

Esta retirada podría conseguirse de distintas formas, no incompatibles entre sí:

- Con penalizaciones a los vehículos antiguos, instrumentadas por ejemplo a través de las ITV.
- Con programas de ayuda para la compra de nuevos vehículos (convencionales más modernos y/o eléctricos).
- Con restricciones al acceso urbano (aunque esto evidentemente podría desplazar estos vehículos al tráfico interurbano).

Concretamente, el escenario plantea una retirada anual de unos 1,5 millones de coches diésel y otros tantos de gasolina. Dado que se mantiene el supuesto inicial por el cual el parque total de vehículos se mantiene constante, dichos vehículos retirados se sustituyen por otros vehículos térmicos nuevos (siendo la proporción gasolina-diésel del 90-10 en 2030) o vehículos eléctricos. Concretamente, en este escenario, se estima un parque total de vehículos eléctricos en 2030 que ronda los 2,3 millones (mayor que en el escenario tendencial, ya que la mayor retirada también supone mayores ventas de vehículos nuevos, incluido eléctricos). Como en escenarios anteriores, se sigue cumpliendo la norma europea de emisiones, por lo que la renovación no puede suponer, por definición, aumentos de emisiones, salvo en el caso improbable de que la media de vehículos que se retiran (vehículos pequeños, por ejemplo) tenga una menor tasa de emisiones que la media de la flota de vehículos nuevos.

**Tabla 12. Evolución estimada del parque de turismos en el escenario RET**

año	Parque eléctricos	Parque ICE	Consumo parque	Consumo ICE
			[l/100km]	[l/100km]
2017	37727	23470533	7,34	7,35
2018	44402	22603198	6,60	6,62
2019	54355	22593245	6,04	6,05
2020	69191	22578410	5,50	5,52
2021	91296	22556304	5,06	5,08
2022	124214	22523386	4,73	4,76
2023	173189	22474411	4,41	4,44
2024	245960	22401640	4,19	4,24
2025	353877	22293723	3,98	4,04
2026	513459	22134141	3,80	3,89



año	Parque eléctricos	Parque ICE	Consumo parque	Consumo ICE
			[l/100km]	[l/100km]
2027	748454	21899147	3,68	3,80
2028	1092399	21555202	3,54	3,72
2029	1591435	21056165	3,39	3,65
2030	2306652	20340948	3,22	3,59

Fuente: Elaboración propia

Al igual que se ha hecho con escenarios anteriores, la Tabla 12 presenta la evolución del parque de vehículos eléctricos e ICE, junto a los consumos medios estimados. Se observa que, a pesar de contar con un parque de vehículos eléctricos menor que el escenario PNI, el impacto de la retirada masiva de vehículos antiguos lleva a unos consumos medios del parque significativamente menores. Esto todavía se acentúa más si se comparan los consumos medios obtenidos para el parque convencional. En esta ocasión estos se sitúan en 3,59 l/100km por los 4,39 del escenario precedente. En relación con la distribución modal, queda recogida en la Tabla 13. Se puede apreciar que es la misma que la propuesta para el escenario BAU.

**Tabla 13. Porcentajes de distribución modal en el escenario RET**

Distribución Pasajeros URBN	
Bici o a pie	45%
Autobús	8%
Cercanías	2%
Metro	2%
Motocicleta	5%
Taxi	10%
Turismo	28%
Distribución Pasajeros L50	
Autobús	15%
Cercanías	10%
Metro	2%
Motocicleta	5%
Taxi	10%
Turismo	58%
Distribución Pasajeros G50, G100 Y G500	
Autobús	8%
Ferrocarril (larga distancia)	5%
Ferrocarril (media distancia)	3%
Turismo	84%

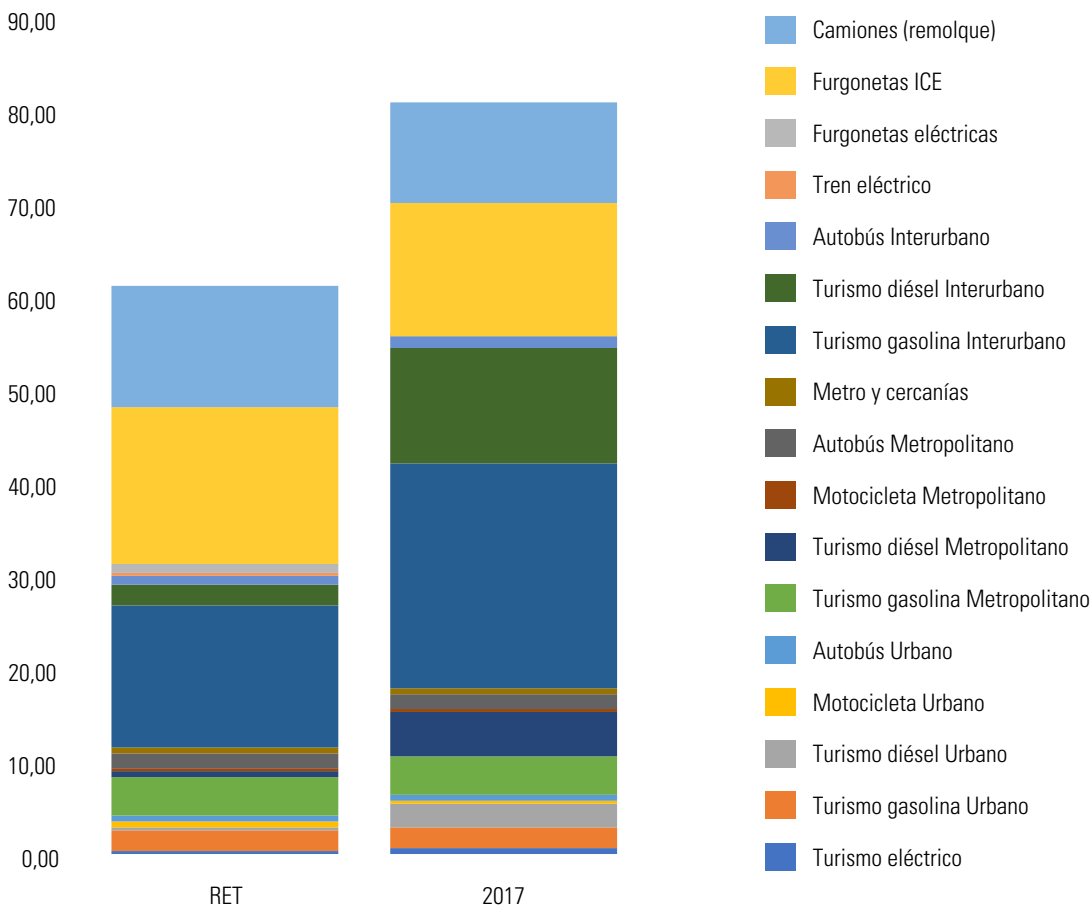
Distribución Mercancías URBN Y L50	
Furgoneta	100%
Distribución Mercancías G50, G100 Y G500	
Camión	96%
Ferrocarril	4%

Fuente: Elaboración propia

4.4.2. Principales indicadores

En relación con las emisiones de CO<sub>2</sub>, tal y como se ha hecho con los escenarios anteriores, el Gráfico 20 compara los resultados obtenidos con los del escenario de referencia a 2017.

Gráfico 20. Comparativa de emisiones. RET – 2017. Millones de toneladas de CO<sub>2</sub>



Fuente: Elaboración propia

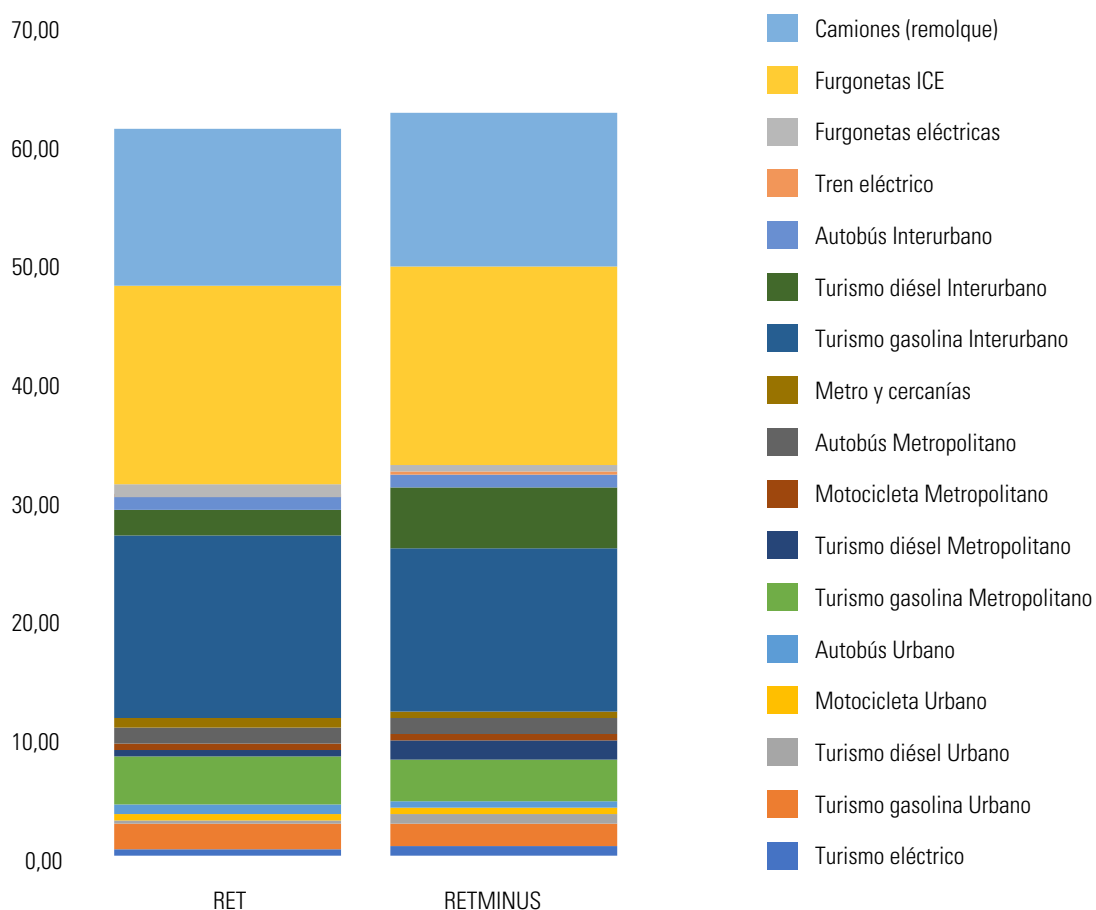
Observamos una reducción que sigue los patrones ya destacados en anteriores escenarios. En términos agregados, este escenario presenta una reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> del 24,5% con respecto al escenario de referencia en 2017. Ahora bien, de nuevo hay que señalar que en este caso las furgonetas no se han electrificado como en el

PNI. Cuando comparamos las emisiones del transporte de pasajeros se obtienen reducciones de emisiones incluso mayores que las del PNI.

#### 4.4.3. Análisis de sensibilidad

En este escenario hemos supuesto una tasa de retirada de vehículos muy agresiva, doblando la máxima histórica que se produjo en 2003. Evidentemente, puede considerarse inviable lograr una tasa de retiradas (y los posibles costes asociados) tan alta. Hemos simulado pues un escenario de retiradas en el que, a partir de 2025, la tasa de retiradas vuelve a su nivel medio histórico. Se observa (Gráfico 21) que el comportamiento es el esperado: las emisiones aumentan frente al escenario RET, concretamente un 2,5%.

**Gráfico 21. Sensibilidad RET – RETMINUS. Millones de toneladas de CO<sub>2</sub>**



Fuente: Elaboración propia

## 4.5 Escenario de restricciones al tráfico urbano (RTU)

### 4.5.1. Contexto del escenario

El último escenario pretende simular la aplicación, en todas las ciudades españolas de más de 50.000 habitantes, de las iniciativas que ya se están planteando en algunas de ellas para restringir el acceso de los vehículos a las mismas. Aunque el tipo de restricciones que simularemos podrían extenderse también al tráfico interurbano, su aplicación sería mucho más compleja (o, en el caso de los vehículos antiguos, ya estaría contemplada en el escenario anterior).

Estas medidas pueden incluir tanto restricciones de acceso a los vehículos más contaminantes, lo que incentivaría su renovación; como el establecimiento de peajes de acceso (o precios más altos de aparcamiento) que, al encarecer el transporte privado, incentivan el trasvase de usuarios al transporte colectivo. El resultado de la aplicación de estas medidas sería una mayor renovación del parque en sus usos urbanos, y también un cierto cambio modal hacia el transporte colectivo en estos ámbitos.

Estos supuestos se han reflejado concretamente en la herramienta del parque de distintas maneras. Por un lado, la penetración del vehículo eléctrico se sitúa en los 2 millones de vehículos eléctricos. En segundo lugar, la tasa de renovación del parque sigue a la planteada por el escenario del PNIEC.

**Tabla 14. Evolución estimada del parque de turismos en el escenario RTU**

año	Parque eléctricos	Parque ICE	Consumo parque	Consumo ICE
			[l/100km]	[l/100km]
2017	37727	23470533	7,34	7,35
2018	57421	23763445	6,75	6,76
2019	83291	23737575	6,48	6,50
2020	117251	23703615	6,19	6,22
2021	161789	23659077	5,91	5,95
2022	220131	23600736	6,41	6,47
2023	296436	23524430	5,56	5,63
2024	396035	23424831	5,33	5,42
2025	525701	23295165	5,13	5,24
2026	693944	23126923	4,88	5,03
2027	911306	22909560	4,71	4,90
2028	1190607	22630259	4,37	4,60
2029	1547062	22273805	4,28	4,58
2030	1998167	21822700	3,86	4,21

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 14 presenta la evolución del parque eléctrico y total, además de los consumos medios. Se observa que el escenario alcanza unos consumos medios más altos que los del escenario de retirada acelerada. Esto se debe a la tasa



menor de retiradas (al suponer que hay un efecto de desplazamiento de los vehículos antiguos al uso interurbano) que, como se ha comentado anteriormente, equivale a la del PNIEC. Esto tiene un impacto muy evidente en los consumos medios de los vehículos térmicos, que empeoran sensiblemente.

Es importante destacar en este escenario que, para reflejar el impacto de las medidas de restricción del tráfico urbano a la hora de ejecutar el modelo, se han asumido los consumos medios de turismos en ciudad iguales a los del escenario de retirada acelerada. Para el interurbano sí se han utilizado los valores de la Tabla 14.

Finalmente, el otro parámetro clave para diseñar el escenario tiene que ver con la distribución modal. La Tabla 15 muestra estos valores, que recogen los resultados de las diversas políticas de restricción de tráfico en urbano (iguales a las supuestas para el escenario PNIEC), y mantiene valores semejantes a los del escenario tendencial en interurbano y mercancías.

**Tabla 15. Porcentajes de distribución modal en el escenario RTU**

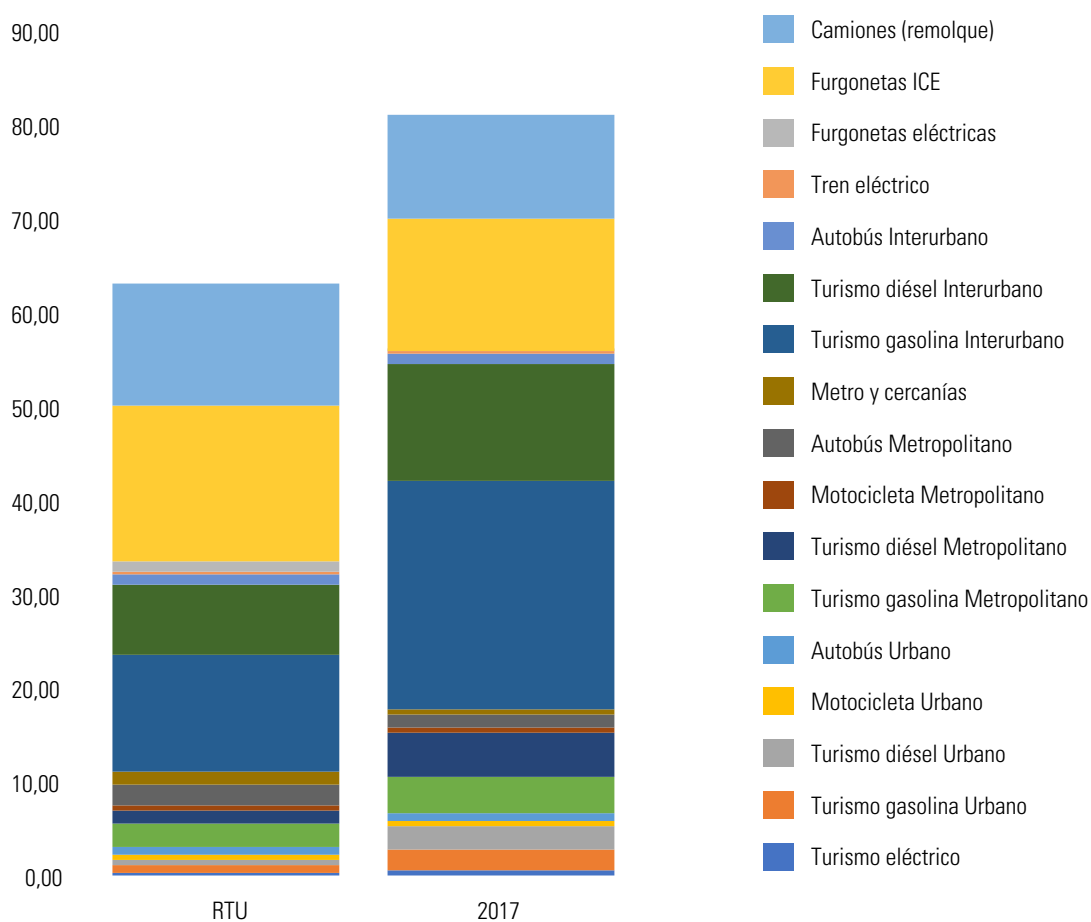
Distribución Pasajeros URBN	
Bici o a pie	50%
Autobús	10%
Cercanías	8%
Metro	8%
Motocicleta	5%
Taxi	5%
Turismo	14%
Distribución Pasajeros L50	
Autobús	25%
Cercanías	15%
Metro	5%
Motocicleta	5%
Taxi	10%
Turismo	40%
Distribución Pasajeros G50, G100 Y G500	
Autobús	8%
Ferrocarril (larga distancia)	5%
Ferrocarril (media distancia)	3%
Turismo	84%
Distribución Mercancías URBN Y L50	
Furgoneta	100%
Distribución Mercancías G50, G100 Y G500	
Camión	96%
Ferrocarril	4%

Fuente: Elaboración propia

### 4.5.2. Principales indicadores

La reducción en las emisiones de CO<sub>2</sub> que refleja este escenario se sitúan a medio camino entre el escenario BAU y el PNI. En términos agregados ronda el 22% con respecto a 2017, y se desagregan como indica el Gráfico 22. En este caso la reducción es más significativa en el ámbito urbano, pero menos en el interurbano. El transporte de mercancías presenta el mismo comportamiento ya destacado en anteriores escenarios.

**Gráfico 22. Comparativa de emisiones. RTU – 2017. Millones de toneladas de CO<sub>2</sub>**



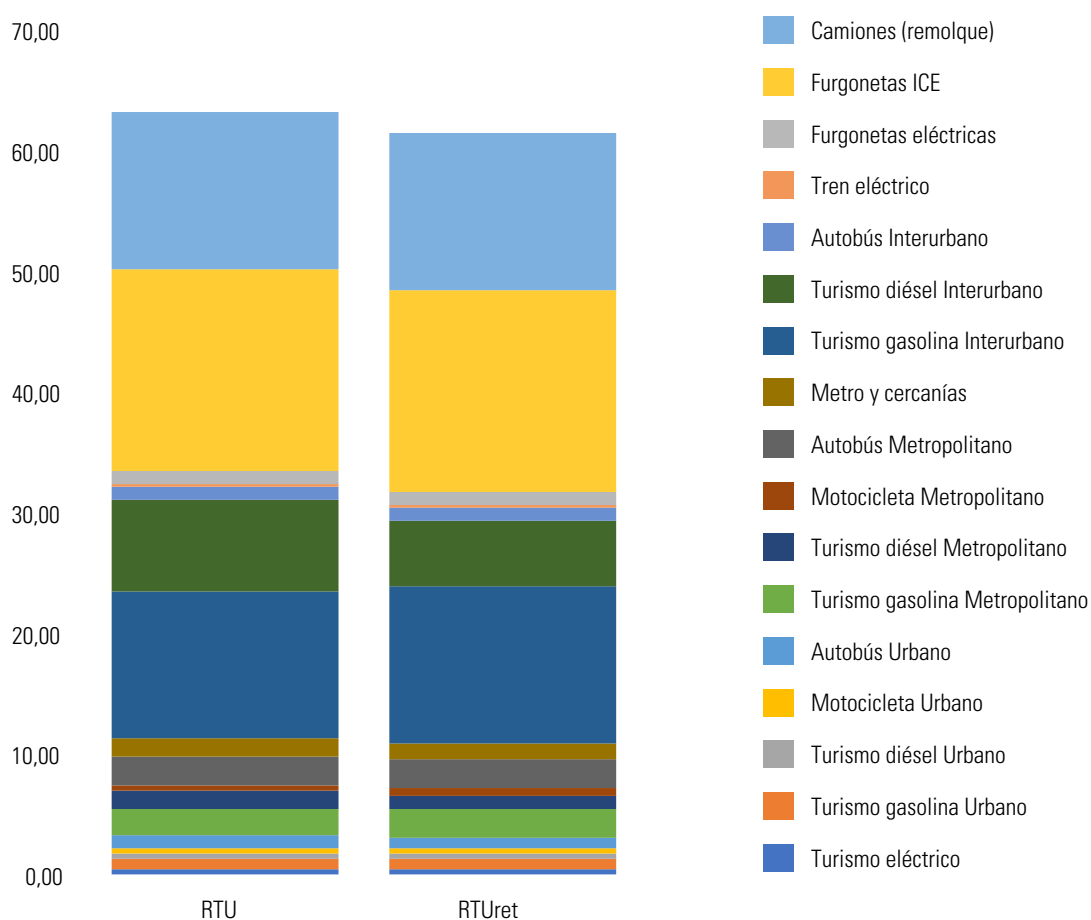
Fuente: Elaboración propia

### 4.5.3. Análisis de sensibilidad

El análisis de sensibilidad planteado en este caso consistió en proponer una tasa de renovación de vehículos mayor. Concretamente, se modeló una evolución exponencial que partía de las 800.000 unidades anuales (incluyendo diésel y gasolina) en 2018, y que llegaba a los 2,5 millones en 2030.

Así, se obtuvieron los resultados de emisiones que se muestran en el Gráfico 23, los cuales se presentan en comparación con su escenario hermano de referencia.

