



# MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

## TRABAJO FIN DE MÁSTER ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA DE LOS TRANSPORTES DE PASAJEROS DE MEDIA Y LARGA DISTANCIA EN ESPAÑA

Autor: Miguel Martínez Mariscal

Director: Carlos Martín Sastre

Madrid

Agosto de 2022

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título  
Análisis del ciclo de vida de los transportes de pasajeros de media y larga distancia en  
España

en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el

curso académico 2021/22 es de mi autoría, original e inédito y

no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos.

El Proyecto no es plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido

tomada de otros documentos está debidamente referenciada.

*M. Martínez Mariscal*

Fdo.: Miguel Martínez Mariscal

Fecha: 25/ 08/ 2022

Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO

*Carlos M S*

Fdo.: Carlos Martín Sastre

Fecha: 25/ 08/ 2022





# MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

## TRABAJO FIN DE MÁSTER ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA DE LOS TRANSPORTES DE PASAJEROS DE MEDIA Y LARGA DISTANCIA EN ESPAÑA

Autor: Miguel Martínez Mariscal

Director: Carlos Martín Sastre

Madrid

Agosto de 2022







# ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA DE LOS TRANSPORTES DE PASAJEROS DE MEDIA Y LARGA DISTANCIA EN ESPAÑA

**Autor: Martínez Mariscal, Miguel.**

Director: Martín Sastre, Carlos.

Entidad Colaboradora: ICAI – Universidad Pontificia Comillas.

## RESUMEN DEL PROYECTO

### 1. Introducción

Como consecuencia de la creciente preocupación por los impactos ambientales generados en los diferentes procesos industriales, los principales organismos reguladores han establecido restricciones progresivas en los niveles de emisiones con el objetivo de reducir el impacto del ser humano en el medioambiente.

Incentivada por los altos niveles de emisiones de gases de efecto invernadero se creó la “Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo”, que publicó en 1987 el documento “*Nuestro Futuro Común*”, donde se definió por primera vez el concepto de desarrollo sostenible como aquel que busca “la satisfacción de las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades” [1].

El sector del transporte es uno de los principales contribuyentes a la emisión de gases de efecto invernadero y, por ello, es uno de los más regulados y analizados para reducir estas emisiones. En 2019 en España, el transporte, con un impacto del 29,1% sobre el total, fue el principal agente en las emisiones de este tipo de gases [2].

Dada la relevancia que tiene este sector en las organizaciones económicas y sociales de los países y el alto grado de emisiones que provoca, existen numerosos estudios que persiguen medir los impactos provocados por cada uno de los medios de transporte buscando encontrar cuáles son los menos contaminantes, así como qué nuevas tecnologías ayudarían a reducir los impactos ambientales generados por el sector.

Sin embargo, a la hora de establecer comparativas entre transportes, resulta relevante llevar a cabo un análisis que no esté restringido únicamente a la fase de uso de los mismos, ya que algunos transportes con bajas emisiones durante su uso pueden presentar un mayor impacto en otras etapas como, por ejemplo, en su desmantelamiento o fabricación.



Además, se analizan diferentes categorías de impacto para estudiar las contribuciones de cada medio de transporte en cada una de ellas, ya que un transporte que pueda presentar un bajo impacto en una categoría, sin embargo, puede tener una contribución grande en otra, resultando este análisis importante a la hora de poder establecer comparativas entre transportes y categorías de impacto.

Una de las herramientas que permite realizar estas comparativas es el *Análisis del Ciclo de Vida*, donde se analizan las fases que componen la totalidad de la vida de un producto, desde la obtención de las materias primas necesarias para su fabricación hasta su disposición final, pasando por las fases de uso y mantenimiento. El presente estudio emplea este tipo de análisis con el objetivo de establecer una comparativa entre transportes en profundidad.

## **2. Definición del proyecto y metodología**

El proyecto se centra en el sector del transporte de pasajeros de media y larga distancia en España y se engloba en el marco del objetivo 13 de “Acción por el clima” de los *Objetivos de Desarrollo Sostenible* [3]. Este objetivo muestra una especial preocupación por las emisiones de dióxido de carbono y otros gases de efecto invernadero. En concreto, la meta dentro de este objetivo con la que más relación guarda este proyecto es:

- 13.2: *Incorporar medidas relativas al cambio climático en las políticas, estrategias y planes nacionales.* [3]

Si bien no se pretende dictaminar qué medidas se deben tomar, sí que se ha realizado un desarrollo de diferentes alternativas futuras basadas en tendencias y estimaciones plausibles que permiten evaluar qué proyecciones tienen un mayor efecto en la reducción de emisiones nocivas.

Para ello se han planteado dos escenarios: un escenario actual, donde se emplean los datos de 2019 recogidos para este tipo de transporte, y un escenario futuro, proyectado para el año 2030, donde se plantean diferentes alternativas en función de la tendencia que presenta la evolución en la introducción de nuevas tecnologías, la retirada del parque de vehículos antiguos y los cambios en el reparto modal de los pasajeros.

Para poder establecer una comparativa en profundidad de los diferentes transportes empleados se va a recurrir al análisis de su ciclo de vida, siguiendo la normativa que regula este tipo de estudios (ISO-14040 [4]). El software empleado es SimaPro en su

versión 9.3 con la base de datos de Ecoinvent. De los procesos disponibles en esta base de datos se han adaptado aquellos empleados al estudio actual con los niveles de ocupación correspondientes así como en los transportes con consumos eléctricos se ha considerado el mix energético de España.

Los medios de transporte considerados se dividen en vehículo privado y transporte colectivo. Para los primeros únicamente se consideran en el escenario actual los turismos, tanto de gasolina como diésel, distinguiendo también entre los tamaños de los mismos, e incorporando los coches eléctricos al escenario futuro.

Por su parte, en el transporte público no se considera el transporte marítimo, siendo los modos considerados el autobús, únicamente diésel en el escenario actual e incorporando los de gas natural para el escenario futuro; el tren, donde se distingue entre alta velocidad y convencional; y el avión, donde se establecen diferencias en función de la distancia marcada por el tipo de recorrido, distinguiendo entre los vuelos nacionales con origen y destino peninsular, los que se producen a nivel insular en Baleares y Canarias y los que se producen entre las islas y el territorio nacional peninsular. Para los autobuses únicamente se han considerado aquellos de servicio regular de gestión estatal.

Además, las categorías de impacto que se van a considerar, asociadas a la metodología empleada ("*CML\_IA baseline*"), son las siguientes: agotamiento abiótico, agotamiento abiótico de combustibles fósiles, calentamiento global, agotamiento de la capa de ozono, toxicidad en humanos, ecotoxicidad terrestre, ecotoxicidad de agua marina, ecotoxicidad de agua dulce, oxidación fotoquímica, acidificación y eutrofización.

La unidad funcional empleada son los pasajeros transportados por kilómetro (pkm) y los resultados se han obtenido y evaluado en función del impacto de cada medio de transporte por kilómetro, en función de los pasajeros por kilómetro transportados y también se han normalizado para los habitantes en España en 2019 en el escenario actual y para la proyección de habitantes en el año 2030 en el escenario futuro.

En la Tabla 1 se recogen los resultados normalizados correspondientes al análisis de inventario del escenario actual y del escenario futuro con las diferentes alternativas planteadas para el mismo. Para todas ellas se ha considerado el mismo aumento de la demanda respecto al escenario actual así como un aumento en la ocupación de todos los transportes.

Se detallan a continuación las principales medidas adoptadas para cada una de las alternativas futuras.

- Escenario futuro 1: renovación del parque de turismos.

Se considera en este escenario la renovación del parque de turismos con la retirada de los más antiguos para este tipo de desplazamientos.

- Escenario futuro 2: introducción de nuevas tecnologías.

Además de la renovación del parque de turismos se ha considerado la entrada del coche eléctrico y el autobús de gas natural para la movilidad de media y larga distancia.

- Escenario futuro 3: cambio en el reparto modal.

Se han incluido las medidas adoptadas en el segundo escenario e incorporando, además, una tercera medida consistente en un cambio en el reparto modal de los pasajeros transportados por kilómetro en favor de los transportes colectivos frente al vehículo privado.

Movilidad de pasajeros de media y larga distancia – España –2019 / 2030							
Medio de transporte				pkm/habitante			
				2019	2030		
				Escenario Actual	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3
Turismos	Diésel	EURO 2	Mediano	85,22	-	-	-
			Grande	8,95	-	-	-
		EURO 3	Mediano	294,68	-	-	-
			Grande	37,54	-	-	-
		EURO 4	Mediano	374,11	-	-	-
			Grande	47,66	-	-	-
	EURO 5	Mediano	285,37	112,71	107,08	92,21	
		Grande	22,47	8,88	8,43	7,26	
	EURO 6	Mediano	372,93	1.068,38	1.014,96	874,07	
		Grande	27,64	79,18	75,22	64,78	
	Gasolina	EURO 2	Mediano	186,40	-	-	-
			Grande	19,57	-	-	-
		EURO 3	Mediano	194,64	-	-	-
			Grande	24,80	-	-	-
		EURO 4	Mediano	160,50	-	-	-
			Grande	20,45	-	-	-
	EURO 5	Mediano	118,32	271,97	258,38	222,51	
		Grande	9,32	21,42	20,35	17,52	
EURO 6	Mediano	354,77	1.120,92	1.064,88	917,06		
	Grande	26,29	83,08	78,92	67,97		
Eléctrico				-	-	138,33	119,13
Ferrocarril	Larga Distancia	Alta velocidad	228,09	236,19		395,08	
		Convencional	104,45	108,16		180,91	
	Media Distancia	Alta velocidad	22,40	23,19		41,61	
		Convencional	46,00	47,64		85,47	
Autobús		Diésel	122,96	127,33	114,60	201,03	
		Gas Natural	-	-	12,73	22,34	
Aéreo		Peninsulares	236,22	252,67			
		Canarias (Insular)	26,36	27,86			
		Baleares (Insular)	4,53	4,82			
		Península-Canarias	358,73	382,68			
		Península-Baleares	115,55	123,59			

Tabla 1: Resumen de los pkm/habitante para cada uno de los transportes considerados en cada uno de los escenarios.

### 3. Resultados

A partir de los procesos modelados con SimaPro, se ha obtenido, en la evaluación de los resultados en función del impacto generado por cada vehículo por kilómetro, que aquellos transportes con mayor volumen de pasajeros transportados son los que presentan un mayor impacto. Sin embargo, cuando se expresan los resultados por pasajero transportado por kilómetro (pkm), es el vehículo privado el que presenta una mayor contribución al impacto en las diferentes categorías estudiadas.

Se han normalizado los resultados por los habitantes de España en cada uno de los escenarios de 2019 y 2030. Se incluyen en la Tabla 2 los resultados absolutos correspondientes a todos los escenarios normalizados.

<b>Resultados de los escenarios normalizados</b>					
<b>Categoría de impacto</b>	<b>Unidad</b>	<b>Escenario Actual (2019)</b>	<b>Escenario Futuro 1 (2030)</b>	<b>Escenario Futuro 2 (2030)</b>	<b>Escenario Futuro 3 (2030)</b>
<b>Agotamiento Abiótico</b>	kg Sb eq/hab	7,95E-03	6,44E-03	6,61E-03	5,91E-03
<b>Ag. Abiótico de Combustibles Fósiles</b>	MJ/hab	8,73E+03	7,18E+03	7,09E+03	6,51E+03
<b>Calentamiento Global</b>	kg CO2 eq/hab	6,34E+02	5,12E+02	5,06E+02	4,67E+02
<b>Agotamiento de la Capa de Ozono</b>	kg CFC-11 eq/hab	9,77E-05	8,02E-05	7,86E-05	7,16E-05
<b>Toxicidad en Humanos</b>	kg 1,4-DB eq/hab	5,66E+02	4,51E+02	4,50E+02	4,01E+02
<b>Ecotoxicidad de Agua Dulce</b>	kg 1,4-DB eq/hab	4,29E+02	3,44E+02	3,43E+02	3,07E+02
<b>Ecotoxicidad de Agua Marina</b>	kg 1,4-DB eq/hab	4,98E+05	4,07E+05	4,27E+05	3,96E+05
<b>Ecotoxicidad Terrestre</b>	kg 1,4-DB eq/hab	6,33E-01	5,15E-01	5,78E-01	5,28E-01
<b>Oxidación Fotoquímica</b>	kg C2H4 eq/hab	1,27E-01	9,63E-02	1,17E-01	1,06E-01
<b>Acidificación</b>	kg SO2 eq/hab	2,22E+00	1,85E+00	1,88E+00	1,79E+00
<b>Eutrofización</b>	kg PO4 eq/hab	6,14E-01	5,08E-01	5,26E-01	4,95E-01

*Tabla 2: Resultados por categoría de impacto de los escenarios normalizados.*

Para el escenario actual normalizado correspondiente al año 2019, al ser el vehículo privado el que presenta un mayor porcentaje del reparto modal en este tipo de transporte y ser, además, el que mayor impacto presenta por pkm, este transporte pasa a ser el que mayor contribución de impacto presenta en todas las categorías. En la Figura 1 se exponen los resultados para cada una de las categorías de impacto estudiadas con el aporte proporcional de cada medio de transporte en el escenario actual.