**Gráfico 23. Sensibilidad RTU – RTUret. Millones de toneladas de CO<sub>2</sub>**



Fuente: Elaboración propia

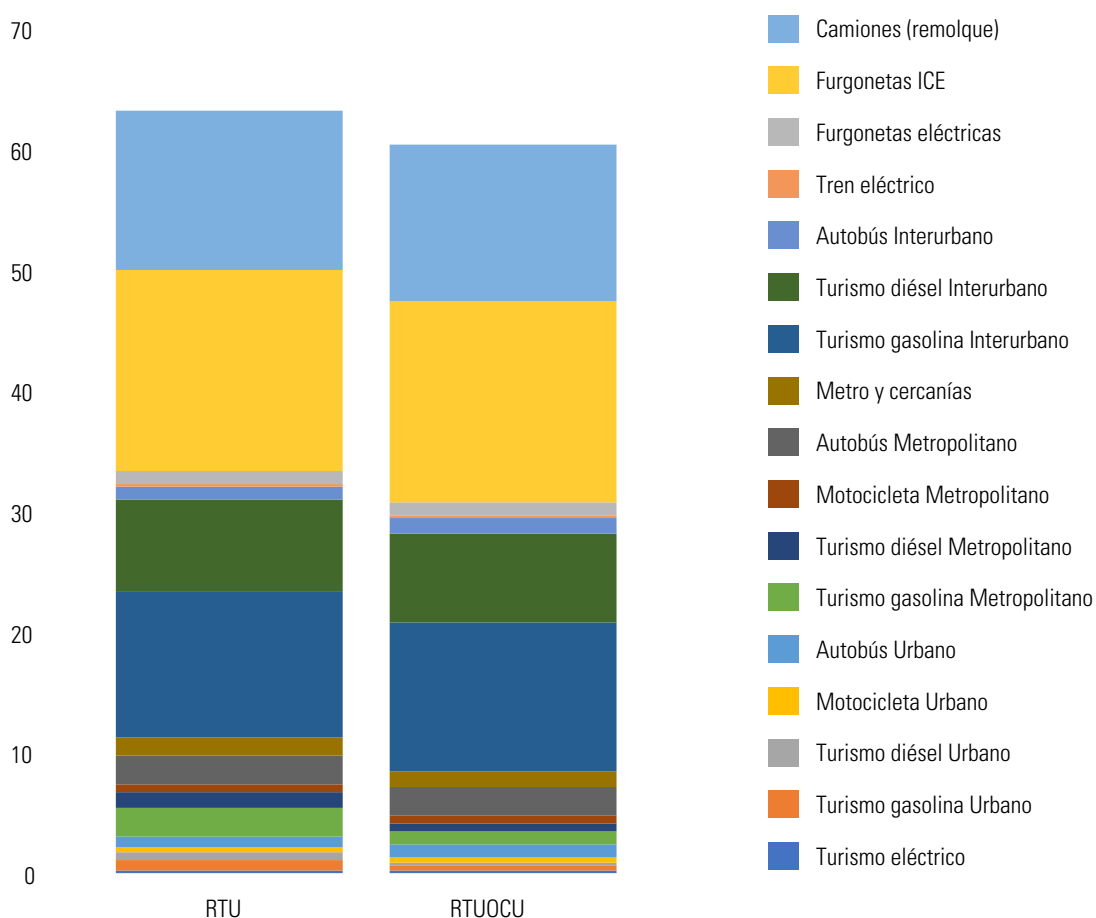
En esta ocasión sí nos encontramos con una mejora significativa. Esta modificación del escenario nos lleva a resultados de emisiones un 3% inferiores a su ejecución de referencia, un porcentaje que se concentra en el tráfico de pasajeros. Se pone por tanto de manifiesto el importante efecto que tiene sobre las emisiones finales<sup>4</sup> el facilitar una tasa de renovación del parque más acelerada, sean cuales sean el resto de las políticas propuestas.

Finalmente, también se ha realizado un análisis de sensibilidad a un parámetro de relevancia como es la tasa de ocupación de los vehículos. Se ha pasado del 1,2 del escenario tendencial a una tasa de ocupación media de 2. Esta tasa

<sup>4</sup> También hay efectos sobre emisiones de ciclo de vida y uso de recursos no contempladas en el análisis.

de ocupación se ha modificado únicamente para los entornos urbanos y metropolitanos, ya que son aquellos en los que es factible controlar la ocupación de los vehículos e incentivar un aumento de la misma (como con los carriles VAO). Como puede verse en el Gráfico 24, el aumento de la tasa de ocupación tiene un efecto también significativo, asociado a la importancia del transporte urbano en el conjunto del sector. Se logra una reducción de aproximadamente 3 MtCO<sub>2</sub> adicionales con respecto al RTU de referencia (un 4,5% menos).

**Gráfico 24. Sensibilidad RTU – RTUOCU. Millones de toneladas de CO<sub>2</sub>**



Fuente: Elaboración propia

## 4.6

### Comparativa de escenarios

En esta última sección del capítulo presentamos una comparativa entre los distintos escenarios analizados.

#### 4.6.1. Emisiones de CO<sub>2</sub>

En primer lugar, comparamos el principal indicador en el marco de la descarbonización: las emisiones de CO<sub>2</sub>. Para facilitar la lectura de los resultados, se muestra sólo el resultado para el transporte de pasajeros (urbano, metropolitano



e interurbano). Mostramos tanto los resultados de los escenarios centrales como los de algunas de las sensibilidades más interesantes (Tabla 16).

**Tabla 16. Emisiones agregadas en los distintos escenarios. Transporte de pasajeros. Millones de toneladas de CO<sub>2</sub>**

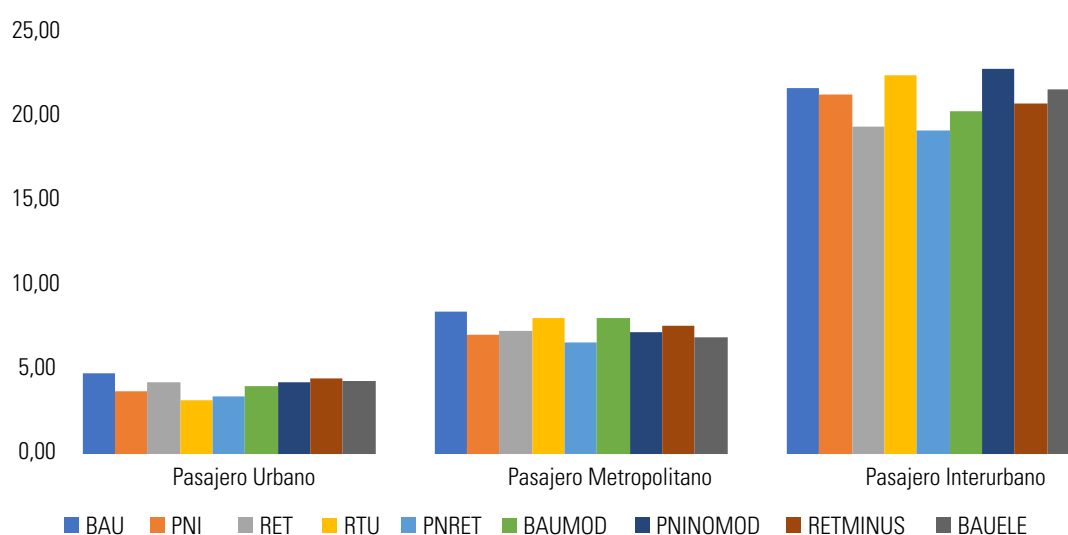
BAU	PNI	RET	RTU	PNRET	BAUMOD	PNINOMOD	RETMINUS	BAUELE
34,25	31,02	30,33	32,30	28,25	31,32	33,68	32,17	32,20

Fuente: Elaboración propia

Puede observarse cómo el escenario que logra mayores reducciones sobre el escenario de referencia es el PNRET, que combina una cuota elevada de vehículos eléctricos, el cambio modal, y la retirada acelerada de vehículos antiguos. La retirada acelerada (RET) es la medida que más emisiones reduce por sí sola, seguida del cambio modal (BAUMOD). El aumento de la penetración de vehículos eléctricos (PNINOMOD) también reduce emisiones, pero sólo lo hace de forma significativa si dicha penetración se produce de forma independiente (BAUELE), y no como consecuencia de una política de limitación de emisiones global como la planteada por la normativa europea.

Cuando el límite de emisiones es global, la reducción lograda por los vehículos eléctricos se compensa con mayores emisiones de los vehículos convencionales, por lo que, salvo que vaya acompañada de cambio modal (PNI), la reducción de emisiones que logra es limitada. Por su parte, las restricciones de tráfico urbano (RTU) logran reducir emisiones, a un nivel intermedio, algo entendible dado que el tráfico urbano sólo supone un 35% de las emisiones totales del transporte.

**Gráfico 25. Comparativa de emisiones en los distintos escenarios por zonas. Millones de toneladas de CO<sub>2</sub>**



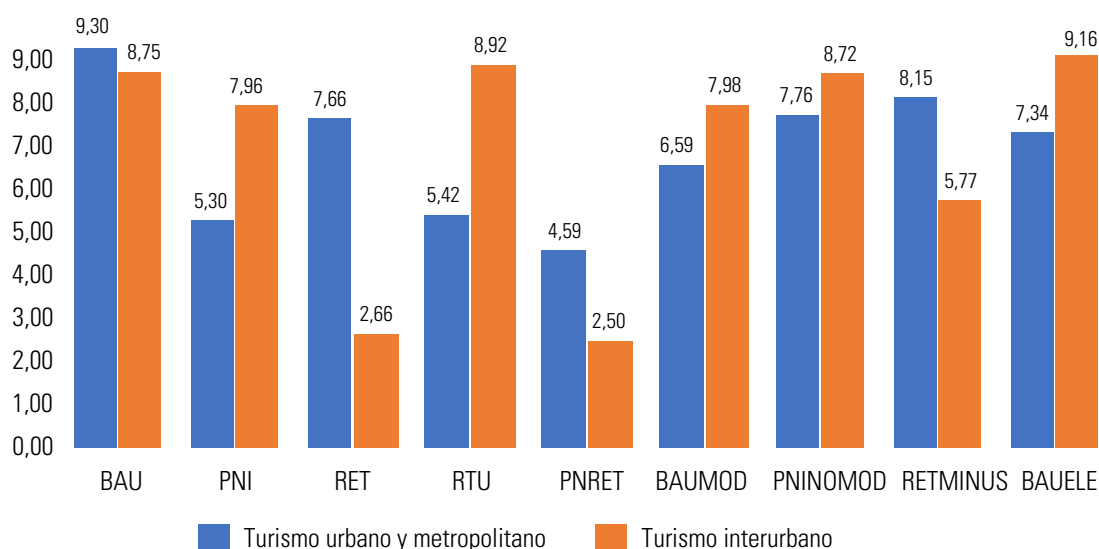
Fuente: Elaboración propia

El Gráfico 25 muestra que las diferencias no son muy acusadas, pero sí permite identificar los puntos fuertes y los puntos débiles de cada escenario y sus sensibilidades. Por ejemplo, el escenario PNI, en comparación con el RET, consigue buenos resultados en urbano y metropolitano, pero los empeora en interurbano. Esto se debe al fenómeno ya

explicado anteriormente: la penetración masiva de vehículo eléctrico en este escenario no ha venido acompañada de una renovación acompasada del parque convencional, que es el mayoritariamente utilizado en tramos interurbanos. Los resultados de las sensibilidades BAUMOD (un escenario de referencia con cambio modal) y PNINOMOD (el escenario del PNIEC sin el cambio modal) refuerzan este análisis.

Los resultados de las sensibilidades permiten entender mejor las razones de las reducciones logradas por los distintos escenarios. El cambio modal logra mejoras frente al BAU en todos los ámbitos. El PNI acentúa estas mejoras en ámbitos urbanos y metropolitanos. La retirada masiva tiene un impacto distinto al del PNI: aumentan las emisiones en urbano, pero disminuyen en interurbano. El despliegue masivo de vehículos eléctricos tiene un impacto relevante en la reducción de emisiones en el ámbito urbano y metropolitano, pero, lamentablemente, no se extiende al ámbito interurbano (o incluso va en dirección contraria, al ser el límite de consumos global<sup>5</sup>). Cuando se combinan todas las políticas (PNRET) se logra la mayor reducción de emisiones en agregado. Por su parte, el escenario de restricción del tráfico urbano, como era previsible, presenta el mejor comportamiento en su ámbito natural (el urbano), pero empeora en el interurbano, de nuevo por la menor tasa de renovación del parque en comparación con el escenario RET, lo que hace que su impacto global sea muy limitado.

**Gráfico 26. Comparativa de emisiones de los turismos en los distintos escenarios por zonas.**  
Millones de toneladas de CO<sub>2</sub>



Fuente: Elaboración propia

Adicionalmente, el Gráfico 26 compara las emisiones de los turismos en los distintos escenarios, desagregados en este caso en dos niveles: urbano-metropolitano e interurbano. Aquí lo que nos encontramos es que, de los escenarios principales, el que mejor se comporta en el ámbito de los desplazamientos de ciudad y alrededores (además evidentemente del RTU) es el escenario PNI. Dos son los principales motivos: los 3,5 millones de turismos eléctricos presentes en el mismo (que circulan preferentemente en entornos urbanos) y el cambio modal asumido. En cambio, en el entorno interurbano el que mejor resultados presenta es el de retirada acelerada. Por su parte, el análisis de sensibilidad nos

5 Si se elimina esta interacción, entonces la introducción masiva de vehículos eléctricos si logra reducciones de emisiones similares a las del PNIEC sin cambio modal.

muestra que los casos en los que menores emisiones se logran son aquellos que combinan todas las políticas (PNRET) o el cambio modal.

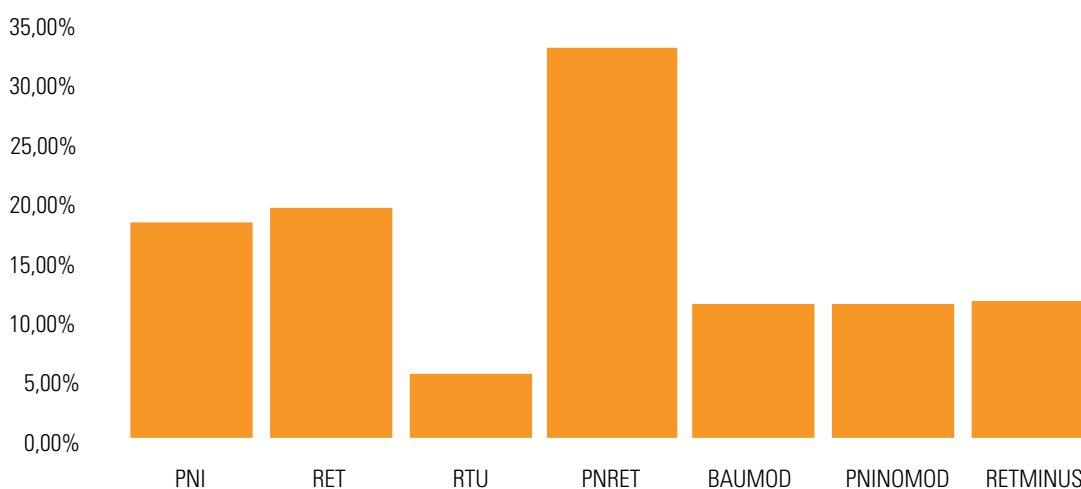
Antes de terminar esta sección, conviene recordar que esta comparativa sí incluye las emisiones indirectas de los vehículos eléctricos, pero las emisiones del refino, que rondaban los 7 Mton en los diferentes escenarios, finalmente no se han incorporado al análisis. La razón es que, realmente, la producción de las refinerías españolas, con un volumen muy elevado de exportaciones, no depende demasiado de la demanda nacional, y así el modelo variaba más estas emisiones según otros parámetros que según las variaciones del consumo de los vehículos, introduciendo pues un factor de variabilidad no controlable y que ocultaba todas las demás posibles variaciones. También recordamos que no se han considerado las emisiones de ciclo de vida (*Well to Wheel*) para ninguna de las tecnologías.

#### 4.6.2. Emisiones de NO<sub>x</sub>

En este caso, todos los escenarios han asumido una mejora importante en los factores de emisión de este contaminante gracias a la progresiva actualización del parque. En este sentido, el salto entre la normativa EuroV y EuroVI es muy radical, al menos a nivel teórico<sup>6</sup>. El factor de emisión empleado para poder medir las emisiones resultantes se ha calculado a partir de datos de la Agencia Europea de Medio Ambiente y teniendo en cuenta la antigüedad del parque en cada escenario.

Así, nos encontramos que (Gráfico 27 y Tabla 17), partiendo del escenario BAU como referencia, el escenario PNI reduce las emisiones de NO<sub>x</sub> un 18%, frente al 19,5% del RET y el 5,5% del RTU. Si incluimos los escenarios de sensibilidad, el claro vencedor es el escenario PNRET, que combina la penetración de vehículos eléctricos y el cambio del modal del PNI con la tasa de retiradas del RET. Se trata de resultados esperados, pues la mejora en emisiones en este caso depende directamente de la tasa de renovación del parque, y en ese sentido, el escenario RET es el más agresivo. Aunque no es el foco de este informe, centrado en la descarbonización, esto apuntaría al posible interés de las políticas de retirada acelerada para mejorar la calidad del aire en los núcleos urbanos, aunque esto debería evaluarse desde el punto de vista de los costes, y compararse con otras opciones.

**Gráfico 27. Reducción de emisiones de NO<sub>x</sub> en los distintos escenarios. %**



Fuente: Elaboración propia

<sup>6</sup> Incluso a pesar de fenómenos como el Dieselgate las emisiones reales de NO<sub>x</sub> de los vehículos EuroVI siguen siendo inferiores a las de los EuroV.

**Tabla 17. Reducción de emisiones de NO<sub>x</sub> en los distintos escenarios. Miles de toneladas de NO<sub>x</sub>**

PNI	RET	RTU	PNRET	BAUMOD	PNINOMOD	RETMINUS
8,74	9,3	2,6	15,71	5,4	5,42	5,5

Fuente: Elaboración propia

#### 4.6.3. Costes económicos

En este apartado se comparan los escenarios con el escenario de referencia en términos de coste económico directo. Estos costes incluyen el coste de los vehículos ligeros y el coste variable de los combustibles utilizados. No se tienen en cuenta los costes de los vehículos de mercancías ya que son iguales para todos los escenarios. Tampoco se tienen en cuenta las externalidades de las emisiones, ya que estas se utilizan, como veremos posteriormente, como factor de comparación.

La estimación de costes se realiza de una forma necesariamente aproximada, dada la cantidad de supuestos asociados, y la incertidumbre sobre muchos de los parámetros. Por tanto, debe manejarse exclusivamente como un orden de magnitud. En todo caso lo que trata de estimarse es el coste social (sin incluir externalidades), no tanto el coste privado, que no tiene por qué corresponder con el anterior.

Para los vehículos convencionales se utiliza un coste medio de 25.000 euros (el del coste del vehículo más vendido en España en la actualidad), que se considera constante a lo largo del horizonte considerado. Ese coste se minora para descontar los impuestos (aproximadamente un 25% de IVA más impuesto de matriculación). El sobrecoste imputado a los distintos escenarios será función de las distintas tasas de matriculación/renovación consideradas. Sin embargo, no tendría sentido imputar el coste total del vehículo matriculado, ya que este tendrá una vida útil no necesariamente coincidente con el horizonte temporal considerado. Consideramos más correcto imputar como sobrecoste social el asociado a la retirada prematura de los vehículos, de acuerdo con el valor residual con el que cuentan en el momento de la retirada. Una retirada acelerada supondrá pues un sobrecoste en términos de activos con valor residual pero no utilizables.

En el caso de los vehículos eléctricos, las diferencias de coste entre los escenarios vienen asociadas a la mayor o menor velocidad de penetración de estos vehículos, y al sobrecoste de las baterías con respecto al vehículo convencional. A este respecto, se parte del sobrecoste en 2020 de un vehículo eléctrico de tipo compacto (unos 12.000 euros) y se supone que la competitividad del vehículo eléctrico (para el segmento medio de vehículos) se logra en 2026. Esta competitividad se lograría con un sobrecoste de 4.000 euros<sup>7</sup>, que se deja constante hasta el final del horizonte temporal considerado. También se realiza una sensibilidad al supuesto de que el sobrecoste del vehículo eléctrico sea nulo en 2026.

En todos los casos los costes variables recogen únicamente el coste de combustible, obtenido directamente de las simulaciones del modelo MASTER.SO. El coste supuesto para gasolina y diésel es de 68 y 63 €/MWh respectivamente, mientras que para la electricidad es de 42 €/MWh (su coste, endógeno al modelo, no varía entre escenarios). En este último caso se considera que el coste social es únicamente el asociado a la generación de la electricidad necesaria, y que el resto de costes del sistema no sufren incrementos.

Tanto los sobrecostes de inversión como los variables se anualizan sin aplicar ninguna tasa de descuento, de nuevo para no complicar innecesariamente este análisis ya aproximado de por sí. En la Tabla 18 se muestran los sobrecostes obtenidos para cada escenario en comparación con el de referencia.

<sup>7</sup> Calvillo y Turner (2020) estiman un sobrecoste de 7.000 euros en 2030, y de 4.000 euros en 2050.



Tabla 18. Costes en los distintos escenarios

Coste fijo (M€)	BAU	PNI	RET	RTU	PNRET	BAUMOD	PNINOMOD	RETMINUS	BAUELE
ELE	8321	17335	9985	9283	17335	8321	17335	9985	17335
ICE	1787	1882	135534	2381	142683	1787	1882	40950	1787
Total	10108	19217	145519	11664	160018	10108	19217	50935	19122
Coste variable (M€)	BAU	PNI	RET	RTU	PNRET	BAUMOD	PNINOMOD	RETMINUS	BAUELE
Diésel	2348	1755	573	1912	439	1915	2151	1609	2267
Gasolina	3589	2967	4628	3301	3763	2928	3637	3880	3162
Eléctrico	28	37	37	15	39	19	54	37	54
Total	5965	4759	5238	5228	4241	4862	5843	5525	5483

Fuente: Elaboración propia

Es interesante además poner estos costes en contexto del objetivo inicial, como es la descarbonización, para que pueda compararse el coste-eficiencia de cada escenario de cara a dicho objetivo. La Tabla 19 muestra, de nuevo de forma aproximada, el coste implícito de reducción de emisiones de cada escenario en comparación con el de referencia, dividiendo el sobre coste anual por la reducción de emisiones relativa lograda en 2030.

Tabla 19. Coste implícito de reducción de emisiones de cada escenario

SOBRECOSTES	PNI	RET	RTU	PNRET	BAUMOD	PNINOMOD	RETMINUS	BAUELE
Fijo (anualizado) (M€)	828	12310	141	13628	0	828	3712	819
Variable (M€)	-1206	-726	-736	-1724	-1103	-122	-439	-481
Reducción Emisiones (MtonCO <sub>2</sub> )	3,23	3,92	1,95	6,00	2,93	0,57	2,08	2,05
Coste abatimiento (€/tonCO <sub>2</sub> )	-117	2955	-306	1983	-377	1240	1572	165

Fuente: Elaboración propia

Como puede observarse, el escenario que presenta menores costes por tonelada evitada (de hecho, costes negativos) es el de restricción de tráfico urbano, que combina estrategias de cambio modal a nivel urbano y penetración de vehículos eléctricos en este ámbito.

También el escenario que sólo tiene en cuenta el cambio modal presenta costes negativos, más negativos incluso que los del escenario de restricción de tráfico urbano, por su mayor volumen de cambio modal (que ahora afecta también al transporte interurbano) y menores costes de renovación. El escenario basado en el PNIEC muestra unos costes también negativos de -117 €/tCO<sub>2</sub> evitada, lo que subraya la eficiencia global en costes de dicho escenario.

Ahora bien, es preciso recordar que el PNIEC engloba dos tipos de medidas, penetración de vehículos eléctricos y cambio modal. La introducción de vehículos eléctricos por si misma, y en el contexto de la normativa europea de control de emisiones de CO<sub>2</sub>, tiene un coste de abatimiento de 1240 €/t evitada. Es el cambio modal, con su gran

eficiencia en coste, el que logra mejorar la eficiencia global del PNIEC, y por tanto la clave para que el plan en conjunto sea rentable.

La otra opción que existiría para mantener este conjunto de medidas en un rango de rentabilidad razonable sería evitar que las mejoras de emisiones logradas por la penetración de vehículos eléctricos se compensaran con más emisiones de los vehículos convencionales (que es, como hemos mencionado antes, lo que hace la normativa europea). En este caso, el coste de la introducción de vehículos eléctricos se reduciría hasta los 165 €/t de CO<sub>2</sub> evitada: superior a los precios actuales del CO<sub>2</sub>, pero quizá asumibles en un contexto de mejora tecnológica. De hecho, si el sobrecoste del vehículo eléctrico se hiciera nulo en 2026, como indican algunos estudios, entonces el coste por t de CO<sub>2</sub> evitada sería incluso negativo (-31 €/tCO<sub>2</sub>).

En cambio, el resto de escenarios presentan unos costes de reducción bastante elevados, de hasta dos órdenes de magnitud superiores al que se estima para el precio del CO<sub>2</sub> en los mercados de emisiones para la próxima década. De ellos, el escenario que considera en exclusiva la retirada acelerada de vehículos convencionales es el que muestra los costes más elevados, de casi 3.000 €/tCO<sub>2</sub>. Cuando reducimos la tasa de renovación de vehículos (que, recordemos, era muy agresiva) el coste se mitiga, aunque sigue por encima de los 1.500 €/tCO<sub>2</sub>.

Hay dos razones que explican el elevado coste en términos de descarbonización de la retirada acelerada de vehículos:

- En primer lugar, el coste debido a la pérdida de valor residual es muy alto. Aunque el escenario de retirada es el que logra la mayor reducción de emisiones, requiere una transformación muy grande del parque.
- Cuando se acelera la tasa de retirada y se mantiene en el tiempo, los vehículos retirados son todavía modernos, y por tanto el valor residual perdido es elevado.

Las distintas sensibilidades también ilustran sobre las medidas particulares más interesantes desde el punto de vista de su rentabilidad ambiental: cuando al escenario basado en el PNIEC se le elimina el cambio modal, resultan unas emisiones poco mejores que las del escenario de referencia. Esto se debe, como ya se ha explicado, a que al penetrar masivamente los vehículos eléctricos (que se utilizan fundamentalmente en el entorno urbano), los vehículos convencionales no deben mejorar tanto su consumo y emisiones, empeorando con respecto a otros escenarios. Si a esto le sumamos una tasa de renovación de vehículos convencionales menor (por el supuesto de parque fijo), obtenemos unas emisiones muy similares al del escenario de referencia.

En cambio, cuando aislamos la medida de cambio modal, que, al no variar las tasas de renovación o de penetración del vehículo eléctrico con respecto a la referencia, no tiene sobrecoste asociado, encontramos costes de abatimiento negativos: es decir, el ahorro de emisiones se acompaña de un ahorro económico (aunque aquí no se incluye la pérdida de confort, o incluso el mayor tiempo de desplazamiento, al utilizar más transporte público). Esta medida logra además una reducción de emisiones muy elevada. Esto confirma el interés de las medidas que tratan de limitar el crecimiento de la demanda. Otra cuestión, por supuesto, es cómo conseguir este cambio modal.

Finalmente, como ya se ha mencionado, cuando aislamos el efecto de la penetración masiva de los vehículos eléctricos (incluido el efecto sobre los consumos de los vehículos convencionales), obtenemos unos costes intermedios, de unos 165 €/t de CO<sub>2</sub> evitada (superiores en todo caso a las estimaciones de precio de CO<sub>2</sub> para 2030). Si el sobrecoste del vehículo eléctrico se hiciera nulo en 2026, como indican algunos estudios, entonces el coste por t de CO<sub>2</sub> evitada sería incluso negativo (-31 €/tCO<sub>2</sub>). La velocidad de mejora de los costes de baterías se convierte por tanto en un elemento crítico a la hora de la eficiencia en costes de las políticas de promoción del vehículo eléctrico. De nuevo, se manifiesta la conveniencia de no tanto aumentar la penetración del vehículo eléctrico en sí misma, sino de lograr (por esta vía, o por otras) la bajada de costes de las baterías.

Antes de terminar, conviene aclarar dos elementos más de este análisis de costes. Por un lado, es importante señalar que no se consideran los impactos macroeconómicos asociados por ejemplo a la distinta fabricación de vehículos

o componentes. Como ya se indicó en el apartado de emisiones, evaluar estos impactos indirectos requeriría hacer supuestos sobre el lugar de fabricación de los vehículos, algo incierto y difícil de estimar, así como sobre el número de vehículos fabricados. Evidentemente, si los vehículos se fabricaran en España, un programa de introducción masiva de vehículos eléctricos o de renovación acelerada de la flota convencional podría suponer beneficios en términos de empleo y rentas inducidas, aunque también llevaría consigo un aumento de las emisiones indirectas asociadas al proceso de fabricación. Otro efecto macroeconómico que no se ha tenido en cuenta es el asociado al desplazamiento de demanda de derivados del petróleo por demanda eléctrica que se produce al aumentar el parque eléctrico. Si la cadena de valor nacional asociada al uso de electricidad fuera mayor que la del petróleo, este efecto sería positivo.

También hay que recordar que en todos los escenarios se está haciendo un supuesto de mantenimiento del parque total de vehículos, lo que evidentemente también tiene consecuencias sobre los costes estimados. Por un lado, podríamos pensar que se van a necesitar más vehículos: si los km recorridos por cada vehículo se mantienen constantes a lo largo de su vida útil, y los km recorridos por los vehículos privados aumentan (en línea con el aumento de renta), podemos esperar que se fabriquen más vehículos.

En el otro extremo, se podría pensar que la movilidad compartida reduciría el número de vehículos en el parque: efectivamente, bajo esquemas de MaaS no es necesario poseer vehículo. Pero, si la demanda de movilidad se mantiene, lo único que hacemos es sustituir el vehículo propio por el vehículo compartido. Este vehículo compartido acumulará km de forma más rápida, por su mayor intensidad de uso (lo que también permite ahorrar costes), y, por tanto, de nuevo si suponemos que los km totales por vehículo se mantienen (es uno de los supuestos del menor coste de MaaS), se renovará más rápidamente. Es decir, habrá menos vehículos en el parque, pero mayor velocidad de rotación, de forma que el total de vehículos fabricados será el mismo, a igualdad de todas las demás circunstancias.





[ 05 ]

**Conclusiones:  
Implicaciones  
para el diseño de  
políticas**



Aunque, como se ha mencionado repetidamente, este informe no pretende ser prescriptivo en cuanto al tipo de actuaciones a emprender, ni sobre los escenarios más probables, los escenarios analizados sí nos indican las posibles consecuencias de utilizar cada una de las políticas (cambio modal, promoción del vehículo eléctrico, y retirada acelerada de vehículos convencionales), así como la interacción entre ellas.

Así, una de las conclusiones evidentes es que el **cambio modal** (entendido como la sustitución de vehículo privado por transporte público) es la política más eficiente y la más efectiva: no supone coste adicional en términos de inversión en el parque de vehículos ligeros y logra reducciones de emisiones muy importantes. Podría requerir un aumento de las inversiones en el parque de transporte público, para absorber la mayor demanda, pero esto no es necesariamente así: en primer lugar, la tasa de ocupación del transporte público suele ser inferior a la óptima; y además pueden conseguirse mejoras simplemente con el rediseño de rutas (Perdiguero y Sanz, 2020). También puede suponer un mayor coste en términos de confort o de tiempo de desplazamiento, aunque estos son más complicados de determinar. Si sólo se consideran los costes monetarios, nuestras estimaciones indican que las reducciones de emisiones se lograrían incluso con costes negativos (al reducirse el consumo de combustible y por tanto el coste variable del desplazamiento).

Es una política además más eficiente en entornos urbanos, que por tanto deberían ser los prioritarios para su implantación. Además, estos núcleos, sobre todo los de mayor tamaño, son los que presentan más alternativas de transporte público, que amortiguan la reducción de confort y por tanto las pérdidas de bienestar de la población, tal como se muestra en análisis previos (véase Danesin y Linares, 2018).

Es importante recordar que una forma indirecta de estimular el cambio modal es mediante la promoción del *car pooling*, es decir, aumentar la tasa de ocupación del vehículo privado. Este aumento tiene una traducción inmediata en términos de reducción de emisiones contaminantes o de congestión, aunque, como se ha visto en los resultados, de una magnitud relativamente pequeña (de un 5%).

Otra cuestión, por supuesto, es cómo lograr este cambio modal. Esta cuestión no es nada sencilla, y se ha analizado ya en múltiples ocasiones. Las actuaciones, evidentemente, deben ser distintas en entornos urbanos de alta densidad<sup>1</sup> y en entornos rurales o intermedios. En el ámbito interurbano el cambio modal es aún más complejo. Un elemento de dificultad adicional es que, generalmente, el transporte público tiene connotaciones negativas para muchos usuarios, en términos de seguridad, fiabilidad, y confort (Silvestry et al., 2020). Las investigaciones indican que los principales factores a tener en cuenta son el tiempo del viaje, el coste, y la concienciación sobre los efectos ambientales y el tráfico. El primero puede tratarse optimizando la gestión de las rutas del transporte público; el segundo necesitaría

<sup>1</sup> Por lo que una actuación muy bienvenida, aunque de más largo plazo, sería el diseño urbanístico que por una parte densifique y por otra facilite la movilidad activa.

señales económicas más efectivas que desincentiven el transporte privado, como los peajes de acceso a ciudades o los impuestos a los combustibles (por otro lado, generalmente impopulares).

Economics for Energy ya ha publicado distintas investigaciones sobre los efectos de una reforma fiscal para los combustibles para el transporte, tanto desde el punto de vista de la eficiencia económica como de los efectos distributivos (véase Economics for Energy, 2014; Gago et al., 2020), en las que muestra que, para poder lograr una reducción significativa de las emisiones sería preciso utilizar imposiciones elevadas, que a su vez pueden tener efectos negativos, por la elevada dependencia del transporte (sobre todo de mercancías) de la economía española. Otra posibilidad sería utilizar impuestos a la matriculación actualizados, que realmente desincentiven la compra de vehículos, sobre todo los más contaminantes, aunque en este caso su efecto sobre el cambio modal es más limitado. Volveremos sobre esta opción más adelante.

Los peajes de acceso, o las restricciones al tráfico o al aparcamiento (Albalade y Gragera, 2020), pueden tener consecuencias similares, aunque limitados a zonas urbanas. En este sentido, algunas investigaciones apuntan a que los peajes podrían ser más efectivos que las zonas de bajas emisiones, aunque todo dependerá de su diseño (Bernardo et al., 2018). A este respecto, uno de los elementos fundamentales a considerar es el tipo de vehículos que pueden acceder a las zonas limitadas. Y es preciso, en este sentido, prestar atención no sólo a las emisiones de contaminantes atmosféricos, sino también a las emisiones de CO<sub>2</sub>, por cuanto pueden entrar en conflicto.

También puede considerarse como políticas de cambio modal la promoción de la movilidad activa (a pie o en bicicleta), o los planes de movilidad laboral.

La **promoción de vehículos eléctricos** (básicamente, subvencionando su sobrecoste mientras este exista, y también desplegando la estructura de recarga necesaria para mitigar el *range anxiety*) es una política que en principio permite reducir emisiones, pero sólo si no supone un empeoramiento de los objetivos de reducción de emisiones de los vehículos convencionales en tanto estos sigan suponiendo un porcentaje elevado del parque circulante. Bajo la política actual de la UE, una mayor penetración de vehículos eléctricos permite relajar los objetivos de reducción de emisiones de los vehículos convencionales, pudiendo llegar a suponer una reducción insignificante de emisiones con respecto al escenario de referencia si se suma a una menor tasa de renovación de los vehículos convencionales, en un ejemplo de *backfire* debido al diseño de la política. Por tanto, la promoción adicional de vehículos eléctricos debería realizarse de forma que no se modifiquen el resto de condiciones del parque convencional, si se quiere que realmente haya un ahorro de emisiones sobre el escenario de referencia.

Ahora bien, incluso cuando se trata de evitar este efecto rebote, aislando ambas medidas, el coste de esta actuación es mayor que la del cambio modal, algo que puede observarse en la sensibilidad BAUELE. Se pasaría de una medida con coste despreciable, o negativo, a otra con un coste un orden de magnitud por encima del precio esperado del CO<sub>2</sub> para 2030. Cabe preguntarse pues si tiene sentido incurrir en estos costes (siempre por supuesto que la alternativa de cambio modal sea realista).

Para responder a esto, es preciso responder a otra pregunta previa, y es si es preciso apoyar el desarrollo tecnológico del vehículo eléctrico para internalizar las externalidades asociadas al proceso de innovación. En principio, la respuesta es que, al igual que en el caso de las energías renovables, sí parece conveniente tratar de internalizar esta externalidad, creando mercados que favorezcan la innovación tecnológica. La ilustración de las ventajas que ofrece este desarrollo tecnológico está en la sensibilidad realizada a una bajada de los costes de las baterías. Si los vehículos eléctricos logran llegar a un sobrecoste nulo en 2026, el coste de la tonelada de CO<sub>2</sub> evitada se haría incluso negativo.

En este sentido, hay que recordar que el proceso de innovación es global, y por tanto hay que valorar en qué medida debe contribuir cada país a la creación de dichos mercados, algo que dependerá de los beneficios que puedan obte-

nerse en términos de rentas de innovación o de desarrollo industrial, y de cómo estos beneficios compensen los costes incurridos en la promoción. Es fundamental pues combinar las políticas de incentivo a la demanda con políticas industriales y tecnológicas que permitan generar valor añadido en nuestro país.

También, por supuesto, habrá que tener en cuenta las posibles implicaciones distributivas de las políticas de promoción de vehículos eléctricos: las posibles ayudas a su compra podrían ir predominantemente a los usuarios con mayor renta (que son los que tienden a utilizar más el vehículo privado)<sup>2</sup>.

Finalmente, la **retirada acelerada de vehículos convencionales** se muestra como una política también potencialmente muy efectiva para reducir emisiones, pero muy cara, ya que requiere deshacerse de vehículos con un valor residual aún significativo, sobre todo cuando se sigue aplicando con edades medias ya bajas. Cuando se aplica sólo para eliminar los vehículos verdaderamente más antiguos, entonces su coste baja, pero sigue situándose en niveles muy elevados, dos órdenes de magnitud por encima de los de otras políticas, y un orden de magnitud por encima de las que promocionan los vehículos eléctricos.

Además, las políticas para lograr esta retirada acelerada también presentan riesgos: riesgos distributivos, de *free-riding*, de captura por los fabricantes (cuando se implantan mediante subvenciones) y riesgo de picos de venta de vehículos contaminantes cuando se establecen prohibiciones de venta como las planteadas en algunos países europeos<sup>3</sup>.

En este sentido, es interesante señalar que un impuesto de matriculación más elevado, que es una medida de gran interés para lograr un parque menos contaminante a medio plazo, podría reducir la tasa de renovación. Pero este efecto se puede mitigar si el impuesto sólo se aumenta para los vehículos más contaminantes, dejándose igual, o incluso más bajo, para los menos contaminantes, de forma que el impacto neto sobre el comprador que se plantea renovar su vehículo se mantenga o incluso reduzca.

A este respecto, el impuesto de matriculación debería utilizarse para que la compra de vehículos nuevos se dirigiera en la dirección apropiada, esto es, vehículos menos contaminantes, y no de forma relativa – por segmento – sino absoluta, de forma por ejemplo que no se incentive indirectamente la compra de vehículos de peso elevado (como los SUV) y por tanto alto consumo absoluto. En este respecto, la normativa europea ayuda a que no se produzcan aumentos de emisiones asociados a una renovación del parque con vehículos más contaminantes (como se produjo en casos anteriores, véase ICCT, 2020a), ya que la media de las emisiones de la flota de vehículos nuevos está restringida.

En todo caso, todas estas reflexiones, recordemos, están orientadas a la descarbonización del sector transporte, y en algunos casos pueden no aplicar a las **emisiones de NO<sub>x</sub>**. Estas emisiones ya experimentan una reducción muy significativa en todos los escenarios, al menos en teoría, gracias a la entrada en vigor de la norma EuroVI, pero un programa de retirada acelerada es el que más reducciones logra (al reducir el parque de vehículos antiguos).

Sería interesante, pues, un análisis de la rentabilidad de esta medida para mejorar los niveles de calidad de aire en ciudades, algo prioritario en algunas de ellas. Aunque, como ya hemos visto, la retirada acelerada es muy costosa en términos de descarbonización, por la poca mejora que logra en las emisiones de CO<sub>2</sub> del parque medio, las reducciones teóricas son mucho más significativas en las emisiones de NO<sub>x</sub>. Este análisis en todo caso está fuera del alcance de este informe.

2 También puede tener efectos distributivos el despliegue de la infraestructura de recarga, si esta se imputa a los peajes eléctricos (que pagan todos los consumidores de electricidad) en lugar de únicamente a los usuarios de la recarga, generalmente además con niveles de renta superiores.

3 Para evitar estos picos pueden emplearse cuotas que limiten las ventas acumuladas, y no las asociadas a un momento temporal concreto (Holland et al., 2020).

Finalmente, creemos que también es muy relevante apuntar a uno de los resultados que se mantienen en todos los escenarios, como es la creciente importancia en términos de emisiones del transporte de mercancías. Como en este sector no hay previstos cambios tecnológicos significativos a 2030, la única mejora sería la derivada de la normativa europea, que requiere una reducción de emisiones del 30%. Pero esta reducción no basta para compensar el posible incremento de actividad asociado al crecimiento del PIB (siempre que, ojalá, la recuperación del COVID-19 sea rápida). Así, el transporte de mercancías pasa de representar un 30% en 2017 a más del 50% en todos los escenarios en 2030. Es prioritario pues comenzar a reflexionar acerca de cómo descarbonizar el transporte pesado.





[ 06 ]

Referencias

- Albalade, D., Gragera, A., 2020. The impact of curbside parking regulations on car ownership. *Regional Science and Urban Economics*, 81, 103518.
- AQEG, 2019. Non-exhaust emissions from road traffic, disponible en: [https://uk-air.defra.gov.uk/assets/documents/reports/cat09/1907101151\\_20190709\\_Non\\_Exhaust\\_Emissions\\_typeset\\_Final.pdf](https://uk-air.defra.gov.uk/assets/documents/reports/cat09/1907101151_20190709_Non_Exhaust_Emissions_typeset_Final.pdf).
- Arbib, J., Seba, T., 2017. Rethinking transportation 2020-2030 – The disruption of transportation and the collapse of the internal-combustion vehicle and oil industries, disponible en: <https://www.rethinkx.com/transportation>.
- AUDES “Áreas urbanas de España” Año 2015 <https://alarcos.esi.uclm.es/per/fruiz/audes/index.htm>
- Ayuntamiento de Madrid, 2018. Estudio del parque circulante de la ciudad de Madrid. Año 2017, disponible en: <https://www.madrid.es/UnidadesDescentralizadas/Sostenibilidad/EspInf/Energia/CC/03Energia/3bMovilidad/ParqueCirculante/Ficheros/EstudioPCMad2017.PDF>.
- Bandivadekar, A.; Bodek, K.; Cheah, L.; Evans, C.; Groode, T.; Heywood, J.; Kasseris, E.; Kromer, M.; Weiss, M. (2008) *On the Road in 2035: Reducing Transportation's Petroleum Consumption and GHG Emissions*, MIT Laboratory for Energy and the Environment, Cambridge, Massachusetts.
- Bernardo, V., Fageda, X., Flores-Fillol, R., 2018. How can urban congestion be mitigated? Low emission zones vs. congestion tolls. Documento de Trabajo 2018/14, FEDEA.
- Bloomberg, 2019. How much traffic do uber and Lyft cause?, disponible en: <https://www.bloomberg.com/news/articles/2019-08-05/uber-and-lyft-admit-they-re-making-traffic-worse>.
- BNEF, 2020. Electric vehicle Outlook 2020. Bloomberg New Energy Finance.
- Calvillo, C.F., Turner, K., 2020. Analysing the impacts of a large-scale EV rollout in the UK – How can we better inform environmental and climate policy? *Energy Strategy Reviews*, 30, 100497.
- Comisión Europea, 2001. White paper. European transport policy for 2010: time to decide. COM (2011) 370 final.
- Comisión Europea, 2011. Libro blanco del transporte. Oficina de Publicaciones de la Unión Europea, Luxemburgo.
- Comisión Europea, 2017a. Energy unión: Commission takes action to reinforce EU's global leadership in clean vehicles, disponible en: [https://ec.europa.eu/transport/modes/road/news/2017-11-08-driving-clean-mobility\\_en](https://ec.europa.eu/transport/modes/road/news/2017-11-08-driving-clean-mobility_en).
- Comisión Europea, 2017b. Europa en movimiento. COM (2017) 283 final.
- Comisión Europea, 2018. Europe on the move: Commission completes its agenda for safe, clean and connected mobility, disponible en: [https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP\\_18\\_3708](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_18_3708).

- Comisión Europea, 2020. Reducing CO<sub>2</sub> emissions from Passenger cars - before 2020, disponible en: [https://ec.europa.eu/clima/policies/transport/vehicles/cars\\_en](https://ec.europa.eu/clima/policies/transport/vehicles/cars_en)
- CORES, 2020. Estadísticas, disponible en: <https://www.cores.es/es/estadisticas>.
- Danesin, A., Linares, P., 2018. The relevance of the local context for assessing the welfare effect of transport decarbonization policies. A study for 5 Spanish metropolitan areas. *Energy Policy*, 118, 41-57.
- Deloitte, 2017. Un modelo de transporte descarbonizado para España en 2050. Recomendaciones para la transición, disponible en: <https://perspectivas.deloitte.com/hubfs/Campanas/Estudio-descarbonizacion-2017/Descarbonizacion-Transporte-Deloitte-Espana.pdf>.
- DGT, 2018. Análisis sobre los kilómetros anotados en las ITV, disponible en: <http://www.dgt.es/es/seguridad-vial/estadisticas-e-indicadores/publicaciones/infografias/analisis-km-itv.shtml>.
- DGT, 2020. Estadísticas. Vehículos, disponible en: [https://sedeapl.dgt.gob.es/WEB\\_IEST\\_CONSULTA/](https://sedeapl.dgt.gob.es/WEB_IEST_CONSULTA/).
- Economics for Energy, 2014. Impuestos energético-ambientales en España. Informe 2013, disponible en: <https://efore-energy.org/publicaciones.php>.
- Economics for Energy, 2017. Escenarios para el sector energético en España 2030-2050, disponible en: <https://efore-energy.org/publicaciones.php>.
- EEA, 2019. EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019, disponible en: <https://www.eea.europa.eu/themes/air/air-pollution-sources-1/emep-eea-air-pollutant-emission-inventory-guidebook>.
- Emissions Analytics, 2020. Press release: Pollution from tyre wear 1,000 times worse than exhaust emissions, disponible en: <https://www.emissionsanalytics.com/news/pollution-tyre-wear-worse-exhaust-emissions>.
- Energy Transitions Commission (ETC), 2017. Better energy, greater prosperity. Achievable pathways to low-carbon energy systems, disponible en: <https://www.energy-transitions.org/publications/better-energy-greater-prosperity/>.
- European Climate Foundation, 2018. Trucking into a greener future, disponible en: <https://europeanclimate.org/resources/trucking-into-a-greener-future/>.
- Eventbrite, 2017. The experience movement: How millennials are bridging cultural and political divides offline, disponible en: <https://www.eventbrite.com/l/millennialsreport-2017/>.
- Falchetta, G., Noussan, M., 2020. The impact of COVID-19 on transport demand, modal choices and sectoral energy consumption in Europe. *IAEE Energy Forum / COVID-19 Issue 2020*, 48-50
- Gago, A., Labandeira, X., Labeaga, J.M., López-Otero, X., 2020. Transport taxes and decarbonization in Spain: Distributional impacts and compensation. *Hacienda Pública Española*, próximamente.
- Gesman, 2017. Estudio de la situación del taxi en el APC de Valencia, disponible en: <http://www.habitatge.gva.es>.
- Goldman Sachs, 2015. Millennials, disponible en: <https://www.goldmansachs.com/insights/archive/millennials/>.
- Heywood, J., MacKenzie, D. (eds.), 2015. On the road toward 2050: Potential for substantial reductions in light-duty vehicle energy use and greenhouse gas emissions, disponible en: <http://web.mit.edu/sloan-auto-lab/research/beforeh2/files/On-the-Road-toward-2050.pdf>.
- Holland, S.P., Mansur, E.T., Yates, A.J., 2020. The electric vehicle transition and the economics of banning gasoline vehicles. Working paper 26804, NBER Working paper series.
- ICCT, 2017. Transitioning to zero-emission heavy-duty freight vehicles, disponible en: <https://theicct.org/publications/transitioning-zero-emission-heavy-duty-freight-vehicles>.