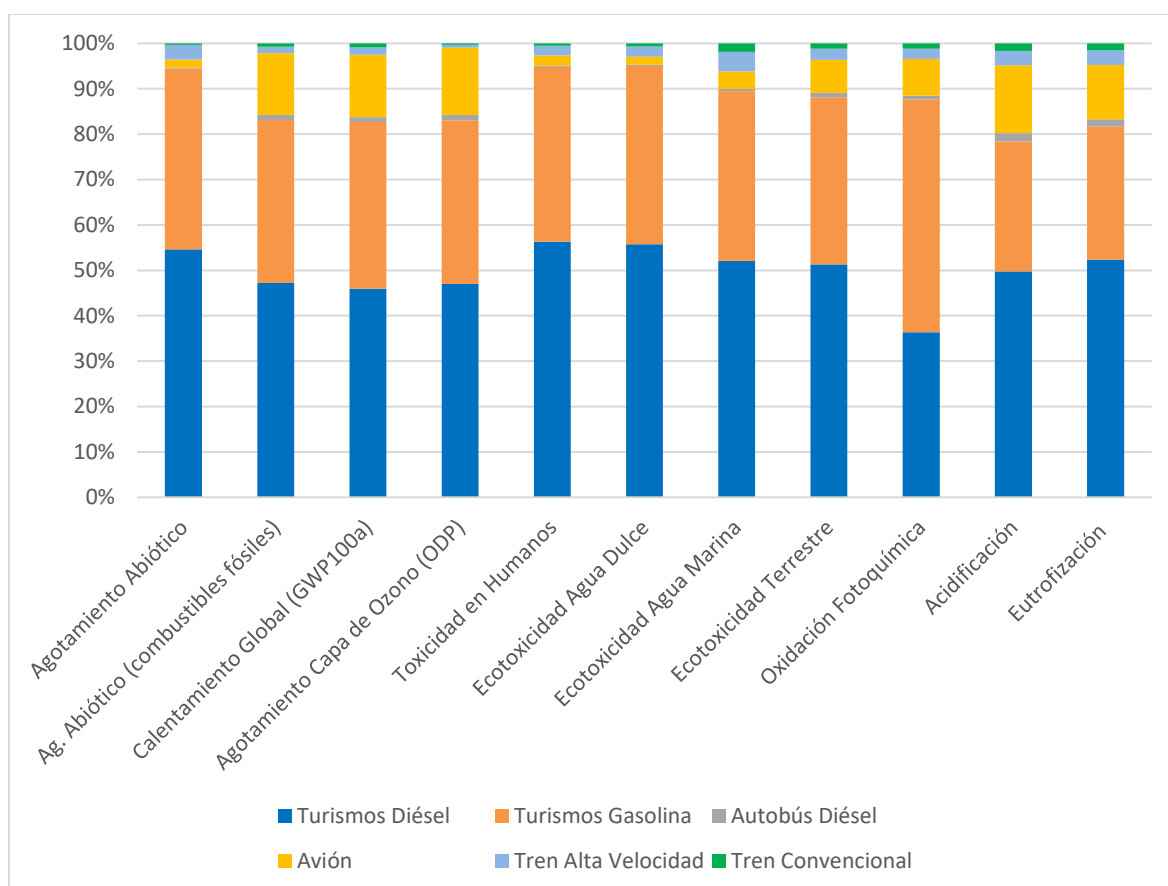


Figura 1: Resultados proporcionales de los impactos generados por tipo de transporte en el escenario actual (2019) normalizado.

Para los escenarios planteados para el año 2030, en la Figura 2 y la Figura 3 se presenta la contribución proporcional de cada transporte para cada uno de los escenarios y en las categorías mostradas. Se observa cómo el coche sigue siendo el principal responsable del impacto generado pero que, con la entrada del turismo eléctrico, en categorías como el calentamiento global se reduce la contribución del vehículo privado. Esta reducción no es más significativa debido a que, para el año 2030, se ha estimado aún un porcentaje pequeño del reparto modal para este vehículo siendo únicamente del 5% dentro del correspondiente al vehículo privado ya que, en las proyecciones más optimistas, el coche eléctrico representará un 15% del parque de turismos en 2030 y es necesario aún un amplio desarrollo en la infraestructura para poder realizar este tipo de desplazamientos de media y larga distancia con normalidad en este tipo de vehículo. Para otras categorías como la ecotoxicidad de agua marina, la entrada del coche eléctrico, debido al empleo de las baterías, contribuye a un aumento del impacto del vehículo privado como se observa en la Figura 3. Para el tercer escenario futuro, la contribución del coche baja en todas las categorías, produciéndose un aumento de la contribución del transporte colectivo ya que aumenta su porcentaje de uso,

pero produciéndose un decremento en los valores absolutos de impacto como se observa en la Figura 4.

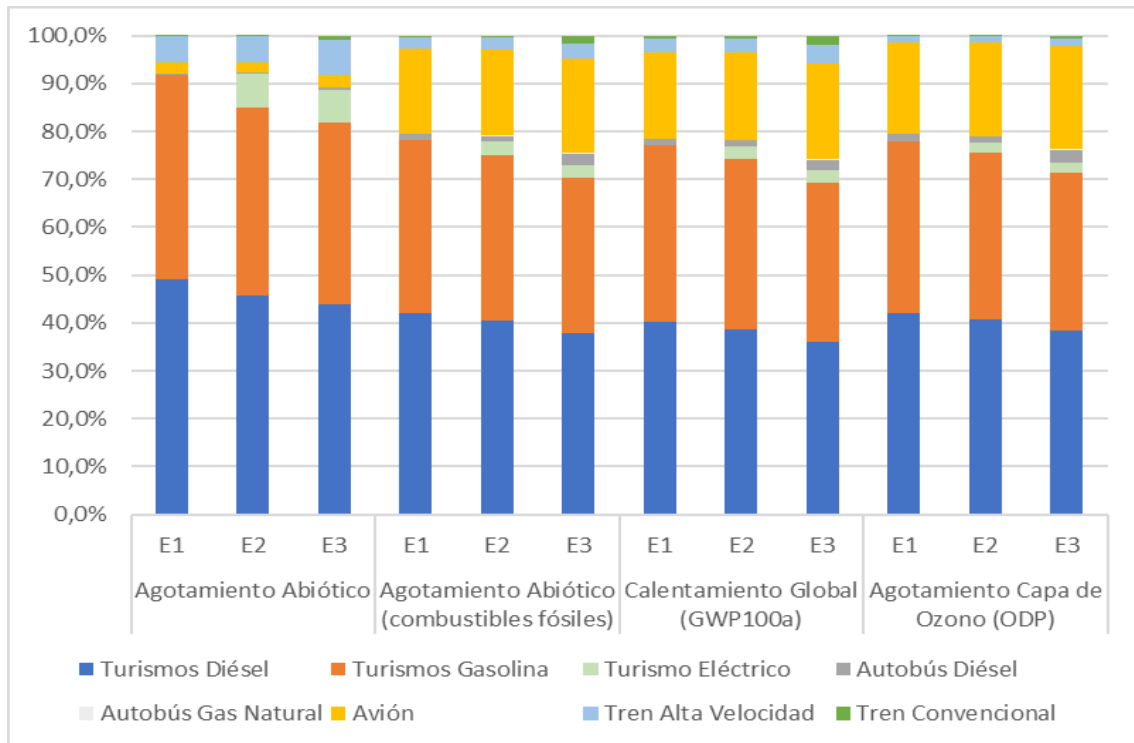


Figura 2: Resultados proporcionales de los impactos generados por tipo de transporte en los escenarios futuros normalizados.

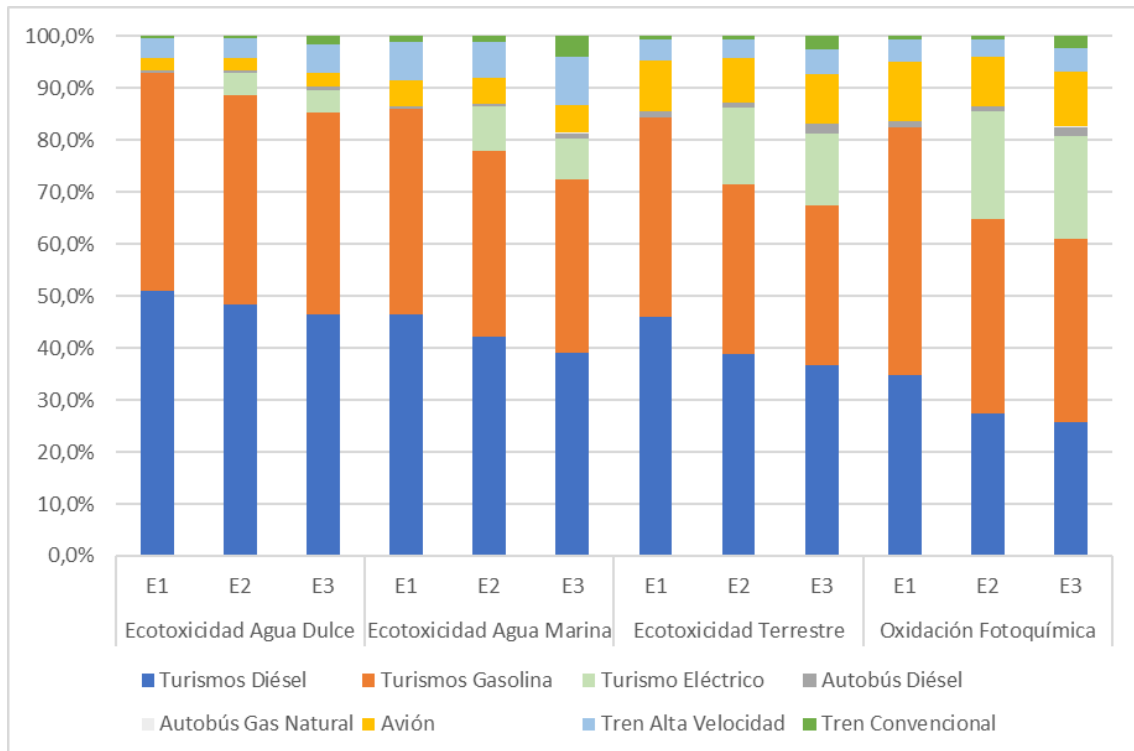


Figura 3: Resultados proporcionales de los impactos generados por tipo de transporte en los escenarios futuros normalizados.

En la comparativa de resultados entre el escenario actual y los diferentes escenarios futuros planteados, en la Figura 4 se muestra cómo, a pesar de un aumento de la demanda en los escenarios futuros, las diferentes medidas consideradas como un incremento de ocupación de los vehículos así como la retirada de los transportes más antiguos del parque contribuyen a una significativa reducción del impacto en todas las categorías. Además, un cambio en el reparto modal hacia un mayor uso del transporte público como se incluye en el tercer escenario futuro planteado genera una reducción aún más notable en el impacto respecto al escenario actual en categorías como el calentamiento global o el agotamiento de la capa de ozono.

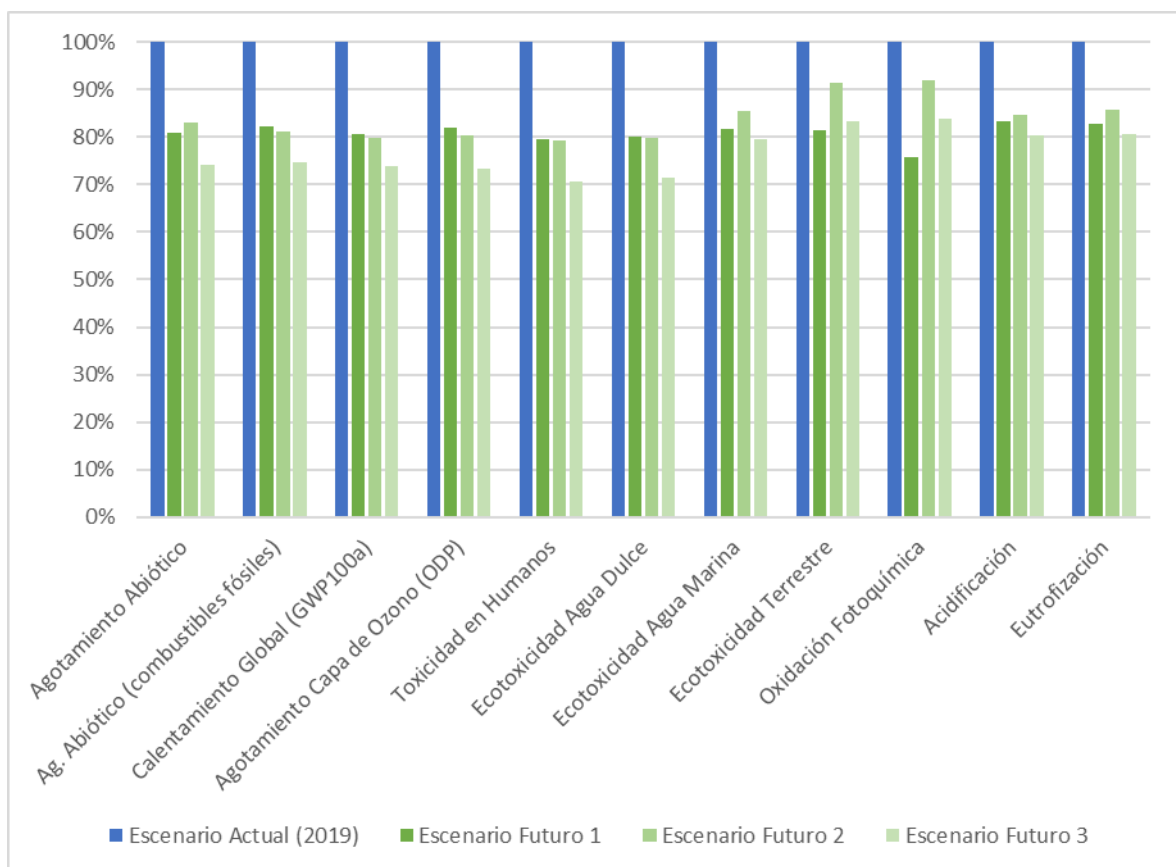


Figura 4: Comparativa del impacto proporcional de los escenarios futuros respecto al escenario actual.

#### 4. Conclusiones

A partir de los resultados obtenidos en el estudio sobre el impacto ambiental de los diferentes medios de transporte, se observa cómo contribuyen las diferentes medidas consideradas a la reducción de este impacto en cada una de las categorías analizadas en los escenarios futuros respecto al escenario actual.