- ICCT, 2020a. Green vehicle replacement programs as a response to the COVID-19 crisis: Lessons learned from past programs and guidelines for the future, disponible en: <https://theicct.org/publications/vehicle-replacement-programs-covid-19-may2020>.
- ICCT, 2020b. One table to rule them all v1, disponible en: <https://theicct.org/sites/default/files/info-tools/One%20table%20to%20rule%20them%20all%20v1.pdf>.
- IDAE, 2006. Guía para la gestión del combustible en las flotas de transporte por carretera, disponible en: <https://www.idae.es/publicaciones/guia-para-la-gestion-del-combustible-en-las-flotas-de-transporte-por-carretera>.
- IDAE, 2020. Cálculo de consume energético de los trenes, disponible en: <https://www.idae.es/informacion-y-publicaciones/bases-de-datosherramientas/calculo-de-consumo-energetico-de-los-trenes>.
- INE, 2020a. Indicadores urbanos, disponible en: <https://ine.es/>.
- INE, 2020b. Población por municipios, disponible en: <https://ine.es/>.
- Knittel, C. R., 2011. Automobiles on steroids: Product attribute trade-offs and technological progress in the automobile sector. American Economic Review, 101, 3368-3399.
- Knittel, C. R., Murphy, E., 2019. Generational trends in vehicle ownership and use: Are millennials any different? Working paper 25674, NBER Working paper series.
- McKinsey, 2017. What's sparking electric-vehicle adoption in the truck industry?, disponible en: <https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/whats-sparking-electric-vehicle-adoption-in-the-truck-industry>.
- McKinsey, Bloomberg, 2016. An integrated perspective on the future of mobility, disponible en: [https://www.bbhub.io/bnef/sites/4/2016/10/BNEF\\_McKinsey\\_The-Future-of-Mobility\\_11-10-16.pdf](https://www.bbhub.io/bnef/sites/4/2016/10/BNEF_McKinsey_The-Future-of-Mobility_11-10-16.pdf).
- Ministerio de Fomento, 2017. Áreas urbanas en España. 2017, disponible en: <https://apps.fomento.gob.es/CVP/handlers/pdfhandler.ashx?idpub=BAW050>.
- Ministerio de Fomento, 2017b. Encuesta permanente de transporte de mercancías por carretera. Año 2017, disponible en: <https://www.mitma.gob.es/el-ministerio/informacion-estadistica/transporte/transporte-de-mercancias-por-carretera/publicaciones-encuesta-permanente-transporte-mercancias-por-carretera/encuesta-permanente-transporte-mercancias-por-carretera-ano2017>.
- Ministerio de Fomento, 2017c. Observatorio del ferrocarril en España. Informe 2016, disponible en: [https://www.mitma.gob.es/recursos\\_mfom/comodin/recursos/informe\\_ofe2016.pdf](https://www.mitma.gob.es/recursos_mfom/comodin/recursos/informe_ofe2016.pdf).
- Ministerio de Transportes, 2020. Observatorio del transporte y la logística en España, disponible en: <https://observatoriotransporte.mitma.es/>.
- Ministerio para la Transición Ecológica (MITECO), 2020a. Inventario nacional de gases de efecto invernadero. Tablas de datos del reporte, disponible en: <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/sistema-espanol-de-inventario-sei-/Inventario-GEI.aspx>.
- Ministerio para la Transición Ecológica (MITECO), 2020b. Plan nacional integrado de energía y clima (PNIEC) 2021-2030, disponible en: <https://www.miteco.gob.es/es/prensa/pniec.aspx>.
- Observatorio de la Movilidad Metropolitana (OMM), 2018. Informe OMM-2016, disponible en: [http://www.observatoriomovilidad.es/images/stories/05\\_informes/informe\\_omm\\_2016\\_final.pdf](http://www.observatoriomovilidad.es/images/stories/05_informes/informe_omm_2016_final.pdf).
- Observatorio de la Movilidad Metropolitana (OMM), 2019. Informe OMM-17, disponible en: [http://www.observatoriomovilidad.es/images/stories/05\\_informes/Informe\\_OMM2017\\_web.pdf](http://www.observatoriomovilidad.es/images/stories/05_informes/Informe_OMM2017_web.pdf).



- Perdiguero, J., Sanz, A., 2020. Restructuring of bus network and pollution: The case of Barcelona. Manuscrito no publicado.
- Puente, R., 2018. Análisis de los flujos energéticos, ambientales y económicos del sector transporte en España. Trabajo fin de máster. Escuela Técnica Superior de Ingeniería (ICAI), Universidad Pontificia Comillas, disponible en: <https://repositorio.comillas.edu/xmlui/bitstream/handle/11531/21758/TFM-Puente%20Aranda%2C%20Roberto%20.pdf?sequence=2&isAllowed=y>.
- Rocky Mountain Institute, 2019. Run on less with hydrogen fuel cells, disponible en: <https://rmi.org/run-on-less-with-hydrogen-fuel-cells/>.
- Silvestri, A., Foudi, S., Galarraga, I., 2020. Determinants of travel mode choice in Europe: Results from a survey on routine mobility. Papeles de Energía, 9, 21-58.
- Transport & Environment, 2019. Do gas trucks reduce emissions?, disponible en: [https://www.transportenvironment.org/sites/te/files/publications/2019\\_09\\_do\\_gas\\_trucks\\_reduce\\_emissions\\_paper\\_EN.pdf](https://www.transportenvironment.org/sites/te/files/publications/2019_09_do_gas_trucks_reduce_emissions_paper_EN.pdf).
- Transport & Environment, 2020a. How clean are electric cars?, disponible en: <https://www.transportenvironment.org/what-we-do/electric-cars/how-clean-are-electric-cars>.
- Transport & Environment, 2020b. Recharge EU trucks: time to act!, disponible en: [https://www.transportenvironment.org/sites/te/files/publications/2020\\_02\\_RechargeEU\\_trucks\\_paper.pdf](https://www.transportenvironment.org/sites/te/files/publications/2020_02_RechargeEU_trucks_paper.pdf).
- Vectio, 2017. Estudio del servicio del taxi, disponible en: <https://www.madrid.es/UnidadesDescentralizadas/UDCMovilidadTransportes/TAXI/Ficheros/Otros/Ayto%20Madrid%20%C2%B7%20Estudio%20del%20Servicio%20del%20Taxi.pdf>.



[ 07 ]



# **Anexo I: Estimación desagregada de la movilidad, consumo energético y emisiones del transporte en España**

**7.1 Transporte terrestre de pasajeros**

**7.2 Transporte terrestre de mercancías**

## 7.1 Transporte terrestre de pasajeros

### 7.1.1. Transporte privado urbano de pasajeros

El transporte privado de pasajeros en el ámbito urbano supone un porcentaje muy significativo del total de la demanda de movilidad en nuestro país. Por desgracia, y a pesar de su importancia, es en este sector donde la ausencia de datos se hace más evidente. Así, el OTLE (Ministerio de Transportes, 2020) no presenta datos de vehículos-kilómetro totales recorridos, lo que obliga a trabajar con estimaciones.

En esta sección se describe el método utilizado para la estimación de los vehículos-km totales recorridos por vehículos privados de pasajeros (coche o moto) en ámbito urbano y metropolitano en España. Esa cifra se obtiene de aplicar la siguiente ecuación:

$$Dístan\text{cia (km)}/día_i = Viajes /día_i \cdot DM \text{ (km) } /viaje_i \cdot \%(coche/moto)_i$$

Donde el subíndice  $i$  hace referencia a un área metropolitana.

Se observa pues que para llegar a estos datos necesitamos conocer:

- El total de viajes al día realizado en cada área metropolitana
- La distancia media de estos trayectos
- El porcentaje de dichos trayectos que son realizados por vehículos privados

La principal fuente de datos utilizada en este caso es el Observatorio de Movilidad Metropolitana, que publica informes periódicos basados en encuestas. Concretamente se han utilizado los informes publicados en 2018 (OMM, 2018) y 2019 (OMM, 2019), que recogen los datos disponibles hasta 2017. Nótese que estos datos provienen de encuestas diferentes realizadas en diversas áreas metropolitanas, con diferencias metodológicas notables por lo que las conclusiones obtenidas tras el análisis deben ser tratadas con cautela. Veamos uno a uno cada uno de los tres elementos a partir de los cuales se va a obtener la distancia recorrida por cada tipo de vehículo.

De OMM (2019) tenemos el número total de viajes en día laborable (millones) y el número de viajes por persona de las áreas metropolitanas estudiadas, según se recogen en la Tabla A1.

Tabla A1. Viajes y distancia recorridos privados urbanos. 2017

	Viajes en día laborable (Millones)	Tiempo medio de viaje (min)	Distancia media de viaje (km)	Nº de viajes por persona al día
Madrid 2014	12,93	29,0	6,0	2,5
Barcelona 2017	9,78	22,7	6,6	2,7
Valencia 2017	4,88	n.d.	n.d.	2,6
Sevilla 2007	2,90	28,1	n.d.	2,4
Bizkaia 2008	3,01	n.d.	3,2-12,7	2,8
Asturias 2017	2,45	22	n.d.	3,11
Málaga 2011-2014	2,78	24,2	6,04	2,2
Mallorca 2010	2,28	17,0	n.d.	3,6
B. Cádiz 2007-15	2,57	16,0	n.d.	3,3
Zaragoza 2007-2017	2,31	21,7	3,3	3,3
Gipuzkoa 2016	2,19	n.d.	n.d.	3,3
C. Tarragona 2006	1,85	18,0	n.d.	3,2
Granada 2001-2015	1,12	19,2	n.d.	2,3
Alicante 2013	0,72	20,0	3,8-5,8	2,1
Lleida 2006	1,30	n.d.	n.d.	3,2
Pamplona 2013	0,97	17,1	n.d.	3,0
C. Gibraltar 2007	0,56	12,3	n.d.	2,2
A Coruña 2017	n.d.	15,0	3,6	n.d.
León 2009	0,34	17,1	n.d.	2,7
Cáceres 2013	0,19	n.d.	n.d.	2,0

Fuente: OMM (2019)

Para todas las áreas metropolitanas de las que se conocen número de viajes en día laborable, es decir las 19 presentadas en la tabla a excepción de A Coruña, se usará el número de viajes determinado por la encuesta para los cálculos correspondientes. Para el resto de capitales de provincia en España que tienen área metropolitana funcional según el INE (2020a) o AUDES (Áreas Urbanas de España) pero no han realizado encuestas, se extrapolará el número de viajes en día laborable a partir de una media realizada con las áreas metropolitanas de las que sí se conocen datos<sup>1</sup>. Para calcular esta media, se dividirán la suma de viajes en día laborable de todas las áreas metropolitanas entre la suma de poblaciones de las mismas (excluyendo A Coruña por ausencia de datos completos):

$$\overline{\text{Viajes}} = \frac{\sum_{i=1}^{19} \text{Viajes}_{\text{millones / día}}}{\sum_{i=1}^{19} \text{Población}_{\text{millones}}} = \frac{59,15}{22,00} = 2,68 = \frac{\text{viajes}}{\text{día-persona}}$$

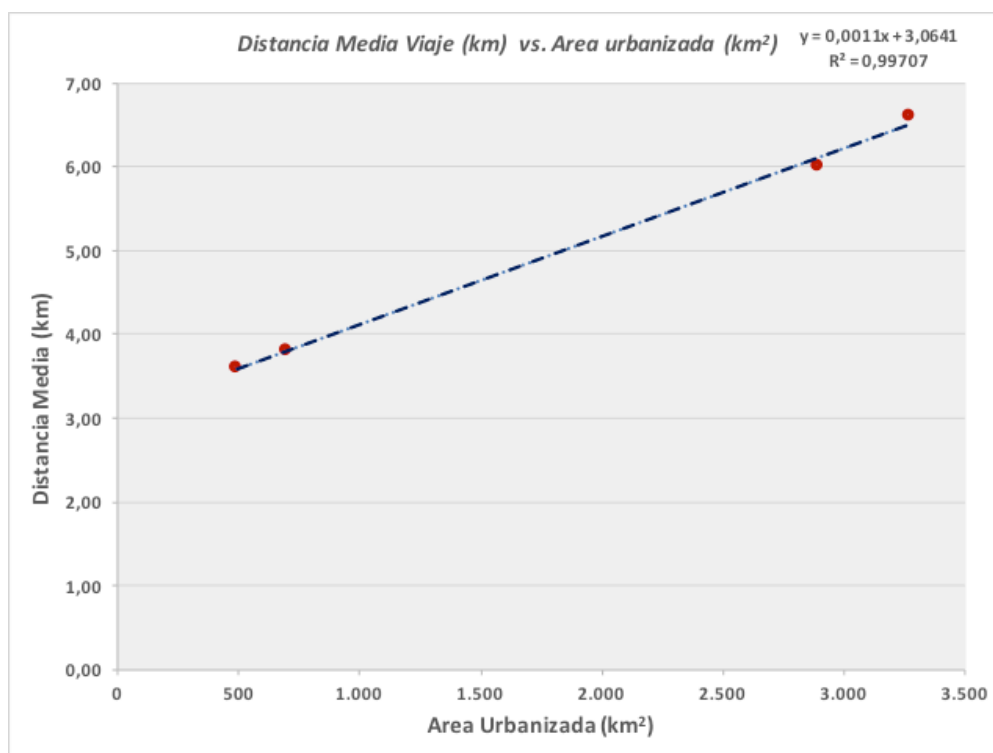
Una vez se conoce el número de viajes al día por persona se multiplicará por el número de habitantes de las poblaciones con área metropolitana en el año 2015 según el INE o AUDES, obteniéndose el número de viajes en un día laborable en cada una de ellas. Para las capitales de provincia para las cuales no se ha encontrado datos de población metropolitana se ha fijado la población de la capital para el año 2015 según el INE (2020b).

<sup>1</sup> Para este cálculo se han utilizado los datos consolidados a 2015.



Aunque se conocen las distancias medias de cada viaje (km) para algunas de las áreas metropolitanas estudiadas, se carece de información para todo el conjunto. En primer lugar, se realizó una estimación de la distancia media recorrida en función de la población de las áreas metropolitanas de las que se conocen datos. Los resultados obtenidos no arrojaban una relación lineal por lo que la población apenas tenía poder explicativo sobre la distancia media. Por ello, se realizó una estimación de la distancia media recorrida en función del área urbanizada (km<sup>2</sup>) del resto de áreas metropolitanas. En primer lugar, se calculó el cociente de la distancia media recorrida por viaje en las áreas metropolitanas en las que si se conocían datos a 2015 y se interpoló el resultado para el resto de núcleos urbanos en función de su área urbanizada. Así, se realizó un análisis de regresión simple con los datos obteniéndose el resultado mostrado en el Gráfico A1.

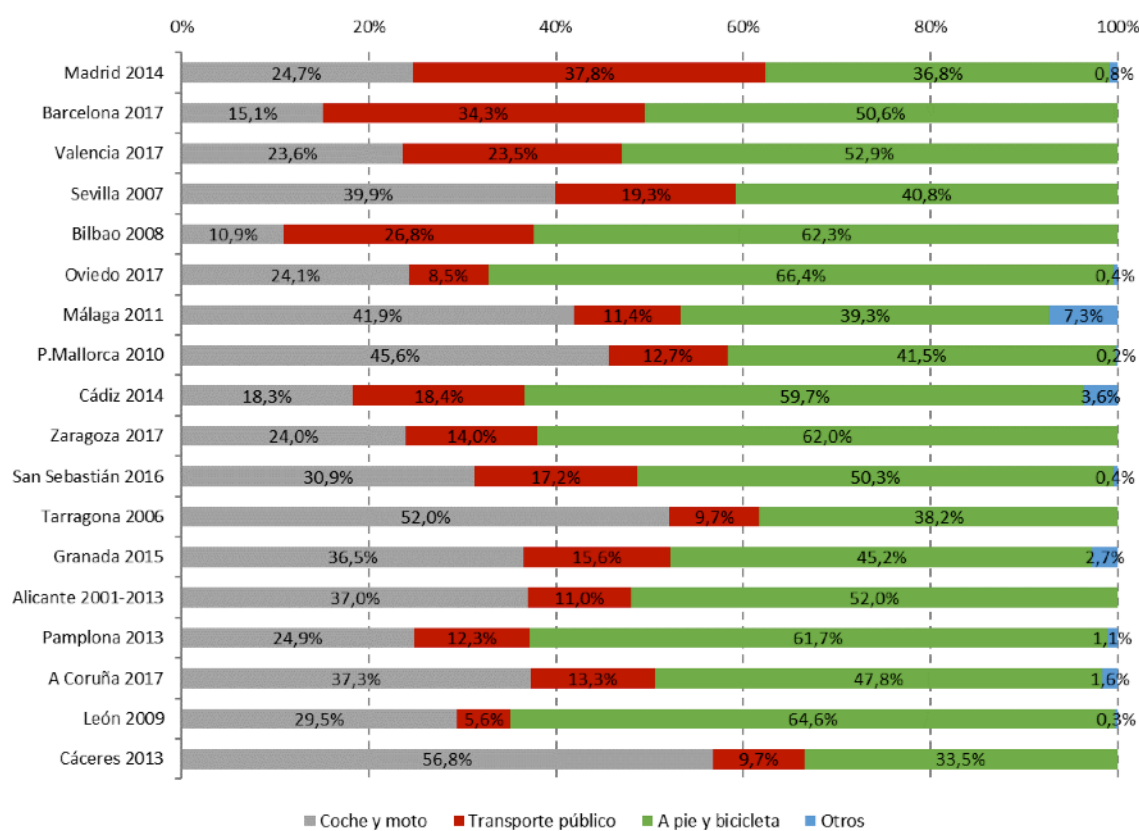
**Gráfico A1. Relación entre la distancia media por viaje y la superficie urbanizada donde se realiza dicho viaje**



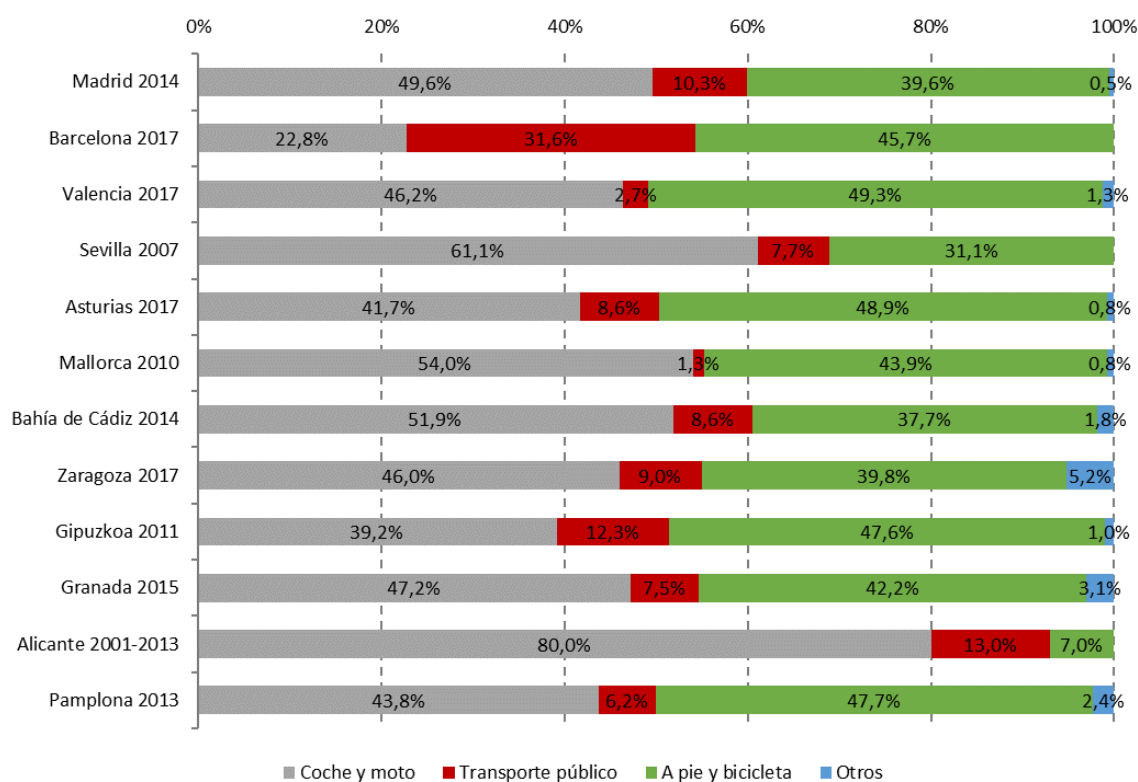
Fuente: Elaboración propia a partir de bases de datos OTLE (Ministerio de Transportes, 2020) y superficie capital (INE, 2020a)

Excluyendo Zaragoza, el resultado obtenido muestra que el modelo de regresión lineal basado en la variable independiente del área urbanizada tiene poder explicativo sobre la distancia media recorrida en cada viaje ( $R^2=0,997$ ). A partir de esta recta se obtuvieron las distancias medias recorridas en cada área metropolitana en función de su superficie urbanizada.