Dada la influencia que tiene el vehículo privado, siendo claramente el transporte que presenta un mayor reparto modal, una de las medidas que más contribuyen a la reducción de impactos en todas las categorías es la retirada de los vehículos más antiguos del parque, por lo que debiera ser una medida a fomentar. En el primer escenario futuro, esta medida, sumada a un aumento de la ocupación de los vehículos, provoca una reducción del 19,2% en el calentamiento global respecto al escenario de 2019.

La entrada de nuevas tecnologías como el coche eléctrico y el autobús de gas natural no es muy significativa para las estimaciones realizadas ya que para el año 2030 no se espera que este tipo de transportes presenten un porcentaje significativo del reparto modal. Sin embargo, sí que resulta interesante su entrada para la reducción en categorías como el calentamiento global y el agotamiento abiótico de combustibles fósiles, donde, sumado a las medidas consideradas en el primer escenario futuro, se produce una reducción del 20,1% y del 19,5% respectivamente respecto al escenario actual. Estas nuevas tecnologías, por otra parte, presentan un aumento en la contribución al impacto en otras categorías como la oxidación fotoquímica o las ecotoxicidades, por lo que se debe seguir desarrollando la innovación en estos procesos que permita reducir los impactos en estas categorías.

Finalmente, la transición a un cambio en el reparto modal dirigido a un mayor empleo del transporte colectivo facilitaría un significativo decremento del impacto en todas las categorías y es uno de los principales objetivos a perseguir en esta década para contribuir a la reducción de las emisiones del sector del transporte en España. Estas recomendaciones coinciden con las que se recogen en el informe para los años 2021-2030 desarrollado por el *Plan Nacional Integrado de Energía y Clima* [5].

## 5. Referencias

- [1] Nuestro Futuro Común. Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo. Online. Disponible: <http://www.upv.es/contenidos/CAMUNISO/info/U0506189> [Último acceso: 5/07/2022].
- [2] Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Inventario Nacional de Emisiones a la Atmósfera. Emisiones de Gases de Efecto Invernadero. Serie 1990-2019. Online. Disponible: [https://canviclimatic.gencat.cat/web/.content/01\\_EL\\_CANVI\\_CLIMATIC/inventaris\\_demissions/inventaris\\_demissions\\_espanya\\_ue\\_mon/Resumen-Informe-Inventario-1990\\_2019-v2021.pdf](https://canviclimatic.gencat.cat/web/.content/01_EL_CANVI_CLIMATIC/inventaris_demissions/inventaris_demissions_espanya_ue_mon/Resumen-Informe-Inventario-1990_2019-v2021.pdf) [Último acceso: 10/07/2022].

- [3] Objetivos de Desarrollo Sostenible. Objetivo 13: Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos. Online. Disponible:  
<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/climate-change-2/> [Último acceso: 6/07/2022].
- [4] ISO-14040: Análisis del ciclo de vida: principios y marco de referencia. Online. Disponible:  
<https://envira.es/es/iso-14040-principios-relacionados-gestion-ambiental/> [Último acceso 20/06/2022].
- [5] Plan Nacional Integrado de Energía y Clima. MITECO. Disponible:  
<https://www.boe.es/boe/dias/2021/03/31/pdfs/BOE-A-2021-5106.pdf>

# LIFE CYCLE ASSESSMENT OF MEDIUM AND LONG-DISTANCE PASSENGER TRANSPORTATION MEANS IN SPAIN

**Author: Martínez Mariscal, Miguel.**

Director: Martín Sastre, Carlos.

Collaborating Entity: ICAI – Universidad Pontificia Comillas.

## PROJECT SUMMARY

### 1. Introduction

As a consequence of the growing concern about the environmental impacts generated in the different industrial processes, the main regulatory bodies have established progressive restrictions on emission levels with the aim of reducing the impact of human beings on the environment.

Encouraged by the high levels of greenhouse gas emissions, the *"World Commission on Environment and Development"* published the document *"Our Common Future"* in 1987, where the concept of sustainable development was defined for the first time. as one that seeks "the satisfaction of the needs of the present generation without compromising the ability of future generations to meet their own needs" [1].

The transport sector is one of the main contributors to the emission of greenhouse gases and, therefore, it is one of the most regulated and studied to reduce these emissions. In 2019 in Spain, transport, with an impact of 29.1% of the total, was the main agent in the emissions of these type of gases [2].

Given the relevance that this sector has in the economic and social organizations of the countries and the high degree of emissions that it causes, there are numerous studies that seek to measure the impacts caused by each of the means of transport, seeking to find which are the least polluting as well as what new technologies would help to reduce the environmental impacts generated by the sector.

However, when establishing comparisons between transports, it is relevant to carry out an analysis that is not restricted only to the use phase, since transports with low emissions during their use can have a greater impact in other stages as, for example, in its dismantling or manufacturing.

In addition, different impact categories are analyzed to study the contributions of each means of transport in each of them, since a transport that may present a low impact in one category, however, may have a large contribution in another, resulting in this important analysis when it comes to establishing comparisons between transport and impact categories.

One of the tools that allows to make these comparisons is the *Life Cycle Assessment*, where the phases that make up the entire life of a product are analyzed, from obtaining the raw materials necessary for its manufacture, to its final disposal, going through the phases of use and maintenance. The present study uses this type of analysis with the aim of establishing a comparison between transports in depth.

## **2. Project definition and methodology**

The project is focused on the medium and long-distance passenger transport sector in Spain and is included in the framework of objective 13 of "Action for the climate" of the *Sustainable Development Goals* [3]. This objective shows a special concern for the emissions of carbon dioxide and other greenhouse gases. Specifically, the goal within this objective with which this project is most related is:

- 13.2: *Incorporate measures related to climate change in national policies, strategies and plans.* [3]

Although it is not intended to dictate what measures should be taken, a development of different future scenarios has been carried out based on trends and plausible estimates that allow evaluating which projections have a greater effect in reducing harmful emissions.

To do this, two scenarios have been proposed: a current scenario, where the 2019 data collected for this type of transport is used, and a future scenario, projected for the year 2030, where different alternatives are proposed based on the trend presented by the evolution in the introduction of new technologies, the withdrawal of the fleet of old vehicles and changes in the modal distribution of passengers.

In order to establish an in-depth comparison of the different types of transport used, an assessment of their life cycle will be used, following the regulations of this type of these studies (ISO-14040 [4]). The software used is SimaPro with the Ecoinvent database.

Of the processes available in this database, those used in the current study have been adapted with the corresponding occupancy levels, as well as in transport with electricity consumption, the energy mix of Spain has been considered.

The means of transport considered are divided into private vehicles and collective transport. For the former, only passenger cars, both gasoline and diesel, are considered in the current scenario, also distinguishing between their sizes, and incorporating electric cars into the future scenario. On the other hand, in public transport, maritime transport is not considered, being the modes considered the coach, only diesel in the current scenario and incorporating natural gas for the future scenario; the train, where a distinction is made between high-speed and conventional; and the plane, where differences are established based on the distance marked by the type of route, distinguishing between national flights with peninsular origin and destination, those that take place at the island level in the Balearic and Canary Islands and those that take place between the islands and the peninsular national territory. For coaches, only those of regular state-managed service have been considered.

In addition, the impact categories to be considered, associated with the methodology used ("*CML\_IA baseline*"), are the following: abiotic depletion, abiotic depletion of fossil fuels, global warming, depletion of the ozone layer, human toxicity, terrestrial ecotoxicity, marine aquatic ecotoxicity, freshwater aquatic ecotoxicity, photochemical oxidation, acidification and eutrophication.

The functional unit used is the passengers transported per kilometer (pkm) and the results have been obtained and evaluated based on the impact of each vehicle per kilometer, based on the passengers per kilometer transported and have also been normalized for the inhabitants of Spain in 2019 in the current scenario and for the projection of inhabitants in the year 2030 in the future scenario.

Table 1 shows the normalized results corresponding to the inventory analysis of the current scenario and the future scenario with the different alternatives proposed for it. For all of them, the same increase in demand has been considered with respect to the current scenario, as well as an increase in the occupation of all types of transport.

The main measures adopted for each of the future alternatives are detailed below.

- Future scenario 1: renewal of the car park.

In this scenario, the renewal of the fleet of cars with the removal of the oldest for this type of travel is considered.

- Future scenario 2: introduction of new technologies.

In addition to the renovation of the car park, the entry of the electric car and the natural gas bus for medium and long-distance mobility has been considered.

- Future scenario 3: change in the modal split.

The measures adopted in the second scenario have been included and also incorporating a third measure consisting of a change in the modal distribution of passengers transported per kilometer in favor of collective transport versus private vehicles.

Medium and long-distance passenger mobility – Spain –2019 / 2030							
Mean of transport				pkm/inhabitant			
				2019	2030		
				Current Scenario	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3
Passenger Car	Diesel	EURO 2	Medium	85,22	-	-	-
			Large	8,95	-	-	-
		EURO 3	Medium	294,68	-	-	-
			Large	37,54	-	-	-
		EURO 4	Medium	374,11	-	-	-
			Large	47,66	-	-	-
	EURO 5	Medium	285,37	112,71	107,08	92,21	
		Large	22,47	8,88	8,43	7,26	
	EURO 6	Medium	372,93	1.068,38	1.014,96	874,07	
		Large	27,64	79,18	75,22	64,78	
	Petrol	EURO 2	Medium	186,40	-	-	-
			Large	19,57	-	-	-
		EURO 3	Medium	194,64	-	-	-
			Large	24,80	-	-	-
		EURO 4	Medium	160,50	-	-	-
			Large	20,45	-	-	-
	EURO 5	Medium	118,32	271,97	258,38	222,51	
		Large	9,32	21,42	20,35	17,52	
EURO 6	Medium	354,77	1.120,92	1.064,88	917,06		
	Large	26,29	83,08	78,92	67,97		
Electric				-	-	138,33	119,13
Railway	Long Distancia	High-speed		228,09	236,19		395,08
		Conventional		104,45	108,16		180,91
	Mid Distancia	High-speed		22,40	23,19		41,61
		Conventional		46,00	47,64		85,47
Coach		Diesel		122,96	127,33	114,60	201,03
		Natural gas		-	-	12,73	22,34
Air	Peninsular		236,22	252,67			
	Canary Islands (Insular)		26,36	27,86			
	Balearic Islands (Insular)		4,53	4,82			
	Pen-Canary Islands		358,73	382,68			
	Pen-Balearic Islands		115,55	123,59			

Table 1: Summary of the pkm/inhabitant for each of the transports considered in each of the scenarios.

### 3. Results

From the processes modeled with SimaPro, it has been obtained, in the evaluation of the results based on the impact generated by each vehicle per kilometer, that those transports with the highest volume of passengers transported are the ones with the greatest impact. However, when the results are expressed per passenger transported per kilometer, it is the private vehicle that presents the greatest contribution to the impact in the different categories studied.

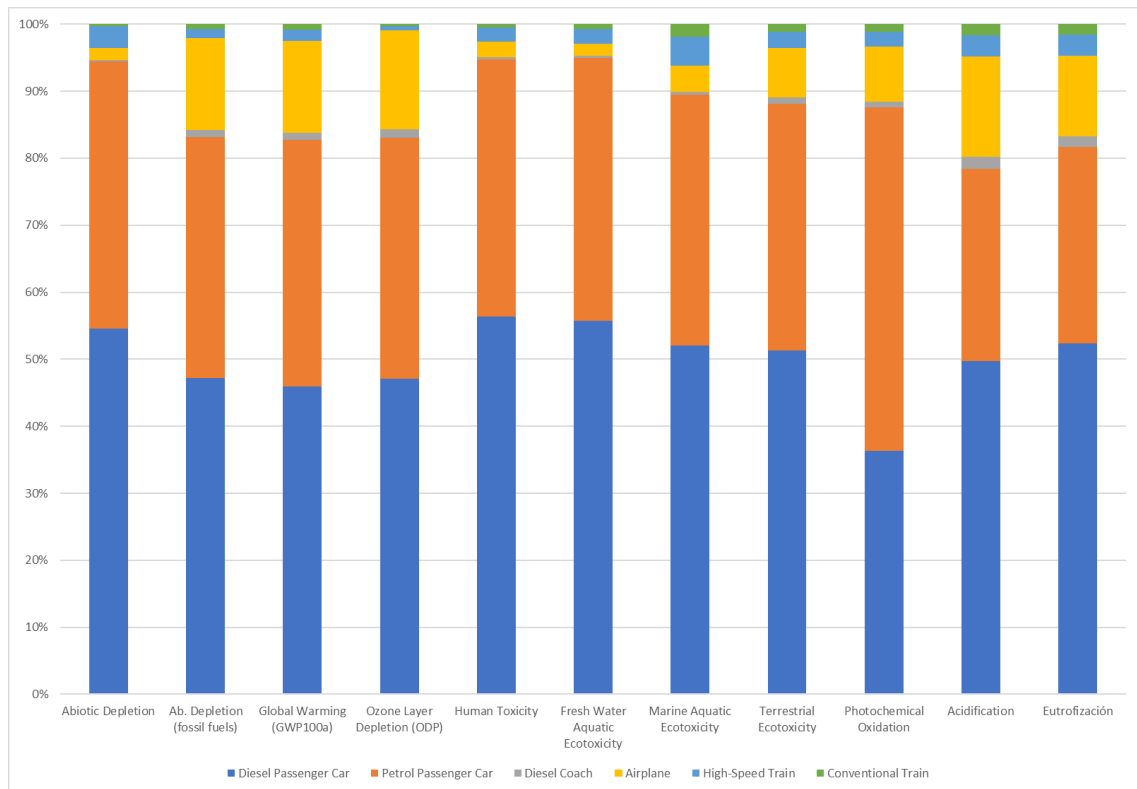
Results have been normalized by the inhabitants of Spain in each of the 2019 and 2030 scenarios. Absolute results corresponding to all normalized scenarios are included in Table 2. Table 2.