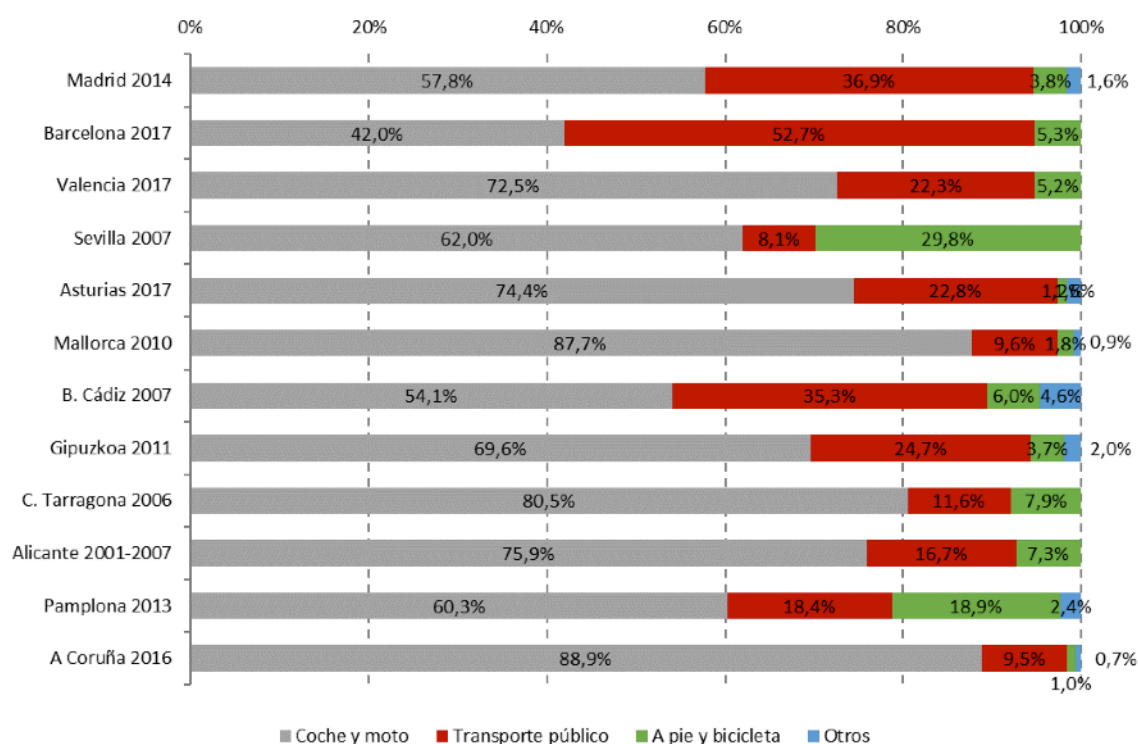
Una vez conocidos el número de viajes al día y las distancias medias recorridas, solo restaba conocer el desglose en porcentaje por tipo de vehículos. De nuevo, del informe OMM (2019) tenemos el reparto modal de transporte urbano desglosado en vehículo privado motorizado (coche o moto), transporte público, a pie o bicicleta y otros. Además, el informe aporta esos datos desagregados entre desplazamientos en el interior de la capital, en la corona metropolitana y entre ambas. Los Gráficos A2-A4 recogen esta información.

**Gráfico A2. Distribución de los distintos modos de transporte en el interior de la capital**

Fuente: OMM (2019)

**Gráfico A3. Distribución de los distintos modos de transporte en la corona metropolitana**

Fuente: OMM (2019)

**Gráfico A4. Distribución de los distintos modos de transporte (combinando interior y corona)**

Fuente: OMM (2019)

Desgraciadamente, no se conoce el reparto modal en cada zona estudiada para todas las áreas metropolitanas. Además, a pesar de conocerse el desglose por modo de transporte, no se sabe cuántos de los viajes efectuados por cada habitante tuvieron lugar en la zona central, en la corona metropolitana, o entre ambas zonas. Por ello, se han realizado las siguientes aproximaciones para cubrir este vacío de datos:

- Áreas metropolitanas cuyo reparto modal se conoce: se ha calculado la media entre el modo coche/moto de cada zona (central, corona metropolitana y central-corona) para cada ciudad estudiada. El resultado de esta media será el porcentaje de viajes correspondiente al modo transporte privado en coche y moto.
- Áreas metropolitanas no incluidas: se ha calculado una media del porcentaje correspondiente al modo coche y moto para cada zona (central, corona metropolitana y central-corona) de las áreas metropolitanas de las que hay datos disponibles. Seguidamente, se ha calculado una media de los resultados obtenidos en estas tres zonas, y ese porcentaje será el que se le aplique al número de viajes diarios de cada ciudad.

Con todo lo anterior, la Tabla A2 recoge la estimación de los kilómetros recorridos por vehículos motorizados privados en las principales zonas metropolitanas en 2017.



**Tabla A2. Kilómetros totales realizados en el ámbito metropolitano en el modo coche y moto a nivel nacional. 2017**

	<b>Población Área Metropolitana Funcional</b>	<b>Superficie Área Metropolitana</b>	<b>Millones viajes/ día laborable</b>	<b>% Moto y coche</b>	<b>Distancia Media Recorrida</b>	<b>Distancia (millones- km/día)</b>	<b>km (año) (millones)</b>
A Coruña <sup>2</sup>	415144	493,9	2,57	0,59	3,94	5,99	2180,59
Albacete <sup>2</sup>	191167	1125,9	0,46	0,51	4,64	1,1	437,88
Alicante <sup>1 4</sup>	462694	701	0,72	0,64	4,17	1,93	699,29
Almería <sup>2</sup>	226531	400,4	0,58	0,51	3,84	1,14	430,35
Ávila <sup>3</sup>	61364	230,7	0,16	0,51	3,65	0,29	114,31
Badajoz <sup>1</sup>	180906	1531,9	0,48	0,51	5,09	1,25	455,57
B.Cádiz <sup>2</sup>	475147	1792	2,57	0,41	5,37	2,54	2306,49
Barcelona <sup>1 4</sup>	4962864	3271,5	9,78	0,36	7	44,14	9079,25
Bilbao <sup>1 4</sup>	1038319	504	3,01	0,44	3,96	5,21	1927,05
Burgos <sup>2</sup>	199241	148,6	0,52	0,51	3,56	0,94	356,31
Caceres <sup>2 4</sup>	118218	1938	0,19	0,44	5,53	0,47	188,08
Castellón <sup>2</sup>	231683	292,6	1,04	0,51	3,72	1,96	431,25
Ciudad Real <sup>3</sup>	104944	403,4	0,2	0,51	3,84	0,39	201,58
Córdoba <sup>1</sup>	358887	1255,2	0,97	0,51	4,78	2,36	855,50
Cuenca <sup>3</sup>	60151	911,1	0,15	0,51	4,4	0,33	133,33
Gibraltar <sup>2 4</sup>	33728	n,d,	0,56	0,51	4,78	1,36	660,18
Gijón <sup>1</sup>	297365	181,6	2,45	0,51	3,6	1,49	1607,65
Granada <sup>2 4</sup>	561818	829,6	1,12	0,56	4,31	2,7	1112,31
Gran Canaria <sup>1</sup>	630413	259,8	1,7	0,51	3,69	3,19	1157,17
Guipuzcoa <sup>2 4</sup>	338267	376,8	2,19	0,4	3,82	3,01	5458,03
Huelva <sup>2</sup>	229146	230,5	0,47	0,51	3,65	0,87	418,59
Huesca <sup>3</sup>	219677	161	0,14	0,51	3,58	0,25	392,34
Jaén <sup>2</sup>	159164	733,4	0,51	0,51	4,21	1,1	331,93
León <sup>2 4</sup>	210805	411,2	0,34	0,37	3,85	0,49	184,50
Lleida <sup>2 4</sup>	185050	426,3	1,3	0,51	3,87	2,56	860,53
Logroño <sup>1</sup>	192903	217,9	0,52	0,51	3,64	0,96	350,35
Madrid <sup>1 4</sup>	6717732	2890,1	12,93	0,44	6,58	37,46	13971,99
Málaga <sup>1 4</sup>	858731	817,4	2,78	0,54	4,3	6,47	2378,78
Murcia <sup>1</sup>	624658	1230,9	1,66	0,51	4,75	4,01	1481,27
Ourense <sup>2</sup>	148410	253,3	0,37	0,51	3,68	0,69	271,40
Oviedo <sup>1</sup>	309743	186,7	2,45	0,51	3,61	1,56	1604,97
Palencia <sup>3</sup>	163014	273,6	0,21	0,51	3,7	0,4	296,23
P.Mallorca <sup>4</sup>	678611	913,1	2,28	0,62	4,41	6,27	2269,03
Pamplona <sup>1</sup>	380983	391,6	0,98	0,43	3,83	1,62	611,27
Salamanca <sup>2</sup>	201028	112,5	0,55	0,51	3,52	0,99	352,56

	<b>Población Área Metropolitana Funcional</b>	<b>Superficie Área Metropolitana</b>	<b>Millones viajes/ día laborable</b>	<b>% Moto y coche</b>	<b>Distancia Media Recorrida</b>	<b>Distancia (millones-km/día)</b>	<b>km (año) (millones)</b>
Santander <sup>1</sup>	380200	256,8	1,04	0,51	3,68	1,94	699,16
Santiago <sup>1</sup>	200708	379,3	0,54	0,51	3,82	1,04	385,42
Segovia <sup>3</sup>	155311	360,9	0,14	0,51	3,8	0,27	291,70
Sevilla <sup>1 4</sup>	1543858	1529,2	2,9	0,54	5,08	8,01	3170,61
Soria <sup>3</sup>	90016	271,8	0,1	0,51	3,7	0,2	158,29
Tarragona <sup>2</sup>	216419	356,7	1,85	0,57	3,79	2,66	692,26
Tenerife <sup>3</sup>	505160	397,7	0,55	0,51	3,84	1,07	974,45
Teruel <sup>3</sup>	35484	440,4	0,1	0,51	3,89	0,19	721,97
Toledo <sup>1</sup>	150252	548,1	0,4	0,51	4	0,82	299,03
Valencia <sup>1 4</sup>	1723935	628,8	4,88	0,48	4,09	7,46	3695,65
Valladolid <sup>1 4</sup>	422672	746,4	1,85	0,51	4,22	3,97	1434,62
Vigo <sup>1</sup>	541686	743,2	1,47	0,51	4,22	3,14	1143,11
Vitoria-Gasteiz <sup>1</sup>	273689	276,8	0,72	0,51	3,71	1,36	5060,06
Zamora <sup>3</sup>	178566	195	0,17	0,51	3,62	0,31	320,47
Zaragoza <sup>1 4</sup>	756296	2295,4	2,31	0,5	5,93	6,87	2467,72
						<b>TOTAL</b>	<b>77082,42</b>

Notas:

1. Datos de población metropolitana obtenidos de INE (2020a) para el año 2013. Datos área urbanizada obtenidos de Ministerio de Fomento (2017a) para el año 2017
2. Datos población metropolitana extraídos de AUDES "Áreas urbanas de España" Año 2015
3. Datos de población metropolitana no disponibles. Datos de población extraídos de INE (2020b) para el año 2018
4. Se conoce el reparto modal en cada zona (central, corona, central-corona) íntegramente o parcialmente. Además, se conocen el número total de viajes realizados en día laborable (no se calcula como el producto de la población y número medio de viajes por persona)

Fuente: Elaboración propia

Una vez se ha obtenido la estimación de kilómetros recorridos por vehículos privados en el ámbito urbano, estamos en condiciones de calcular los consumos energéticos y las emisiones debidas a dichos desplazamientos. En realidad, disponemos de ese dato de emisiones, ya que lo ofrece anualmente el Inventario Nacional de Emisiones (MITECO, 2020a). El problema es que el nivel de desagregación es insuficiente para alcanzar el detalle que pretende este informe. Por ejemplo, en lo que respecta a vehículos privados, el inventario recoge la información por tipo de combustible, pero no distingue entre modos: urbano o interurbano. Así, el reto es cuadrar las emisiones desagregadas de manera que su suma se ajuste a las que reporta el Inventario Nacional. En la última sección de este capítulo se incluye un cuadro resumen con esta comparativa no solo para este modo de transporte privado urbano, sino para todos los modos.

El punto de partida pues para el cálculo de los consumos y las emisiones son los kilómetros recorridos por cada tipo de vehículo, algo que recoge la Tabla A3, construida sobre los datos de la Tabla A2. Se puede comprobar que el total de kilómetros recorridos por ambos tipos de vehículos es 77.082 millones, tal y como recoge la Tabla A2. El reparto de los kilómetros recorridos totales por antigüedad se ha estimado en función de los porcentajes de ocupación de las vías según tipos de vehículos, recogido en Ayuntamiento de Madrid (2017). El desglose por tipo de combustible se ha realizado siguiendo igualmente la información que aporta dicho informe.

**Tabla A3. V-km totales anuales en función de la tecnología y el año de matriculación de los turismos y motocicletas del parque móvil existente en España**

	Turismo			Motocicleta
Millones v-km	67199			9884
Tecnología	Gasolina	Gasóleo	Otros	Gasolina
Totales	17464	49706	28,7	9884
> 20 años	1045	2975	N/A	592
15 - 19 años	3226	9183	N/A	1826
10 - 14 años	6297	17922	N/A	3564
5 - 9 años	3353	9542	N/A	1897
< 4 años	3217	9156	28,7	1821

Fuente: Elaboración propia

El último paso antes de calcular las emisiones totales es estimar también unas emisiones medias por tipo de vehículo y antigüedad. En un primer momento cabría pensar que la manera correcta de obtener los consumos medios era partir de los datos aportados por los fabricantes. No en vano, esa fue la primera aproximación seguida, pero los resultados de emisiones se quedaron muy por debajo de los que nos ofrece el inventario, y los consumos por debajo de las estadísticas de CORES (2020). Concretamente, usando datos de 2015 para la comparación, las emisiones totales obtenidas para el transporte por carretera rondaron los 62 millones de toneladas de CO<sub>2</sub>, por los 82 que refleja el Inventario. Por ello, se optó por estimar unos factores de consumo que fueran más acordes con los reales de los vehículos. Se trató de un ejercicio iterativo que buscaba cuadrar las emisiones y los consumos con los recogidos en las estadísticas oficiales (Inventario de Emisiones y CORES), siempre cuidando que los valores propuestos estuvieran dentro de unos márgenes sensatos y realistas. La Tabla A4 recoge los valores finalmente utilizados.

**Tabla A4. Consumo medio anual en función del año de matriculación**

	Año	Gasoil (l/100km)	Gasolina (l/100km)	Otros (l/100km)	Motocicletas (l/100km)
Consumo medio anual	2000	9,71	12,81	N/A	6,46
	2005	8,73	11,73	N/A	6,37
	2010	7,76	10,71	N/A	5,97
	2015	6,8	9,67	5,32	5,50

Fuente: Elaboración propia

A partir de estos consumos, y conociendo los vehículos-km totales recorridos por los vehículos (turismos y motos) a nivel urbano (ver Tabla A2), se calculó el consumo en litros y en unidades energéticas de este modo de transporte privado urbano desagregado por tipo de combustible y por vehículo turismo o motocicleta. Por otro lado, para calcular las emisiones de CO<sub>2</sub> generadas por los turismos y motocicletas se multiplicaron los valores anteriores por sus respectivos factores de emisión. Los resultados agregados están recogidos en la Tabla A5.

**Tabla A5. Consumos energéticos anuales de los modos turismo y motocicleta a nivel urbano**

Turismo				
Combustible	Antigüedad	I	J	kgCO <sub>2</sub>
Diésel	<10 años	1,36E+09	4,98E+16	3,60E+09
	10-20 años	2,46E+09	8,97E+16	6,48E+09
	>20 años	2,89E+08	1,05E+16	7,63E+08
Gasolina	<10 años	6,70E+08	2,38E+16	1,70E+09
	10-20 años	1,15E+09	4,09E+16	2,91E+09
	>20 años	1,34E+08	4,75E+15	3,39E+08
Otros	<10 años	1,53E+06	5,42E+13	3,86E+06
	10-20 años	***	***	***
	>20 años	***	***	***
Totales		6,07E+09	2,19E+17	1,58E+10
Motocicleta				
Combustible	Antigüedad	I	J	kgCO <sub>2</sub>
Gasolina	<10 años	2,21E+08	7,79E+15	5,58E+08
	10-20 años	3,56E+08	1,26E+16	9,01E+08
	>20 años	3,95E+07	1,39E+15	9,99E+07
Totales		6,16E+08	2,18E+16	1,56E+09

Fuente: Elaboración propia

Así, según los cálculos y estimaciones realizados, el modo de transporte privado turismo y motocicleta a nivel urbano emitió aproximadamente 17,4 millones de toneladas de CO<sub>2</sub>.

### 7.1.2. Transporte privado interurbano de pasajeros

Se incluyen dentro del **transporte privado** de viajeros por carretera los siguientes modos de transporte:

- Turismos: vehículo privado con una ocupación media estimada que recorre un trayecto por una carretera de titularidad estatal.
- Motocicletas: vehículo privado con una ocupación media estimada que recorre un trayecto por una carretera de titularidad estatal.

La Tabla A6, obtenida del informe del OTLE (Ministerio de Transportes, 2020), presenta la evolución de la demanda entre 2012 y 2017 en millones de viajeros-km los diferentes modos de transporte mencionados, incluyendo también los autobuses. Como se puede observar, el modo predominante de transporte por carretera, con mucha diferencia, es el turismo. La movilidad en vehículos privados absorbió una demanda más de diez veces superior al autobús en 2017.



**Tabla A6: Viajeros-kilómetro en interurbano. Serie histórica 2012-2017. Millones de viajeros-km**

	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Autobuses	54531	53836	39469	46389	47763	30510
Motocicletas	1968	1937	2221	2150	5401	5349
Turismos	321045	316539	308704	317533	329880	332858

Fuente: Ministerio de Transportes (2020)

Esta elevada demanda en millones de viajeros-km también se refleja en la demanda de transporte interurbano en términos de vehículos-km, como se puede observar en la Tabla A7. Conviene destacar un cambio en la metodología de cuantificación del OTLE según la cual, a partir de 2016, las motocicletas pasan a estar incluidas dentro de los vehículos ligeros.

**Tabla A7. Vehículo-kilómetro en interurbano. Serie histórica 2012-2017. Millones de vehículos-km**

	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Autobuses	2308	2250	1715	2023	2030	1292
Motocicletas	1472	1449	1587	1535	***	***
Ligeros	198677	195624	197373	204204	213798	218033
Total	202457	199323	200675	207762	239353	244661

Fuente: Ministerio de Transportes (2020)

Ya estamos pues en condiciones de calcular los consumos y las emisiones de este modo de transporte privado por carretera. Será el dato de vehículos-km de vehículos ligeros en 2017 recogido en la Tabla A7 el que sirva de punto de partida para dicho cálculo. El caso de los autobuses interurbanos será analizado en una sección posterior.

Para el cálculo de consumo energético y emisiones del modo transporte privado de viajeros a nivel interurbano en coche y moto se va a seguir la misma metodología que la usada para el transporte privado de viajeros a nivel urbano. Al no conocerse el desglose exacto de kilómetros recorridos según la edad media del vehículo, se hará dicho reparto de kilómetros de forma proporcional al parque circulante actual de turismos y motocicletas, no al parque real. Para ello se ha utilizado el informe de la DGT (2018) que analiza los kilómetros realizados por los turismos y motocicletas privados a partir de la información de las ITVs. El reparto entre diésel y gasolina, que no se puede obtener de los informes de ITVs, se ha obtenido a partir de datos de CORES (2020) y el Inventario Nacional de emisiones (MITECO, 2020a), que incluye no solo emisiones sino energía consumida. De esta forma se ha llegado a un escenario de 76% diésel y 24% gasolina. Así, el desglose de vehículos-km ligeros de la Tabla A7, repartidos de forma proporcional a los datos de parque circulante, se muestra en la Tabla A8.

**Tabla A8. Desglose de los vehículos en circulación según el año de matriculación**

Tecnología		Gasolina (M v-km)	Gasoil (M v-km)	Otros (M v-km)
Totales	218033	34871	183072	89.84
>20 años	5,04%	1757	9227	N/A
15 - 19 años	14,23%	4962	26051	N/A
10 - 14 años	27,80%	9694	50894	N/A
5 - 9 años	20,95%	7305	38354	N/A
< 4 años	31,98%	11152	58547	89.84

Fuente: Elaboración propia

El consumo medio utilizado (Tabla A9) se ha obtenido partiendo de los datos de la Tabla A4 y calculando un porcentaje de reducción de consumo medio en ciclo extra-urbano con respecto al urbano. Dicho porcentaje se obtuvo analizando datos aportados por fabricantes para una serie de modelos de turismo tipo. Los resultados de este análisis reflejaron un consumo entre un 25% y un 40% menor en este tipo de ciclo extra-urbano con respecto al urbano. Finalmente optamos por asumir el valor más bajo de la horquilla (25%). Conviene recalcar en este punto en que los autores son conscientes de la importancia de este factor, el cual, unido a las emisiones recogidas en la Tabla 2, marcan el valor de emisiones agregadas de vehículos turismos resultante. La constatación de si estos supuestos resultan válidos o no, vendrá, como ya se puso de manifiesto anteriormente, de su comparación con los valores de emisiones aportados por el Inventario de Emisiones. Las tablas resumen del final de este capítulo recogen esta comparación.

**Tabla A9. Consumos medios en función de la tecnología y el año de matriculación**

	Año	Gasoil (l/100km)	Gasolina (l/100km)	Híbrido (l/100km)
Consumo medio anual	2000	7,28	9,61	N/A
	2005	6,55	8,8	N/A
	2010	5,82	8,03	N/A
	2015	5,1	7,25	3,99

Fuente: Elaboración propia

A partir de los kilómetros y el consumo medio por año se calculan los litros totales consumidos de gasolina y gasoil. Los resultados se muestran en la Tabla A10.

**Tabla A10. Consumos totales en función de la tecnología y el año de matriculación**

Tecnología		Gasolina	Gasoil	Otros
Totales		2553	9816	358
>20 años	5,04%	149	593	N/A
15 - 19 años	14,23%	421	1675	N/A

Tecnología		Gasolina	Gasoil	Otros
10 - 14 años	27,80%	752	2942	N/A
5 - 9 años	20,95%	517	1971	N/A
< 4 años	31,98%	714	2635	358

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, de los datos anteriores se obtienen los consumos energéticos y las emisiones totales (Tabla A11).

**Tabla A11. Consumos y emisiones de los vehículos privados en carretera**

Turismo				
Combustible	Antigüedad	I	J	kgCO2
Diésel	<10 años	4,06E+09	1,57E+17	1,07E+10
	10-20 años	4,07E+09	1,57E+17	1,07E+10
	>20 años	5,23E+08	2,02E+16	1,38E+09
Gasolina	<10 años	2,00E+09	7,30E+16	5,06E+09
	10-20 años	1,91E+09	6,96E+16	4,82E+09
	>20 años	2,42E+08	8,84E+15	6,13E+08
Otros	<10 años	3,58E+08	1,31E+16	9,07E+08
	10-20 años	***	***	***
	>20 años	***	***	***
Totales		1,32E+10	4,98E+17	3,42E+10

Fuente: Elaboración propia

Según los cálculos y estimaciones realizados, en el año 2017, el transporte privado de viajeros a nivel interurbano provocó unas emisiones de 34,2 millones de toneladas de CO<sub>2</sub>. Dentro de la desagregación propuesta en este informe se trata del modo de transporte más contaminante.

### 7.1.3. Transporte público urbano de pasajeros

El primer paso para la obtención de la demanda de transporte público urbano y metropolitano consistió en recabar la información referente a la población de las áreas a estudiar. Por claridad, se optó por diferenciar entre dos tipos de poblaciones:

- *Población central:* la que reside en el núcleo urbano de la ciudad.
- *Población área metropolitana funcional:* la que reside en el área metropolitana de la ciudad. Es decir, la población que reside en la capital o núcleo urbano más la población que reside en la periferia o ciudades dormitorio.