<b>Results of normalized scenarios</b>					
<b>Impact Category</b>	<b>Unit</b>	<b>Current Scenario (2019)</b>	<b>Future Scenario 1 (2030)</b>	<b>Future Scenario 2 (2030)</b>	<b>Future Scenario 3 (2030)</b>
<b>Abiotic Depletion</b>	kg Sb eq / inhab	7.95E-03	6.44E-03	6.61E-03	5.91E-03
<b>Abiotic Depletion Fossil Fuels</b>	MJ/inhab	8.73E+03	7.18E+03	7.09E+03	6.51E+03
<b>Global Warming</b>	kg CO2 eq / inhab	6.34E+02	5.12E+02	5.06E+02	4.67E+02
<b>Ozone Layer Depletion</b>	kg CFC-11 eq / inhab	9.77E-05	8.02E-05	7.86E-05	7.16E-05
<b>Human Toxicity</b>	kg 1.4-DB eq / inhab	5.66E+02	4.51E+02	4.50E+02	4.01E+02
<b>Fresh Water Aquatic Ecotoxicity</b>	kg 1.4-DB eq / inhab	4.29E+02	3.44E+02	3.43E+02	3.07E+02
<b>Marine Aquatic Ecotoxicity</b>	kg 1.4-DB eq / inhab	4.98E+05	4.07E+05	4.27E+05	3.96E+05
<b>Terrestrial Ecotoxicity</b>	kg 1.4-DB eq / inhab	6.33E-01	5.15E-01	5.78E-01	5.28E-01
<b>Photochemical Oxidation</b>	kg C2H4 eq / inhab	1.27E-01	9.63E-02	1.17E-01	1.06E-01
<b>Acidification</b>	kg SO2 eq / inhab	2.22E+00	1.85E+00	1.88E+00	1.79E+00
<b>Eutrophication</b>	kg PO4 eq / inhab	6.14E-01	5.08E-01	5.26E-01	4.95E-01

*Table 2: Normalized results of all scenarios*

For the current normalized scenario corresponding to the year 2019, since the private vehicle is the one that presents a higher percentage of the modal split in this type of transport and is also the one with the greatest impact per pkm, this transport becomes the one with the greatest impact contribution in all categories. Figure 1 presents the results for each of the impact categories studied with the proportional contribution of each means of transport in the current scenario.





*Figure 1: Proportional results of the impacts generated by type of transport in the current normalized scenario.*

For the scenarios proposed for the year 2030, Figure 2 and Figure 3 show the proportional contribution of each transport for each of the scenarios and in the categories shown. It is observed how the car continues to be the main responsible for the impact generated but that, with the entry of electric tourism, in categories such as global warming, the contribution of the private vehicle is reduced. This reduction is not more significant because for the year 2030 a small percentage of the modal split has still been estimated for this vehicle. However, for other categories such as photochemical oxidation, the entry of the electric car contributes to a significant increase in the impact of the private vehicle as seen in Figure 3. For the third future scenario, the contribution of the car decreases in all categories, producing an increase in the contribution of collective transport since its percentage of use increases.

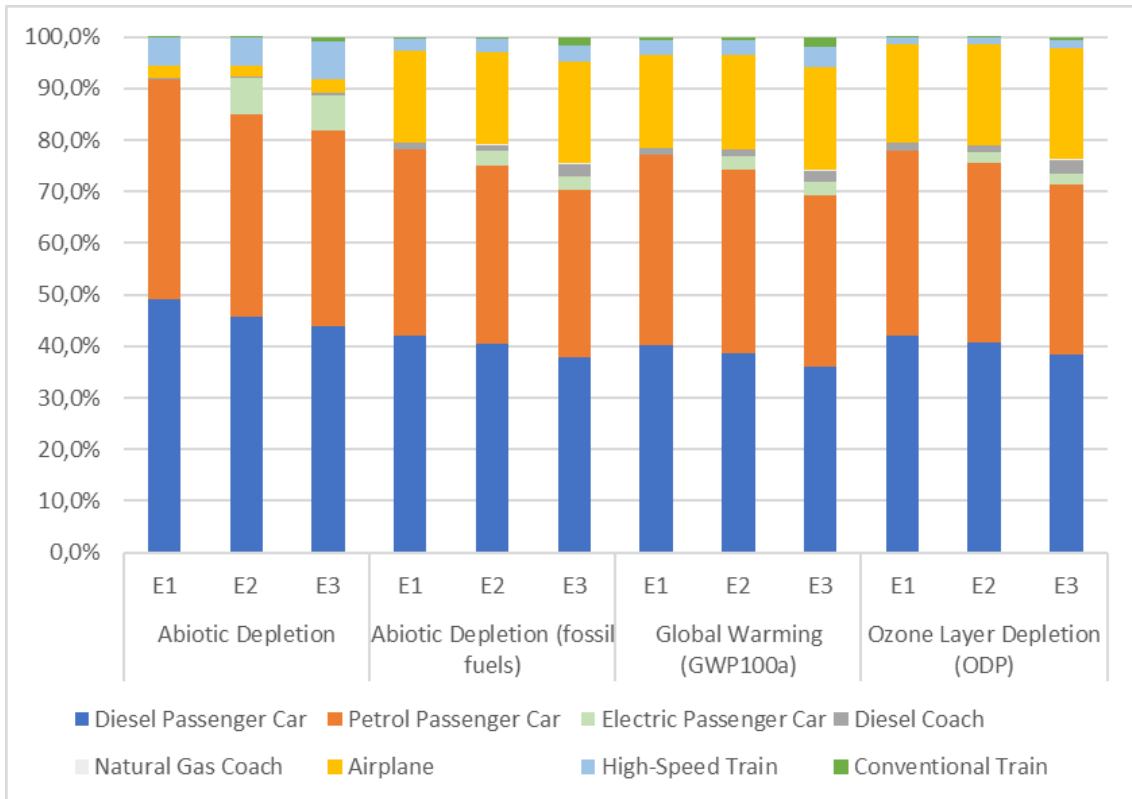


Figure 2: Proportional results of the impacts generated by type of transport in the normalized future scenarios.