Esta diferenciación se realiza porque en general, los datos disponibles de movilidad se corresponden con transporte “metropolitano”, incluyendo servicios de transporte público tanto a nivel urbano (como por ejemplo autobús urbano que da servicio en el centro de la ciudad) como metropolitano (por ejemplo, autobús metropolitano, cercanías Renfe y en algunas áreas el metro).

Las áreas metropolitanas de las que se disponen datos son: 1. *Madrid*, 2. *Barcelona*, 3. *Valencia*, 4. *Sevilla*, 5. *Vizcaya*, 6. *Asturias*, 7. *Málaga*, 8. *Mallorca*, 9. *Zaragoza*, 10. *Bahía de Cádiz*, 11. *Guipúzcoa*, 12. *Tarragona*, 13. *Granada*, 14. *Alicante*, 15. *Lleida*, 16. *Pamplona*, 17. *Campo de Gibraltar*, 18. *A Coruña*, 19. *Jaén*, 20. *León* y 21. *Cáceres*.

Según datos del INE (2020a), en estas áreas metropolitanas reside una población de 23,05 millones de habitantes (53,2% de la población total en España). Si ampliamos al ámbito metropolitano, esta población alcanza los 28,92 millones de habitantes.

Una vez caracterizadas las principales áreas metropolitanas a estudiar, se caracterizaron los modos de transporte público implicados. Se incluyen los siguientes modos: autobús urbano central, otro autobús urbano, autobús metropolitano, metro, tranvía, cercanías RENFE y ferrocarril.

De entre todos ellos, los modos de los cuales se han obtenido datos contrastados son:

- **Autobuses urbanos metropolitanos:** prestan servicio en los diferentes municipios del área metropolitana. Ej.: en Pamplona un mismo servicio de autobús opera tanto para Pamplona como para el resto de municipios de la comarca, por lo que no puede hablarse de autobús urbano o autobús metropolitano.
- **Otros autobuses urbanos:** se corresponden a autobuses urbanos de municipios colindantes con la capital que también prestan un servicio de transporte en la misma. Ej.: los servicios de autobuses de Alcalá de Guadaira o Dos Hermanas (municipios colindantes a Sevilla capital), o entre Tarragona y Reus se incluyen en esta categoría.
- **Autobuses urbanos central:** autobuses urbanos que presta servicios exclusivamente en el ámbito del núcleo urbano. No existe servicio intermunicipal.
- **Metro, Tranvía/metro ligero:** servicios de ferrocarril público exclusivo del ámbito del núcleo urbano. Nótese que en algunas ciudades únicamente se ofrece el servicio de metro (Ej. Mallorca) o de tranvía/metro ligero (Ej. Zaragoza) y en otros ambos servicios (Ej. Madrid)
- **Cercanías:** servicio de ferrocarril público (Renfe, FGC, Métrica y Euskotren) generalmente de ámbito metropolitano que ofrece transporte entre municipios colindantes.
- **Taxi:** vehículo que ofrece servicios de transporte a un viajero o grupos de viajeros los cuales determinan el destino a cambio de una remuneración. Aunque este servicio se puede dar a nivel interurbano (carretera) su ámbito predominante es el urbano y especialmente la zona central.

Se comenzará en esta sección analizando la demanda y los consumos energéticos y emisiones de los autobuses y modos ferroviarios, dejando los taxis para un segundo momento.

Tras analizar los datos del Observatorio de Movilidad Metropolitana (OMM, 2019), principal fuente de datos para este modo de transporte, se obtuvieron los viajeros-km en el conjunto de áreas metropolitanas anteriormente mencionadas de las que se dispone de información. En estas, se produjeron un total de 3.592 millones de viajes en transporte público: autobús, metro, tranvía y ferrocarril. De ellos, 1.756,5 millones fueron en autobús, y el resto en modos ferroviarios, a saber, 1.835,5 millones de viajes. De los viajes en autobús, 1.337,5 millones fueron en bus urbano, y 419 millones de viajes en buses metropolitanos.



En relación a la demanda de movilidad, en estos núcleos urbanos alcanzó los 24.706 millones de viajeros-km (suma de todos los kilómetros recorridos por cada viajero) en 2017. La Tabla A12 recoge esta información desagregada por modo y área metropolitana.

**Tabla A12. Viajeros-km en transporte público urbano. 2017**

	Bus urbano	Otros buses urbanos	Bus metropolitano	Metro	Tranvía / Metro ligero	Cercanías Renfe	FF.CC. Autonómicos y FEVE	Total buses	Total FFCC.	Total
Madrid	1181,1	***	3088,1	3948,2	79	4168,1	***	4269,2	8195,3	12464,5
Barcelona	577,6	792,6	504,3	2155,5	74,8	2389,4	1305,2	1874,5	5924,9	7799,4
Valencia	n,d,	n,d,	n,d,	417,5	64,1	492,8	***	n,d,	974,4	974,4
Sevilla	256,5	3,7	154,5	86,7	4	178,6	***	414,7	269,3	684
Bizkaia	n,d,	n,d,	n,d,	n,d,	n,d,	96,1	17,6	n,d,	113,7	113,7
Asturias	155,8	104,7	n,d,	***	***	93,3	36,8	260,5	130,1	390,6
Málaga	262	***	120,1	31	***	190,3	***	382,1	221,3	603,4
Mallorca	137,5	***	217	4,5	***	***	106,5	354,5	111	465,5
B. Cádiz	n,d,	***	107,2	***	***	63,5	4,6	107,2	68,1	175,3
Zaragoza	n,d,	***	n,d,	***	159,9	2,9	***	n,d,	162,8	162,8
Gipuzkoa	161,9	***	***	***	***	110	110	161,9	220	381,9
Almería	n,d,	n,d,	47,7	***	***	***	***	47,7	n,d,	47,7
Alicante	n,d,	***	n,d,	***	132,1	***	***	n,d,	132,1	132,1
Lleida	n,d,	***	38,6	***	***	***	6,3	38,6	6,3	44,9
Pamplona		135		***	***	***	***	135	n,d,	135
C. Gibraltar	n,d,	3,6	18,5	***	***	***	***	22,1	n,d,	22,1
A Coruña	77,8	***	***	***	***	***	***	77,8	n,d,	77,8
León	26,9	***	n,d,	***	***	***	4,4	26,9	4,4	31,3

Fuente: OMM (2019)

Adicionalmente, OMM (2019) también ofrece información sobre los vehículos-km recorridos en cada modo y en diferentes áreas metropolitanas. En esta ocasión a la lista anterior se suman datos de Tarragona, Granada, Jaén y Cáceres. La Tabla A13 recoge esta información.

Tabla A13. Vehículos-km en transporte público urbano. 2017

	Bus urbano	Otros buses urbanos	Bus metropolitano	Metro	Tranvía / Metro ligero	FF.CC. Autonómicos y FEVE	Total buses	Total FF.CC.	Total
Madrid	91,4		174,4	189,6	12,7	***	265,8	202,3	468,1
Barcelona	42,6	49,6	48,2	93,6	2,6	28,8	265,4	125	390,4
Valencia	20,1	***	7,2	6,2	1,5	***	27,3	7,7	35
Sevilla	18,8	1,1	10,7	2	0,2	***	32,8	2,2	35
Bizkaia	n,d	n,d	27,6	n,d	n,d	***	27,6	***	27,6
Asturias	4,3	4,9	n,d	***	***	***	9,2	***	9,2
Málaga	11,5	***	7,9	1	***	***	19,4	1	20,4
Mallorca	12	***	12,1	n,d	***	1,9	24,1	1,9	26
B. Cádiz	n,d	n,d	5,5	***	***	***	5,5	***	5,5
Zaragoza	18,4	***	4,7	***	1,2	***	23,1	1,2	24,3
Gipuzkoa	6,8	***	28	***	***	2,5	34,8	2,5	37,3
C. Tarragona	3,2	0,8	13,3	***	***	***	17,3	***	17,3
Granada	7	n,d	7,7	***	0,3	***	14,7	0,3	15
Almería	n,d	n,d	2,9	***	***	***	2,9	***	2,9
Alicante	4,8	***	2,2	***	2,7	***	7	2,7	9,7
Lleida	2	***	3,7	***	***	0,3	5,7	0,3	6
Pamplona		7,8		***	***	***	7,8	***	7,8
C. Gibraltar	n,d	n,d	1,7	***	***	***	1,7	***	1,7
A Coruña	5,7	***	***	***	***	***	5,7	***	5,7
Jaen	n,d	n,d	2,6	***	***	***	2,6	***	2,6
León	1,6	***	n,d	***	***	***	1,6	***	1,6
Cáceres	2	***	***	***	***	***	2	***	2

Fuente: OMM (2019)

De forma agregada, 804 millones de vehículos-km se recorrieron en 2017 en autobús urbano; y 347 millones en modos ferroviarios excluyendo Renfe Cercanías y FEVE. Para estos dos modos se distingue entre km-tren y km-rama<sup>2</sup>. Los datos para 2017 se presentan en la Tabla A14.

<sup>2</sup> Km-tren son los km realizados por los trenes, independientemente de las composiciones que lleve; km-rama son los km realizados por la suma de las diversas composiciones de un tren.

**Tabla A14. Km-tren y km-rama Cercanías y FEVE 2017**

	Renfe - Cercanías		FEVE	
	km-tren	km-rama	km-tren	km-rama
Madrid	22,01	36,86	***	***
Barcelona	17,42	27,96	***	***
Valencia	6,27	6,56	***	***
Sevilla	2,91	2,9	***	***
Bizkaia	2,48	2,48	0,56	0,64
Asturias	2,52	2,52	3,47	3,48
Málaga	1,47	1,47	***	***
B. Cádiz	0,85	0,85	***	***
Zaragoza	0,19	0,19	***	***
Gipuzkoa	1,76	1,76	***	***
León	***	***	0,43	0,44

Fuente: OMM (2019)

Una vez presentada esta somera caracterización de la demanda de transporte público urbano en autobús y modos ferroviarios en España, veamos cómo se pueden obtener los datos de consumo y emisiones para estos modos de transporte. En cualquier caso, conviene dejar claro en este punto que los resultados que se obtengan recogerán únicamente las estadísticas de las 22 áreas metropolitanas analizadas, que, como se expuso anteriormente, engloban una población aproximada de 29 millones de habitantes, un 62% de la población total.

#### 7.1.3.1. Transporte urbano de pasajeros: autobús

De la Tabla A13, el modo de transporte público autobús urbano/metropolitano supuso en el año 2017 un total de 804 millones de vehículos-km. Además del dato anterior, para poder obtener los flujos energéticos y de emisiones es necesario disponer del dato de consumo medio. Para ello se consultaron fichas de características técnicas de diferentes marcas de vehículos en función del tipo de combustible consumido. La Tabla A15 recoge los resultados obtenidos en función de los ciclos realizados.

**Tabla A15. Consumos de diferentes modelos de autobuses urbanos en función de sus ciclos de prueba**

Modelo		Lion's City NL 293	Lion's City hybrid	Citaro Diésel Euro VI	Citaro NGT Euro VI	Citaro Compact Hybrid Euro VI
Fabricante		MAN		Mercedes-Benz		
Motor		Diésel	Híbrido	Diésel	Gas Natural	Híbrido
Potencia		213 kW	184 kW	220 kW	222 kW	220 kW
Ciclo 1 (tráfico pesado)	Consumo (l/100km)	41	30,9	40,15	44,69	37,3
	CO <sub>2</sub> (g/km)	1078	813	1059,96	1135,1	985,8
	Nox (g/km)	0,6	0,46			
	PM (g/km)	0,02	0,01			
	CO (g/km)	0	0			
Ciclo 2 (semáforo ciudades)	Consumo (l/100km)	35,3	29,9	34,96	35,94	32,3
	CO <sub>2</sub> (g/km)	928	786	922,94	912,9	858,3
	Nox (g/km)	0,52	0,44			
	PM (g/km)	0,01	0,01			
	CO (g/km)	0	0			
Ciclo 1 (suburbana)	Consumo (l/100km)	32,9	28,7	32,37	31,49	30,1
	CO <sub>2</sub> (g/km)	865	755	854,57	799,8	794,7
	Nox (g/km)	0,49	0,42			
	PM (g/km)	0,01	0,01			
	CO (g/km)	0	0			

Fuente: Elaboración propia

Como no se conoce el reparto de kilómetros recorridos por este modo a nivel urbano (zona centro de la ciudad) y metropolitano (incluye corona periférica), para el cálculo tanto de consumos como de emisiones de CO<sub>2</sub>, se ha considerado el denominado ciclo 2. Este ciclo recoge los consumos y emisiones medias tanto de condiciones de un tráfico de gran intensidad, concentrado en zonas céntricas de las áreas urbanas, como de un tráfico más fluido en coronas periféricas de esas mismas áreas. De esta manera, los consumos medios de combustible considerados por tecnología, así como las emisiones medias de CO<sub>2</sub> consideradas se presentan en la Tabla A16 y la Tabla A17, respectivamente.

**Tabla A16. Consumos medios autobuses urbanos en función del combustible empleado**

Consumos medios (l/100km)	
Diésel/Biodiésel	35
GNC	36
Híbrido	31

Fuente: Elaboración propia



**Tabla A17. Emisiones medias de los autobuses urbanos en función del combustible empleado**

Emisiones (gr/km)	
Diésel/biodiésel	925
GNC	913
Híbrido	822

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, la proporción de autobuses diésel/biodiésel, gas natural e híbridos se ha obtenido revisando las estadísticas disponibles a través de las empresas que los operan, a saber:

- EMT: Empresa Municipal de Transporte de Madrid.
- TMB: Transporte Metropolitano de Barcelona.
- EMTV: Empresa Municipal de Transportes de Valencia.
- TUSSAN: Empresa de Transporte Urbano de Sevilla.
- EMTSAM: Empresa de Transporte urbano de Málaga.
- BILBOBUS: Empresa de Transporte urbano de Bilbao.

De esta forma, se estima que, de forma agregada, el porcentaje de autobuses se distribuye así: 57% diésel, 36% GNC y 7% híbridos. No se ha tenido en cuenta en este caso el despliegue de autobuses eléctricos, que ha empezado en fechas más recientes.

Así, partiendo de esos 804 millones de vehículos-km realizados al año por el conjunto de autobuses en el ámbito urbano y metropolitano y las cifras medias de consumo y de emisiones medias, se obtienen las magnitudes de consumo total de combustible (litros), energía (Julios) y emisiones (kg de CO<sub>2</sub>) realizadas por el transporte urbano y metropolitano de autobuses en el año 2017. Los resultados se recogen en la Tabla A18.

**Tabla A18. Consumos y emisiones totales de los autobuses urbanos en el año 2017 en función del combustible empleado**

Combustible	v-km	I	J	kgCO2
Diésel/Biodiésel	4.55E+08	1.59E+08	6.16E+15	4.05E+08
GNC	2.89E+08	6.64E+07	5.97E+14	1.34E+07
Híbrido (diésel)	5.65E+07	2.18E+06	8.41E+13	5.54E+06
TOTAL	8.00E+08	2.28E+08	6.84E+15	4.24E+08

Fuente: Elaboración propia

De esta forma, según las estimaciones y cálculos realizados, en el año 2017 el autobús urbano de pasajeros consumió un total de 228 millones de litros de combustible (diésel, GNC, híbrido) y emitió 0,42 millones de toneladas de CO<sub>2</sub>, siempre dentro de las áreas metropolitanas analizadas.

Estos datos no son directamente comparables con un campo específico del Inventario Nacional de Emisiones, pues los autobuses computan en el grupo 3, junto con los camiones pesados. Será en las tablas recopilatorias del final del capítulo donde se realice esta comparación.

#### 7.1.3.2. Transporte público urbano de pasajeros: metro, metro ligero y tranvía

Para determinar el consumo energético del transporte público urbano de pasajeros metro, metro ligero y tranvía, en primer lugar, se ha utilizado la herramienta de cálculo para transporte ferroviario del IDAE (2020). Esta herramienta permite extraer la eficiencia energética del vehículo en kWh/km en función del servicio ofertado (metro, cercanías, AVANT, etc.) y el modelo del tren. Consiste en una metodología de valoración del consumo energético de diferentes composiciones ferroviarias atendiendo a sus características técnicas y diseño, así como al tipo de vía en el que va a prestar servicio. Para determinar los diferentes tipos de tren que operan el servicio de metro se ha consultado el parque móvil en su web. Los coches y series en funcionamiento de metro se recogen en la Tabla A19.

**Tabla A19. Modelos del parque móvil de metros y nº de coches de cada tipo**

Tipo de material móvil	nº de coches
2000	724
3000	500
5000	202
6000	19
7000	222
8000	389
9000	258
Metros ligeros	8
Total	2322

Fuente: IDAE (2020) y elaboración propia

Sin embargo, no todos los modelos están presentes en la herramienta del IDAE. Por ello, se ha determinado la eficiencia energética y el consumo de aquellos modelos de los que se disponen datos en la herramienta y que son los siguientes: 3000, 5000, 7000B y 9000B (Tabla A20).

**Tabla A20. Eficiencias energéticas diferentes modelos de metro**

		METRO/METRO LIGERO				Consumo medio
		3000	5000	7000B	9000B	
Energía importada en pantógrafo	kWh/viajero	12,4	11,3	10,3	10,8	11,22
Consumo neto en pantógrafo	kWh/viajero	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Suplemento de CO <sub>2</sub> , consumos indirectos	kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Fuente: Elaboración propia

La eficiencia energética media de los diferentes modelos de metro medida a partir del consumo en el pantógrafo<sup>3</sup> se sitúa en 11,22 kWh/viajero-100 km. Nótese que este es el consumo bruto del vehículo ferroviario, es decir el que obtiene directamente de la red sin considerar las pérdidas y/o eficiencias.

Se ha hecho el supuesto de que los consumos de los vehículos de metro ligero y tranvía son iguales al metro. Aunque se conocen las demandas exactas tanto del metro como del metro ligero y tranvía, la herramienta de cálculo del IDAE no recoge las eficiencias de estos modos de transporte. En cualquier caso, dado que su demanda en 2017 apenas representa un 3% de la demanda total de estos tres servicios, el impacto en los flujos energéticos y medioambientales será pequeño.

A partir de la eficiencia energética y la suma total de viajeros-kilómetro de los tres modos (metro, metro ligero y tranvía) de la Tabla A12 (7200 millones de v-km), se obtiene la energía consumida en el año 2017 y las emisiones totales de los modos metro, metro ligero y tranvía en todo el territorio nacional (Tabla A21).

**Tabla A21. Consumo energético del metro, metro ligero y tranvía. 2017**

Consumo energético (kWh/viajero-km)	0,11
Viajeros-km	7,20E+09
Consumo energético (J)	2,93E+15
Emisiones (kgCO <sub>2</sub> )	2,35E+08

Fuente: Elaboración propia

Según los cálculos y estimaciones realizadas, en el año 2017 los modos de transporte público urbano metro, metro ligero y tranvía emitieron un total de 235 millones de kgCO<sub>2</sub>. Al tratarse de emisiones debidas a la producción eléctrica, no computan dentro de la tabla de transporte del Inventario de emisiones, por lo que no se va a plantear una comparación directa. En cualquier caso, sí conviene destacar que estamos en el rango de los 0,2 millones de toneladas de CO<sub>2</sub>, muy por debajo por tanto de las emisiones debidas al transporte privado.

### 7.1.3.3. Transporte urbano de pasajeros: cercanías

Al igual que en el caso de metro, metro ligero y tranvía, el consumo del modo cercanías se ha obtenido a partir de la herramienta de cálculo del IDAE (2020) introduciendo los modelos del parque existente que ofrecen servicio de cercanías. Esta herramienta no permite el cálculo de consumo energético y medioambiental para los modelos de FGC y Euskotren. Sin embargo, dado que la motorización de la totalidad de los coches que ofrecen estos servicios es eléctrica, se ha hecho el supuesto de que el consumo energético de los coches pertenecientes al servicio FGC y Euskotren es el mismo que el de cercanías. Los coches y series en funcionamiento en el servicio cercanías Renfe son los siguientes: 442, 446, 447 y 450/451. Para cada uno de ellos se ha calculado la media de los diferentes consumos en kWh/viajeros-km, según se recoge en la Tabla A22.

<sup>3</sup> Dispositivo a través del cual una locomotora, automotor o cualquier otro vehículo ferroviario recibe la energía eléctrica que le proporciona la fuerza de tracción.

**Tabla A22. Eficiencias energéticas diferentes modelos de tren de cercanías**

		CERCANÍAS				Consumo medio
		442	446	447	450 / 451	
Energía importada en pantógrafo	kWh/viajero	n.d.	5,69	5,24	5,40	5,44
Consumo neto en pantógrafo	kWh/viajero	n.d.	0,70	0,59	0,92	0,74
Suplemento de CO <sub>2</sub> , consumos indirectos	kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>	n.d.	0,18	0,15	0,24	0,19

Fuente: IDAE (2020)

A partir del consumo medio (kWh/viajero-km) de los diferentes modelos de tren cercanías y la demanda absorbida en viajero-km por el servicio Cercanías Renfe, Cercanías (antiguo Renfe métrica), Euskotren y FGC de la Tabla A12 (9400 millones de v-km), se calcula el consumo energético total del modo cercanías en el año 2017 (Tabla A23).

**Tabla A23. Consumo energético y emisiones del modo cercanías. 2017**

Consumo energético (kWh/viajero-km)	0,0544
Viajeros-km	9,40E+09
Consumo energético (J)	1,86E+15
Emisiones (kgCO <sub>2</sub> )	1,45E+08

Fuente: Elaboración propia

Así, según los cálculos y estimaciones realizadas, los servicios ferroviarios de transporte de pasajeros a nivel urbano en España (Cercanías Renfe, Cercanías, Euskotren y FGC) emitieron 145 millones de kgCO<sub>2</sub>. Al igual que en el caso del metro, metro ligero y tranvía, este dato de emisiones relacionadas con la movilidad vinculada al tren de cercanías no puede compararse con la tabla de emisiones de transporte del inventario.

#### T7.1.3.4. Transporte urbano de pasajeros: taxi

Para analizar la **demanda de taxi** se han utilizado los estudios de Vectio (2016) para Madrid y de Gesman (2017) para Valencia.

Según el informe de Vectio, la flota circulante del parque de vehículos taxi alcanzaba las 15.664 licencias en 2016 y su desagregación en función de las distintas tecnologías de los vehículos se recogen en la Tabla A24.

**Tabla A24. Distribución de licencias de Taxi en Madrid según tecnología de motorización**

Tecnología	Licencias	%
Diésel	10115	64,59
Híbrido	3490	22,28
GLP	2024	12,92

Tecnología	Licencias	%
Eléctrico	29	0,19
Gas Natural	6	0,04
Total	15664	100

Fuente: Vectio (2017)

El siguiente dato analizado fue al número de trayectos seguido de la distancia media de los mismos. En este análisis se tuvo en cuenta la información aportada por el informe de Vectio sobre el número de licencias operadas a doble turno en Madrid. La Tabla A25 recoge los datos reseñados.

**Tabla A25. Kilómetros totales recorridos al día por tipo de licencia de Taxi**

	Participación	Totales	%
Licencias colaboradoras	603	15663	100
Licencias a 1 turno	572	14857,8	95
Licencias a 2 turnos	32	831,2	5
<b>1 turno</b>			
	<b>Madrid</b>	<b>Valencia</b>	<b>Media</b>
Carrera media (km/día)	6,4	4,6	5,5
Carreras/día	14,9	17,6	16,3
Total km/día	94,8	81	87,9
<b>2 turnos (Madrid)</b>			
Carrera media (km/día)	6		
Carreras/día	28,8		
Total km/día	173,4		

Fuente: Vectio (2017) y Gesman (2017)

Una vez obtenidos los kilómetros recorridos por licencia al día se aplicó un factor de corrección del 0,868 (1-1/7) al número de días que el taxi opera en el año pues, aunque un mismo taxi lo pueden explotar dos turnos diferentes (8 horas cada uno) existe un día obligatorio de descanso para cada conductor (se han obviado posibles vacaciones del conductor). Así, se obtuvieron el número de kilómetros recorridos al año por cada licencia aplicando el factor de corrección. Se trata de 27.427 km/año para taxis operados en un solo turno diario y 54.089 para taxis operados en dos turnos diarios. Finalmente, se extrapolaron estos resultados al conjunto de la población española a partir del número total de licencias en el territorio nacional, tal y como se recoge en la Tabla A26.



**Tabla A26. Kilómetros totales recorridos al en España por tipo de licencia de taxi**

	%	Licencias España (2015)	Totales (2015)	Total km/año	km totales
1 turno	95	70371	66753	27427	1830814
2 turnos	5		3542	54089	191609
				Total	2022423

Fuente: Elaboración propia

Según las estimaciones y cálculos realizados, en 2015, se realizaron aproximadamente 2 millones de kilómetros en taxi en todo el territorio nacional. Es importante tener en cuenta que los kilómetros calculados se corresponden a viajes en servicio o con pasajeros, pero se están obviando aquellas carreras vacías en las que el taxi no transporta a ningún cliente. Para una mejor aproximación al número total de kilómetros recorridos por este modo de transporte de pasajeros, y siguiendo los datos que aporta el informe de Vectio (2017) para el Ayuntamiento de Madrid en 2017, se va a considerar que los kilómetros en vacío son la mitad del total de los kilómetros recorridos por el taxi, lo que sitúa el total en 4.044.846 kilómetros recorridos anualmente por el modo taxi. Finalmente, para calcular el consumo energético de la flota de taxis a nivel nacional se aplicó el desglose de tecnologías en Madrid a todas las licencias a nivel nacional. Los consumos medios a aplicar se obtuvieron como media de los consumos declarados por los fabricantes para los modelos de taxi más comunes (Tablas A27-A29).

**Tabla A27. Modelos de taxis diésel y consumos medios**

VEHICULO DIÉSEL	CONSUMO (l/100 km)
RENAULT MEGANE	7,4
SEAT TOLEDO	6,3
SEAT ALHAMBRA	8,1
FORD MONDEO	7,6
CONSUMO MEDIO	7,35

Fuente: Elaboración propia

**Tabla A28. Modelos de taxis híbridos y consumos medios**

VEHICULO HÍBRIDO	CONSUMO (l/100 km)
Toyota Aurys Hybrid	4,7
Toyota Prius	4,4
Kia Niro	5,1
Hyunday Joniq	4,5
CONSUMO MEDIO	4,7

Fuente: Elaboración propia

**Tabla A29. Modelos de taxis de gasolina y consumos medios**

VEHICULO GLP	RANGOS DE CONSUMO (l/100km)		CONSUMO (l/100 km)
MEGANE II 1,6	9,38	10,2	9,38
OCTAVIA 1,6	7,65	9,06	8,36
VOLVO S 60 2,4	9,24	10,34	9,24
CONSUMO MEDIO			8,99

Fuente: Elaboración propia

La Tabla A30 presenta el desglose de vehículos-km totales estimados anteriormente según el tipo de motorización. Dicho desglose se ha realizado siguiendo el dato de licencias.

**Tabla A30. Distribución de las distancias recorridas por los taxis según tecnología empleada**

		Distribución km.	v-km (miles) 2015
Tecnología	Licencias	%	4,04E+06
Diésel	1,01E+01	64,6%	2,61E+06
Híbrido	3,49E+00	22,3%	9,02E+05
GLP	2,02E+00	12,9%	5,22E+05

Fuente: Elaboración propia

Así, los resultados de consumo energético y emisiones obtenidos para los taxis en España según los datos más recientes disponibles (2015) son los mostrados en la Tabla A31.

**Tabla A31. Consumos energéticos y emisiones de las diferentes tecnologías del taxi. 2015**

Combustible	I	J	kgCO2
Diésel	1.93E+08	7.48E+15	4.91E+08
Híbrido (gasolina)	4.24E+07	1.64E+15	1.08E+08
GLP	4.82E+07	1.86E+15	1.23E+08
TOTAL	2.84E+08	1.10E+16	7.22E+08

Fuente: Elaboración propia

Según los cálculos y estimaciones realizados, el modo de transporte urbano taxi en 2015 emitió un total de 722 millones de kg de CO<sub>2</sub>, es decir, aproximadamente 0,7 millones de toneladas de CO<sub>2</sub>.

#### 7.1.4. Transporte público interurbano de pasajeros

Como se anticipó en la sección dedicada al transporte privado interurbano, (ver Tabla A7), según el informe del OMM (2019) el número de vehículos-km dedicados al transporte público de viajeros en interurbano por **autobús** en 2017 se situó en 1292 millones, un 36% menos que en 2016.

Por otro lado, el segundo gran modo de transporte público de pasajeros en interurbano es el **ferroviario**, que se desglosa en media y larga distancia en función de los kilómetros recorridos por viajero. En las bases de datos obtenidas, el servicio de larga distancia incluye larga distancia convencional y alta velocidad comercial. Para media distancia, se conoce el desglose por cada tipo de producto (RENFE media distancia convencional, RENFE media distancia alta velocidad *AVANT* y RENFE métrica media distancia).

La Tabla A32 muestra la evolución de la demanda de transporte ferroviario en sus dos modos (larga distancia y media distancia) en España entre 2012 y 2017, según el informe del OTLE. Como se puede observar, es el servicio de larga distancia el que experimenta una mayor demanda en términos de viajeros-km, con mucha diferencia con respecto al servicio de media distancia. Es de destacar que la demanda del transporte ferroviario de media distancia ha experimentado una tendencia ligeramente decreciente entre 2012 y 2017 justo la contraria a la del transporte de larga distancia.

**Tabla A32. Millones de viajeros-kilómetros en tren. Serie histórica 2012-2017**

	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Larga distancia	10416	11943	12997	14014	14397	14831
Media distancia	3289	3153	3042	3090	3088	3175

Fuente: Ministerio de Transportes (2020)

Además de la demanda de servicio, resulta de interés conocer el número de kilómetros recorrido por cada modo de transporte. La Tabla A33 muestra esta información, obtenida igualmente del informe del OTLE.

**Tabla A33. Vehículos-km recorridos por trenes larga distancia. Serie histórica 2012-2017**

Larga distancia	2012	2013	2014	2015	2016	2017
pkm	10416	11943	12997	14014	14397	14831
viajeros por tren	180,74	199,08	203,05	229,69	240,59	244
millones km totales	57,63	59,99	64,01	61,01	59,84	60,78

Fuente: Ministerio de Transportes (2020)

De la misma forma, la Tabla A34 muestra el cálculo de los kilómetros recorridos por el tren de media distancia en la serie histórica 2012-2017.

**Tabla A34. Vehículos-km recorridos por trenes media distancia. Serie histórica 2012-2017**

Media distancia	2012	2013	2014	2015	2016	2017
pkm	3289	3153	3042	3090	3088	3175
viajeros por tren	74,7	70,4	75,8	77,6	76,5	78,8
millones km totales	44,03	44,79	40,13	39,82	40,37	40,29

Fuente: Ministerio de Transportes (2020)

Estos datos de vehículo-km para el autobús interurbano, y los de demanda de servicio (pasajero-km) para el tren de larga y media distancia, serán la base para el cálculo de los flujos energéticos y de emisiones que se obtienen a continuación.

#### 7.1.4.1. Transporte público interurbano de pasajeros: Autobús

En el caso del autobús, se ha calculado el consumo medio de combustible a partir del de IDAE (2006). Este documento presenta el consumo medio en litros de gasoil de diferentes vehículos en función de sus plazas y potencia. El resumen de dichos consumos se muestra en la Tabla A35.

**Tabla A35. Consumos y potencias de la flota de autobuses interurbanos**

Vehículo	Plazas	Potencia (CV)	Consumo (l/100km)
Autobús	55	460	26
Autobús	55	400	24
Autobús	55	320	23
		Media	24

Fuente: IDAE (2006)

A partir del consumo medio en litros por kilómetro y los kilómetros totales recorridos recogidos en la Tabla A7 (1292 millones de vehículos-km), se han calculado los litros totales consumidos por el modo autobús interurbano en el año 2017. Las tablas A36 y A37 muestran los resultados obtenidos.

**Tabla A36. Consumos energéticos anuales de la flota de autobuses interurbanos. 2017**

Consumo energético (l/km)	2,40E-01
km recorridos	1,29E+09
Litros consumidos	3,10E+08

Fuente: Elaboración propia

**Tabla A37. Consumos y emisiones del modo de transporte interurbano de autobús**

Combustible	I	J	kgCO <sub>2</sub>
Diésel	3,10E+08	1,20E+16	7,90E+08
TOTAL	3,10E+08	1,20E+16	7,90E+08

Fuente: Elaboración propia

De esta forma, según los cálculos y estimaciones realizados, el modo autobús interurbano de pasajeros consumió en 2017 un total de 12 PJ y emitió 790 millones de kg de CO<sub>2</sub>.

#### 7.1.4.2. Transporte público interurbano de pasajeros: ferrocarril

Para determinar el consumo energético y las emisiones del transporte ferroviario de pasajeros en sus diferentes servicios se ha utilizado la herramienta del IDAE (2020) mencionada anteriormente, la cual permite obtener la eficiencia energética en diferentes unidades. Entre ellas se puede obtener kWh/Km y kWh/viajero-100km. A continuación, se describen los cálculos realizados para obtener los flujos vinculados a la larga y a la media distancia, respectivamente.

##### 7.1.4.2.1. Larga distancia convencional y alta velocidad (AVE)

El primer modo ferroviario del que se determinarán los flujos energéticos y medioambientales fue el de larga distancia, que incluye larga distancia convencional y larga distancia alta velocidad (AVE). Para ello se siguió la misma metodología que el modo cercanías y metro.

En primer lugar, se comprobaron los modelos de tren existentes en el parque móvil actual para el servicio de larga distancia alta velocidad. Seguidamente se obtuvo el consumo medio de la flota de vehículos de cada servicio y se promediaron dichos consumos para obtener la eficiencia energética correspondiente al servicio ferroviario de larga distancia. La Tabla A38 muestra los resultados obtenidos en kWh/viajero-100km de los diferentes modelos de tren para el servicio de alta velocidad.

**Tabla A38. Eficiencias energéticas diferentes modelos de tren LD alta velocidad (AVE)**

		LD Alta Velocidad (AVE)			
		SERIE 100	SERIE 102/112	SERIE 103	Consumo medio
Energía importada en pantógrafo	kWh/viajero	6,00	6,41	6,53	6,31
Emisiones de CO <sub>2</sub>	kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>	1,48	1,45	1,50	1,47
Consumo neto en pantógrafo (E)	kWh/viajero	0,25	0,23	0,26	0,25

Fuente: IDAE (2020) y elaboración propia

Por otro lado, la Tabla A39 muestra la eficiencia energética media en kWh/viajero-100km de los diferentes modelos de tren para el servicio de larga distancia convencional.



**Tabla A39. Eficiencias energéticas diferentes modelos de tren LD convencional (ALVIA)**

		LD Convencional (ALVIA)			
		SERIE 120	SERIE 130	SERIE 730	Consumo medio
Energía importada en pantógrafo	kWh/viajero	4,28	4,09	n.d.	4,19
Consumo neto en pantógrafo (E)	kWh/viajero	0,96	0,93	n.d.	0,94
Suplemento de CO <sub>2</sub> , consumos indirectos	kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>	0,24	0,23	n.d.	0,24

Fuente: IDAE (2020) y elaboración propia

A partir de las eficiencias energéticas de las Tablas 39 y 40 se obtiene un consumo medio de 5,25 kWh/viajero-100km. Aunque en un principio se iba a utilizar esta eficiencia energética calculada a partir de la herramienta del IDAE para todo el modo de transporte ferroviario de larga distancia, se encontró otro dato de eficiencia en el Observatorio del Ferrocarril (OFE) (Ministerio de Fomento, 2017c) para transporte ferroviario de pasajeros calculado a partir del consumo medio de todos los servicios. La eficiencia energética del OFE se situaba en 10,8 kWh/viajero-100km (más del doble que la de IDAE). Se decidió pues usar como aproximación una media entre ambos consumos.

A partir del producto de la demanda en viajeros-km de la Tabla A32 (14831 millones de v-km) y la eficiencia media de ambos servicios de larga distancia obtenida según se ha descrito anteriormente, se obtuvieron los flujos energéticos totales del modo ferroviario larga distancia incluyendo larga distancia convencional y larga distancia alta velocidad (Tabla A40).

**Tabla A40. Consumos energéticos y emisiones de trenes larga distancia. 2017**

Consumo energético (kWh / viajero-km)	0,08025
Viajeros-km	1,48E+10
Consumo energético (J)	4,28E+15
Emisiones (kgCO <sub>2</sub> )	3,45E+08

Fuente: Elaboración propia

Así, según los cálculos y estimaciones realizados el servicio de larga distancia emitió 345 millones de kgCO<sub>2</sub>. Una vez más, se trata de un dato que computa en el Inventario Nacional dentro de emisiones en generación eléctrica por lo que no es directamente contrastable con los consumos de CORES o las emisiones del transporte del inventario.

#### 7.1.4.2.2. Media distancia convencional, media distancia alta velocidad AVANT y métrica

La metodología seguida para el cálculo de los flujos energéticos y de emisiones en los modos ferroviarios de media distancia convencional, media distancia alta velocidad AVANT y métrica es la misma que para larga distancia.

Desgraciadamente, en términos de consumo, la herramienta del IDAE no recoge ningún modelo del parque móvil de media distancia convencional. Por tanto, se hace el supuesto de que el consumo de los trenes que ofrecen servicio de media distancia convencional comparte la misma eficiencia energética que el parque móvil AVANT.

La Tabla A41 muestra la eficiencia energética media en kWh/viajero-100km de los diferentes modelos de tren para el servicio de media distancia alta velocidad (AVANT).

**Tabla A41. Eficiencias energéticas diferentes modelos de tren MD alta velocidad (AVANT)**

		MD Alta Velocidad (AVANT)			
		S-104	S-114	S-121	Consumo medio
Energía importada en pantógrafo	kWh/viajero	4,70	n.d.	4,98	4,84
Consumo neto en pantógrafo (E)	kWh/viajero	0,60	n.d.	0,60	0,60
Suplemento de CO <sub>2</sub> , consumos indirectos	kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>	0,15	n.d.	0,15	0,15

Fuente: IDAE (2020) y elaboración propia

Nuevamente se calcula la media de consumo entre los datos anteriores y el dato provisto por el OFE (10,8 kWh/viajero-100km), obteniéndose una eficiencia media de 0,075 kWh/viajero-km.

A partir del producto de la demanda en viajeros-km de ambos servicios de media distancia (3175 según Tabla A32) y la eficiencia del de larga distancia, se han obtenido los flujos energéticos totales del modo ferroviario media distancia que incluye media distancia convencional y media distancia alta velocidad (Tabla A42).

**Tabla A42. Consumos energéticos y emisiones de trenes media distancia. 2017**

Consumo energético (kWh / viajero-km)	7,50E-02
Viajeros-km	3,17E+09
J	8,56E+14
Emisiones (kgCO <sub>2</sub> )	6,89E+07

Fuente: Elaboración propia

Así, según los cálculos y estimaciones realizados, el servicio de media distancia emitió 68,9 millones de kgCO<sub>2</sub>. Una vez más, se trata de un valor de emisiones vinculado a generación eléctrica, no computable por tanto dentro de la tabla de emisiones del transporte del Inventario Nacional de Emisiones.

## 7.2 Transporte terrestre de mercancías

### 7.2.1. Transporte de mercancías ligeras en ámbito urbano

En esta categoría se recoge el transporte de mercancías mediante vehículos ligeros en un ámbito primordialmente urbano. Se trata de un modo de transporte no recogido explícitamente en el informe del OTLE, el cual había servido de referencia para la gran mayoría de modos de transporte analizados en este informe.

Debido a la ausencia de estas estadísticas oficiales, se ha utilizado la fuente de datos que usa el propio Ministerio de Transición Ecológica para su estimación de consumos y emisiones. Se trata del estudio del Parque Circulante del Ayuntamiento de Madrid (2018). En este estudio se ofrecen los porcentajes de ocupación de las vías por distintos tipos de vehículos desagregados por zonas y por categorías y tipo de combustible. En este caso, los datos rescatados han sido los que se referían a vehículos de transporte ligeros en recorridos urbanos desagregados por tipo de combustible: diésel y gasolina. La Tabla A43 recoge esta información en el último año disponible: 2016.

**Tabla A43. Reparto por combustible v-km mercancías ligeras. 2016**

	Vehículos-km (miles)
GASÓLEO	1,93E+07
GASOLINA	2,08E+05
Total general	1,95E+07

Fuente: Elaboración propia

Se puede observar que la práctica totalidad de los vehículos-km realizados se hacen en vehículos diésel. Para el cálculo del consumo y las emisiones de este modo de transporte de mercancías ligeras se ha partido del dato de vehículos-km obtenidos en la sección anterior y se han supuesto unas emisiones medias de los vehículos de reparto de 9 l/100km. Así, los consumos y las emisiones debidas al transporte de mercancías quedan reflejados en la Tabla A44.

**Tabla A44. Consumo y emisiones transporte mercancías ligeras. 2017**

	Diésel	Gasolina	Total
Vehículos-km	1,93E+10	2,08E+08	
Factor consumo l/100km	10,3	10,3	
Consumo (l)	1,99E+09	2,14E+07	2,01E+09
Consumo (J)	7,29E+16	7,50E+14	7,36E+16
Emisiones (kgCO <sub>2</sub> )	4,97E+09	5,66E+07	5,03E+09

Fuente: Elaboración propia

De esta forma, las emisiones vinculadas al transporte de mercancía ligera primordialmente urbano se sitúan en 5 millones de toneladas de CO<sub>2</sub>.

### 7.2.2. Transporte de mercancías pesadas

Para este análisis de la demanda de transporte de mercancías pesadas se ha utilizado la desagregación planteada por la Encuesta Permanente del Transporte de Mercancías por Carretera (Ministerio de Fomento, 2017b).

Comenzamos analizando el **transporte de mercancía pesada intramunicipal**. De la Tabla A45, cuya información proviene de la Encuesta anteriormente citada, se concluye que en 2017 se transportaron 239 millones de toneladas de mercancías en vehículo pesado a nivel urbano y se hicieron 1900 millones de toneladas-km.

**Tabla A45. Toneladas-km por tipo de vehículo y capacidad de carga en intramunicipal. 2017**

Tipo de vehículo y capacidad de carga	Miles de operaciones
TOTAL	2,22E+04
de 3,6 - 10 t	7,96E+03
de 10,1 - 18 t	7,04E+03

Fuente: Ministerio de Fomento (2017b)

De esta tabla se obtuvo una media de toneladas ponderada por número de operaciones de 10,72 t, que redondeamos a 11 t para el cálculo de los vehículos-km en este modo, cálculo que se recoge en la Tabla A46.

**Tabla A46. Número de vehículos-kilómetros de mercancías en intraurbano. 2017**

T-km recorridos	1,92E+09
Carga media transportada (t)	1,10E+01
Total vehículo km recorridos	1,74E+08

Fuente: Elaboración propia

El segundo modo analizado fue el de transporte intermunicipal de mercancías pesadas. De forma similar a la Tabla A45 para intramunicipal, la Tabla A47 recoge los datos de número de operaciones, toneladas transportadas y toneladas-kilómetros, respectivamente para el modo de transporte de mercancías pesadas en interurbano.

**Tabla A47. Toneladas-km por tipo de vehículo y capacidad de carga en interurbano. 2017**

Tipo de vehículo y capacidad de carga	Miles de operaciones
TOTAL	8,41E+04
de 3,6 - 10 t	1,94E+04
de 10,1 - 18 t	1,60E+04

Fuente: Ministerio de Fomento (2017b)

De la tabla anterior se obtuvo una media de toneladas ponderada por número de operaciones de 11,9 t, que redondeamos a 12 t para el cálculo de los vehículos-kilómetros en este modo, tal y como se recoge en la Tabla A48. Como curiosidad, hay que destacar que en todos los tipos de vehículos se da la paradoja que la media de toneladas transportadas por operación es inferior a la capacidad de carga mínima del vehículo, lo que indicaría una ineficiencia en el uso de las distintas alternativas de transporte.

**Tabla A48. Número de vehículos-kilómetros de mercancías en interurbano. 2017**

T-km recorridos	1,51E+11
Carga media transportada (t)	13
Total vehículo km recorridos	1,16E+10

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, el tercer modo analizado corresponde al transporte de mercancías pesadas de ámbito internacional. La Tabla A49 recoge los principales datos relacionados con este modo.

**Tabla A49. Toneladas-km por tipo de vehículo y capacidad de carga en internacional. 2017**

Tipo de vehículo y capacidad de carga	Miles de operaciones	Miles de Toneladas	Millones de T-km
TOTAL	7803	82961	80467
de 3,6 - 10 t	381	959	697
de 10,1 - 18 t	448	2024	788
Más de 18 t	14	77	409
Tractor con semi-remolque	6961	79901	78573

Fuente: Ministerio de Fomento (2017b)

De la tabla anterior se obtuvo una media de toneladas ponderada por número de operaciones de 10,63 t, que redondeamos a 11 t para el cálculo de los vehículos-kilómetros en este modo, tal y como se recoge en la Tabla A50.

**Tabla A50. Número de vehículos-kilómetros de mercancías en interurbano. 2017**

T-km recorridos	8,05E+10
Carga media transportada (t)	11
Total vehículo km recorridos	7,32E+09

Fuente: Elaboración propia

De esta forma, sumando las tres contribuciones, a saber, intraurbano, interurbano e internacional, tenemos un **total de 19,1 miles de millones vehículos-km en transporte de mercancías pesadas** en España en 2017.



Para determinar el consumo energético y las emisiones del transporte de mercancías por carretera realizados en transporte pesado, se ha partido de los kilómetros totales recorridos por este modo calculados anteriormente. El consumo medio para los diferentes vehículos pesados que realizan estos desplazamientos se tomó de IDAE (2006). Siguiendo los datos aportados por dicho informe, y aplicándoles un factor elevador siguiendo la misma lógica descrita en los apartados precedentes de turismos, se escogieron los siguientes consumos: para los recorridos intramunicipales se optó por un valor medio de 25 l/100km, mientras que para los intermunicipales e internacionales se fijó un valor medio de 45 l/100km. Así, a partir de este consumo medio en litros de gasoil por kilómetro y de los vehículos-km totales recorridos por este modo de transporte obtenidos anteriormente, se calcularon los litros y la energía consumidos, así como sus emisiones asociadas en el año 2017. La Tabla A51 muestra los resultados obtenidos.

**Tabla A51. Flujos energéticos y de emisiones del transporte pesado de mercancías. 2017**

	Intramunicipal	Intermunicipal	Internacional	Total
Total km recorridos	1,74E+08	1,16E+10	7,32E+09	1,91E+10
Consumo medio(l/100km)	2,50E+01	4,50E+01	4,50E+01	***
Consumo total (l)	4,36E+07	5,24E+09	3,29E+09	8,58E+09
Consumo total (J)	1,66E+15	2,00E+17	1,26E+17	3,28E+17
Factor de emisión (kg CO <sub>2</sub> /l)	2,64E+00	2,64E+00	2,64E+00	***
Consumo (l)	4,36E+07	5,24E+09	3,29E+09	8,58E+09
Total kg CO <sub>2</sub>	1,15E+08	1,38E+10	8,69E+09	2,26E+10

Fuente: Elaboración propia

Se observa de esta manera que el transporte de mercancías pesadas por carretera supuso 22,6 millones de toneladas de CO<sub>2</sub>, el segundo modo más contaminante de todos los analizados, por detrás de los vehículos privados en recorridos interurbanos.

### 7.2.3. Transporte ferroviario de mercancías

Se considera transporte ferroviario de mercancías a todos los servicios de transporte proporcionados por cuenta ajena sobre líneas de la Red Ferroviaria de Interés General, concesionario TP Ferro y las líneas ferroviarias de la competencia autonómica del País Vasco, Cataluña y Castilla y León. El servicio de transporte de mercancías ferroviario se puede diferenciar por el operador, repartándose fundamentalmente entre Renfe Mercancías (estatal) y otras empresas privadas.

En un primer lugar se analizó la evolución temporal de la demanda de **transporte ferroviario de mercancías en t-km**. La Tabla A52 recoge la demanda en t-km así como la demanda de toneladas netas. Se puede observar que la demanda de t-km es creciente desde 2013, con la única excepción de 2016 y 2017, donde descendió ligeramente. De esos 10.507 millones de toneladas-km, 6609 millones fueron absorbidas por Renfe Mercancías y el resto por empresas privadas. En relación a las toneladas netas transportadas, sí se ha producido un aumento con respecto a 2016, lo que indica una mejora en la eficiencia en este modo de transporte de mercancías.

**Tabla A52. Tn-km transporte mercancía pesada por ferrocarril. Serie histórica 2012-2017**

	2013	2014	2015	2016	2017
T-km (millones)	9366	10303	10812	10644	10507
Toneladas netas (miles)	24321	27392	28450	26618	28306

Fuente: Ministerio de Transportes (2020)

Adicionalmente, el informe del OTLE, recogiendo datos del OFE (Observatorio del Ferrocarril, Ministerio de Fomento, 2017c), muestra el número de trenes-km al año. Concretamente, para el año 2017, estos se situaron en 26,05 millones.

Por otro lado, la eficiencia energética media del transporte de mercancías por ferrocarril (tracción diésel y eléctrica) en términos de kWh/toneladas netas-100km se ha obtenido a partir de datos del OFE. Dicho documento presenta en la sección “Indicadores y sostenibilidad” el consumo medio de energía en términos de las toneladas-km del transporte ferroviario de mercancías considerando tanto la tracción diésel como la eléctrica. El dato que ofrece dicho informe para 2017 sitúa el consumo medio neto en 0,07 kWh/tonelada-km. A partir de ese dato de eficiencia y del dato de toneladas netas-km de la Tabla A52, se obtuvieron los flujos energéticos y de emisiones que recoge la Tabla A53.

**Tabla A53. Consumos energéticos y emisiones. 2017**

	2017
Consumo energético (kWh/tonelada neta-km)	0,07
toneladas netas-km	1,05E+10
Consumo energético (J)	2,70E+15
Emisiones (kgCO <sub>2</sub> )	2,17E+08

Fuente: Elaboración propia

De esta forma, las emisiones debidas al transporte de mercancías por ferrocarril ascienden a algo menos de 0,2 millones de toneladas de CO<sub>2</sub>. No obstante, al tratarse en este caso de un cómputo de emisiones provenientes de locomotoras diésel y eléctricas, no es un dato que pueda ser directamente comparado con el Inventario Nacional de emisiones.



[ 08 ]

## **Anexo II: Descripción de los modelos y parámetros utilizados en las simulaciones**

**8.1 Modelado del parque de turismos a 2030**

**8.2 Parametrización general de la herramienta Master.So**

## 8.1 Modelado del parque de turismos a 2030

Esta primera herramienta se desarrolló para poder modelar distintas evoluciones del parque de turismos en España a 2030. Las variables que maneja dicha herramienta para cada año son las siguientes:

- Nuevas matriculaciones (diésel, gasolina y eléctricos)
- Parque total (diésel, gasolina y eléctricos)
- Consumos medios (parque total, parque combustión, parque diésel y parque gasolina)
- Emisiones medias (parque total, parque combustión, parque diésel y parque gasolina)
- Consumos vehículos nuevos (total, diésel y gasolina)
- Emisiones vehículos nuevos (total, diésel y gasolina)
- Retiradas de vehículos (diésel y gasolina)
- Consumos medios de las retiradas
- Edad promedio del parque (total combustión, diésel y gasolina)

Este ejercicio de modelado tuvo dos fases muy distintas. La primera consistió en representar el parque histórico del 2001 al 2017. Para ello se utilizaron los datos de matriculaciones y de parque total que ofrece la DGT (2020). Sobre ellos, y partiendo de los consumos medios de diésel y gasolina estimados en capítulos precedentes del informe (utilizando datos de parque circulante), se construyó hacia atrás una estimación de consumos y emisiones históricas del parque de turismos que además fuera coherente con los datos de CORES (2020) y del Inventario de Emisiones (MITECO, 2020). Esta fase permite obtener una imagen lo más razonable posible de las características del parque existente en cada año y, en particular, de su antigüedad, algo muy importante para simular su renovación.

La Tabla A54 recoge los principales valores obtenidos en este ejercicio de recreación del parque hacia atrás. Como puede observarse, no hay datos de edad promedio antes de 2012, ya que no contamos con datos suficientes para calcularla.



Tabla A54. Evolución del parque de vehículos. 2001-2017

Año	Parque total	Consumo parque [l/100km]	Parque gasolina	Parque diésel	Edad promedio ICE (años):
2001	18150880	9,44	12795735	5355145	
2002	18732632	9,35	12728713	6003919	
2003	18688320	9,24	12095876	6592444	
2004	19541918	9,13	12035097	7506821	
2005	20250377	9,00	11815652	8434725	
2006	21047717	8,87	11667433	9380284	
2007	21755753	8,74	11500323	10255430	
2008	22141234	8,69	11344609	10796625	
2009	21979689	8,62	10900655	11079034	
2010	22143845	8,56	10677003	11466842	
2011	22273935	8,50	10510112	11763255	
2012	22244382	8,27	10305113	11937569	
2013	22020001	8,05	9956308	12061601	10,84
2014	22027133	7,82	9695703	12325894	11,29
2015	22354253	7,57	9677594	12665275	11,65
2016	22880215	7,44	9820553	13038663	11,95
2017	23508260	7,34	10102654	13367879	12,21

Fuente: Elaboración propia

En lo que respecta al consumo medio, es importante tener en cuenta que se trata de un dato muy agregado que busca alcanzar, como se ha hecho a lo largo de todo el informe, una coherencia con el inventario de emisiones de CO<sub>2</sub> anual, teniendo en cuenta el resto de los supuestos ya explicitados. Se trata de un valor obtenido a partir del análisis del parque de vehículos con sus correspondientes consumos medios según ciclos estándar NEDC o WLTP, modificado en un ejercicio a posteriori que busca ofrecer coherencia desde el punto de vista de emisiones finales.

Una vez consolidado el parque histórico, se construyó la evolución desde 2017 a 2030. Para ello se siguieron dos líneas de actuación. Por un lado, se fijaron los objetivos de emisiones medias del parque de vehículos nuevos que plantea la Unión Europea para 2030 (37,5% de reducción). De esta manera se estableció el objetivo de 59 g/km para el conjunto del parque nuevo en dicho año. Es importante remarcar que se trata de emisiones totales del parque nuevo de vehículos, incluyendo vehículos eléctricos. Este hecho será capital a la hora de estimar qué emisiones resultan para los vehículos nuevos de combustión, tanto diésel como gasolina. Además de fijar estos objetivos de emisiones de los nuevos vehículos, se optó por mantener un parque total de turismos constante a partir de 2018<sup>1</sup>. Eso generó un equilibrio entre nuevas matriculaciones y retiradas.

<sup>1</sup> A efectos de los resultados de las simulaciones, lo relevante no es tanto el tamaño del parque, sino los km recorridos con cada tipo de vehículo. Hemos optado por suponer que son los km recorridos, y no el parque, los que varían para ajustarse a la estimación de la demanda de movilidad en cada escenario. Esto permite reflejar mejor las características del uso del parque (parque circulante), como se indica posteriormente.



Una vez fijado este punto de llegada, se establecieron dos criterios de evolución del parque que permitieran representar diferentes escenarios de políticas. Por un lado, se encuentran las nuevas matriculaciones de vehículos eléctricos. Por otro, está la tasa de retiradas de vehículos de combustión, tanto diésel como gasolina. Variando estos dos parámetros se consiguieron plasmar distintas evoluciones posibles del parque reflejadas en los escenarios posteriores y, con ellas, los consumos medios del parque de diésel y gasolina resultantes que habrían de utilizarse en el modelo de optimización MASTER.SO.

Siguiendo esta estrategia, y aplicando evoluciones lineales en la mayoría de los parámetros restantes, se consiguió proyectar la evolución esperada del parque de turismos entre 2017 y 2030. Es importante remarcar que, hasta el momento, al hablar del parque de turismos, nos hemos estado refiriendo al parque real, no al parque circulante. Como se ha puesto de manifiesto con anterioridad en el informe, los vehículos-km que realizan los turismos diésel duplican aproximadamente a los de los vehículos de gasolina. Este efecto, que será recogido por el modelo MASTER.SO al cubrir demanda de pasajeros-km, también se incorporó a la herramienta de predicción del parque mediante la aplicación de un factor de corrección del 70-30 entre diésel y gasolina a la hora de obtener la vida media del parque de turismos de combustión a partir de la de las dos anteriores. De esta forma, esa vida media se aproxima más a una vida media del parque circulante que a la vida media del parque real. Se trata de un aspecto importante, ya que ese parámetro de vida media es el que sirve para identificar cuántos años se tienen en cuenta para calcular las emisiones y los consumos medios.

Para finalizar esta sección, simplemente se apunta que, de manera similar a este ejercicio realizado para el parque de turismos, se construyó una evolución esperada del parque de vehículos de transporte de mercancías, desagregándolo entre furgonetas, camiones pequeños, medianos y grandes. En este caso, el punto de llegada lo marcó de nuevo la estrategia europea a 2030, que estima una reducción en las emisiones medias de los nuevos vehículos pesados de un 30% con respecto al periodo de referencia que va de julio del 2019 a junio del 2020. Con ese objetivo, y siguiendo la misma filosofía descrita para los turismos, se consiguió representar una evolución esperada de este parque de vehículos de transporte de mercancías por carretera. A diferencia de los turismos, estas estimaciones de consumos medios para el parque de mercancías se han mantenido constantes entre escenarios.

## 7.2

### Parametrización general de la herramienta MASTER.SO

Una vez representada adecuadamente la evolución esperada del parque de turismos y de mercancías, se obtuvieron los diferentes escenarios que habrían de ser después sometidos a la simulación a través del modelo MASTER.SO.

MASTER.SO es un modelo de optimización lineal del sistema energético español diseñado principalmente para poder analizar distintas políticas en el sector, especialmente aquellas que tienen que ver con la transición hacia modelos más sostenibles. El modelo, desarrollado en el IIT, ha sido utilizado profusamente en los últimos años para el estudio de diferentes escenarios de descarbonización del sector energético español a 2030 y 2050. Un buen ejemplo de estudio basado en la utilización de este modelo es el informe de Economics for Energy (2017), el cual es de hecho la base sobre la cual se ha construido el presente trabajo. En dicho informe se describían pormenorizadamente los diferentes escenarios objeto de estudio. Recomendamos al lector interesado en conocer los detalles de contexto general de los escenarios que acuda a dicho informe.

Por tanto, contando con un modelo como el MASTER.SO, capaz de analizar distintos sistemas energéticos basados en los parámetros particulares de cada escenario, el reto que se planteó este informe fue adaptar dicho modelo para poder

poner la lupa en el sector transporte en el año 2030. Para ello, se actualizaron las tecnologías de usos finales de transporte, así como los servicios energéticos vinculados a este sector. De esta forma, se consiguió que el modelo reflejara de manera más fidedigna la posible evolución del transporte terrestre atendiendo a diferentes escenarios de políticas. Esta evolución incluye por supuesto la capacidad de identificar las emisiones debidas a cada modo de transporte. De esta forma, el modelo pone de manifiesto de forma clara los éxitos y las posibles deficiencias de las diferentes políticas a través de sus resultados más pragmáticos, es decir, su capacidad efectiva para reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> del sector, así como los contaminantes locales, principalmente NO<sub>x</sub>.

Una vez actualizadas las tecnologías en el modelo, el siguiente paso consistió en el cálculo de la demanda en pasajeros-kilómetro y toneladas-kilómetro a satisfacer en 2030. Una vez más, el punto de partida fue la propia demanda calculada en el informe de escenarios antes mencionado. No obstante, aprovechando la información más actualizada de la que se disponía en el tiempo en el que se elaboró este informe, se procedió a actualizar el cálculo de estas.

Para el cálculo de la demanda se utilizaron los resultados mostrados en capítulos precedentes. En lo que respecta a la demanda de pasajeros, nos encontramos con dos realidades muy diferentes. Por un lado, la demanda de pasajeros en el ámbito interurbano se encuentra bien documentada. El informe anual del OTLE (Ministerio de Transportes, 2020) recoge dicha información tanto en pasajeros-km, como en vehículo-km. Así, partiendo de estos datos, se proyectó la demanda estimada a 2030, asumiendo un incremento del PIB constante del 1,5% anual hasta 2030 y una elasticidad-renta de 0,2.

Por otro lado, para el cálculo de la demanda urbana de pasajeros se utilizaron dos datos. En primer lugar, el total de vehículos-km obtenidos en la Tabla A2 del presente informe y, por otro lado, el porcentaje del modo vehículo privado estimado por el OMM (2018). La demanda de movilidad urbana se trata, como ya se ha puesto de manifiesto anteriormente, del aspecto más oscuro en las estadísticas de transporte. Es, por tanto, un aspecto claramente a mejorar a futuro. Con ese dato de demanda de vehículo-km en entorno urbano en 2017, y asumiendo una tasa media de ocupación de 1,2, se pudo hacer la proyección de vehículos-kilómetro a 2030 usando los mismos valores macro que en el caso de la interurbana, a saber, 1,5% de incremento anual de PIB y elasticidad-renta de 0,2.

Finalmente, la demanda de transporte de mercancías en toneladas-kilómetro se obtuvo de manera similar a lo ya descrito para la privada interurbana. Partiendo de los datos del OTLE a 2017, se hizo una proyección a 2030 usando en este caso el mismo incremento de PIB (1,5% anual), pero una elasticidad-renta de 1. La Tabla A55 muestra los resultados de demanda en pkm y tkm, respectivamente, obtenidos siguiendo la metodología descrita.

**Tabla A55. Demanda de transporte de pasajeros y mercancías. 2017 y proyección a 2030**

Año	Demanda 2017	Demanda 2030
Pasajeros urbano (pkm)	215114	223656
Pasajeros interurbano (pkm)	396104	411833
Mercancías (tkm)	291004	353150

Fuente: Elaboración propia

Otros dos parámetros claves para el modelo son la tasa de ocupación media de los vehículos ligeros y los factores de emisión utilizados. Ambos parámetros se han considerado constantes para todos los escenarios, salvo algún caso especial de sensibilidad que se describirá más adelante. Así, se han utilizado tasas de ocupación medias de 1,2 pasajeros en urbano y 2,5 en interurbano.

Los factores de emisión dependen de la evolución del parque simulada en cada escenario. Para el escenario de referencia los valores de emisiones de  $\text{CO}_2$  son: 0,265 t $\text{CO}_2$ /MWh (103 g $\text{CO}_2$ /km) para gasolina y 0,262 t $\text{CO}_2$ /MWh (100 g $\text{CO}_2$ /km) para diésel. Estos factores se ajustan en los distintos escenarios para que reflejen (de forma lineal) los cambios de los consumos medios del parque.

En lo que respecta a las emisiones de  $\text{NO}_x$ , se han utilizado los siguientes factores en turismos: 0,061 g $\text{NO}_x$ /km para gasolina y 0,17 g $\text{NO}_x$ /km para diésel, tomados estos de las tablas de la Agencia Ambiental Europea (EEA, 2019), asumiendo que cumplen la norma EURO 6D. Para los vehículos más antiguos los factores son 0,061 g $\text{NO}_x$ /km para gasolina y 0,45 g $\text{NO}_x$ /km para diésel (de acuerdo con la norma aplicable para vehículos anteriores a 2020). Los factores de emisión de  $\text{NO}_x$  no varían entre escenarios, ya que se supone que se deben a cambios tecnológicos y no van asociados necesariamente (de hecho, a veces van en dirección contraria) a la evolución de los consumos y de las emisiones de  $\text{CO}_2$ . Lo que sí cambia, evidentemente, es el peso de los distintos vehículos (pre- y post-2020) en el parque, lo que hace que las emisiones medias de  $\text{NO}_x$  del parque varíen.

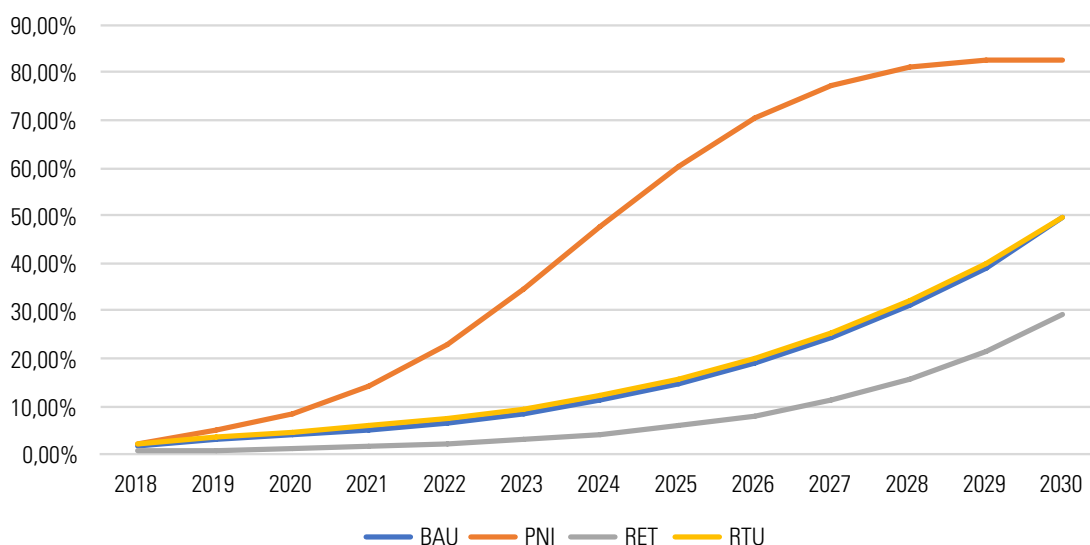
Estos factores de emisión considerados sólo tienen en cuenta las emisiones directas de los vehículos, y no las asociadas al ciclo de vida de estos. Por lo tanto, para los vehículos eléctricos se suponen unas tasas de emisión nulas para  $\text{NO}_x$  y  $\text{CO}_2$ . La razón de no considerar las emisiones del ciclo de vida es que en este análisis estamos estudiando únicamente las emisiones del sector transporte de acuerdo con las metodologías habituales para la construcción de inventarios. En todo caso, el modelo MASTER.SO sí tiene en cuenta las emisiones asociadas en otros sectores (por ejemplo, las del sector eléctrico cuando se produce la electricidad para los vehículos eléctricos, o las del refino al producir los combustibles fósiles). Consideramos menos apropiado, por la incertidumbre acerca de dónde se producirán, tener en cuenta las emisiones asociadas a la fabricación de los vehículos o sus componentes (baterías de los vehículos eléctricos, por ejemplo). Algunos ejercicios realizados en Europa permiten estimar el orden de magnitud de estas emisiones del ciclo de vida (por ejemplo, Transport & Environment, 2020a). En todo caso, sí se puede anticipar que su inclusión haría aumentar más las emisiones en los escenarios con más penetración de vehículos eléctricos (cuyas emisiones de ciclo de vida ahorrarían, para España, y según el estudio citado, un 67% de las emisiones de  $\text{CO}_2$  de un vehículo convencional, frente al 100% que se supone en este estudio para las emisiones directas).

Con todo lo anterior se procedió a construir los diferentes escenarios que se describen en el apartado 4. Como se pone de manifiesto en la descripción pertinente, cada uno de ellos presenta tres variables características.

La primera de las variables es la tasa de renovación del parque. En cada escenario se ha supuesto una velocidad determinada de renovación tanto de diésel como de gasolina.

El segundo factor variable entre escenarios es el número de nuevas matriculaciones de vehículos eléctricos. En este sentido, se han propuesto distintas sendas coherentes con la filosofía de cada escenario. El gráfico A5 muestra el porcentaje de ventas de vehículo eléctrico en cada año.

Gráfico A5. Penetración del vehículo eléctrico



Fuente: Elaboración propia

Se puede observar que, aunque los porcentajes de venta de vehículo eléctrico en cada escenario son muy diferentes, la forma de la curva es muy similar en todos ellos, y también muy parecida a la propuesta por BNEF (2020) para Europa. Se trata de una curva exponencial-logística. La curva para el escenario de referencia (BAU) replica la curva presentada por BNEF para Europa en el informe citado a pesar de que, como indica el informe, es previsible que los países del sur de Europa, por su menor nivel de renta, alcancen cuotas de penetración algo inferiores a la media.

Dicho lo anterior, seguramente llame la atención el escenario PNI, que responde al objetivo del PNIEC de alcanzar 5 millones de vehículos eléctricos en 2030. Para llegar ahí, y asumiendo la curva de penetración ya mencionada, nos situamos en porcentajes de nuevas matriculaciones en 2030 del 80%. Por otro, el escenario RET, de retirada acelerada, es el que menos porcentaje de ventas de vehículo eléctrico presenta. Este escenario supone grandes incentivos para la renovación del parque, lo que redundará en el mismo número de altas. Así, aunque en dicho escenario se plantea alcanzar 3,3 millones de vehículos eléctricos en 2030, el porcentaje con respecto a las nuevas ventas sigue siendo pequeño. En la sección dedicada a cada escenario se profundiza en estas ideas.

La tercera variable que diferencia cada escenario es el reparto modal en los distintos ámbitos: urbano e interurbano para pasajeros, y mercancías. De nuevo, en la sección 4, se describen con detalle los supuestos que configuran el reparto modal de cada escenario.

Finalmente, es necesario indicar que el mix eléctrico en 2030 simulado en MASTER.SO es uno coherente con el escenario del PNIEC: con un 74% de penetración renovable, sin carbón, y con un tercio de la potencia nuclear actualmente instalada. Este mix eléctrico es el que explica las emisiones indirectas que posteriormente se asociarán a cada escenario. Si bien en cada escenario el sistema eléctrico resultante presenta algunas variaciones menores, en líneas generales lo podemos considerar constante.

## Socios de Economics for Energy



UniversidadeVigo

economics<sub>for</sub>  
energy

Gran Vía 3, 3ºE

36204 Vigo (España)

Tel: +34 986 128 016

Fax: +34 986 125 404

Mail: [info@eforenergy.org](mailto:info@eforenergy.org)

[www.eforenergy.org](http://www.eforenergy.org)