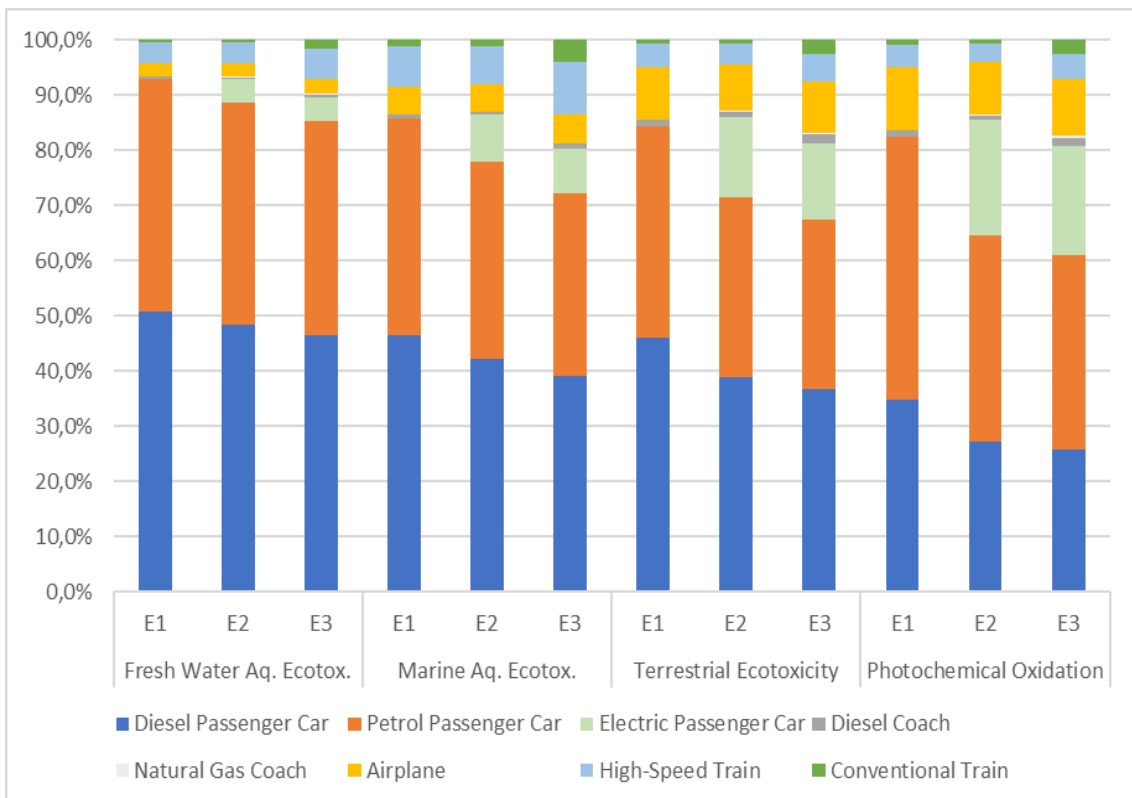


Figure 3: Proportional results of the impacts generated by type of transport in the normalized future scenarios.

In the comparison of results between the current scenario and the different future scenarios proposed, Figure 4 shows how, despite an increase in demand in future scenarios, the different measures considered as an increase in vehicle occupancy as well as the removal of the oldest vehicles from the fleet contribute to a significant reduction of the impact in all categories. In addition, a change in the modal split towards a greater use of public transport, as included in the third future scenario proposed, generates an even more notable reduction in the impact compared to the current scenario in categories such as global warming or the depletion of the ozone layer.

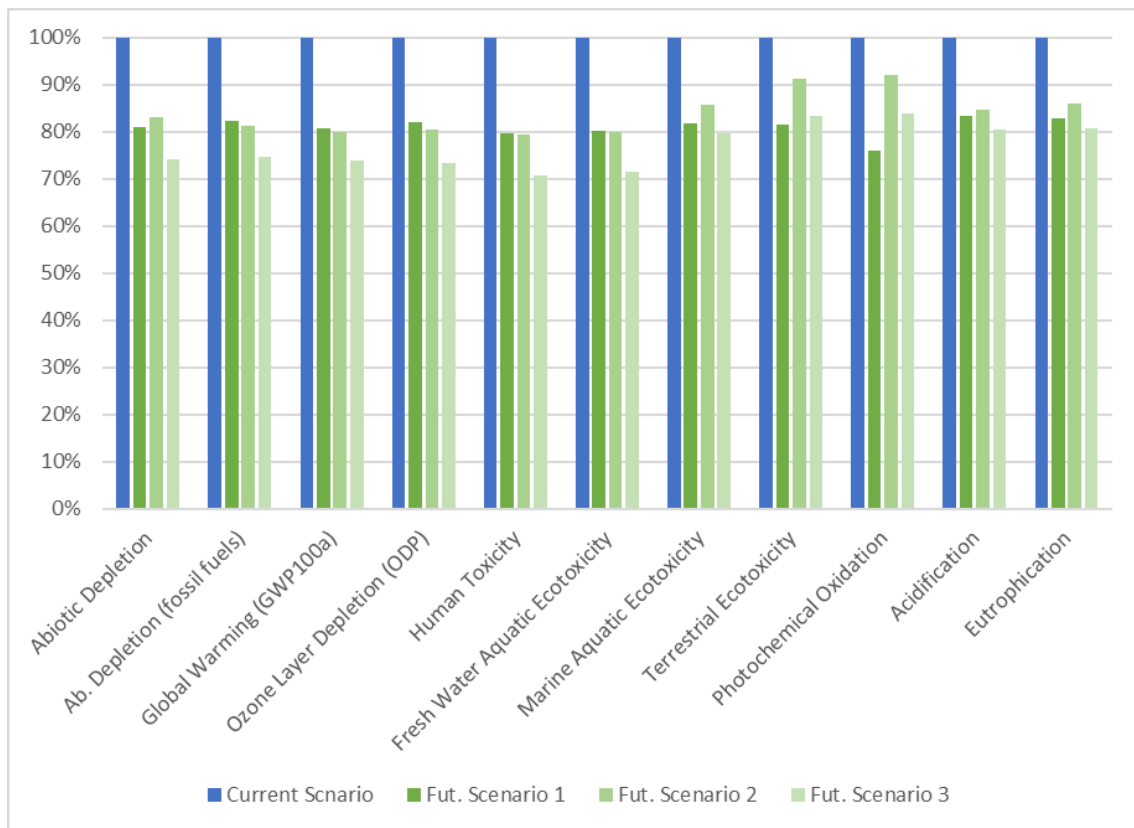


Figure 4: Comparison of the proportional impact of the future scenarios with respect to the current scenario.

#### 4. Conclusions

Based on the results obtained in the study on the environmental impact of the different means of transport, it is observed how the different measures considered contribute to the reduction of this impact in each of the categories analyzed in the future scenarios with respect to the current scenario.

Given the influence of the private vehicle, clearly being the transport with the greatest modal split, one of the measures that most contributes to the reduction of impacts in all categories is the removal of the oldest vehicles from the fleet, so it should be a measure to encourage. In the first future scenario, this measure, added to an increase in vehicle occupancy, causes a 19.2% reduction in global warming compared to the 2019 scenario.

The entry of new technologies is not very significant for the estimates made, since by 2030 this type of mobility is not expected to present a significant percentage of the modal split. However, its entry into reduction in categories such as global warming and abiotic depletion of fossil fuels is interesting, where, added to the measures considered in the first future scenario, there is a reduction of 20.1% and 19.5% compared to the current scenario, respectively. These new technologies, on the other hand, present an increase in the contribution to the impact in other categories such as photochemical oxidation or ecotoxicities, so innovation in these processes must continue to be developed in order to reduce the impacts in these categories.

Finally, the transition to a change in the modal split aimed at greater use of collective transport would facilitate a significant reduction in impact in all categories and is one of the main objectives to be pursued in this decade to contribute to the reduction of emissions from the transport sector in Spain. These recommendations match with those included in the report for the years 2021-2030 developed by the *National Integrated Energy and Climate Plan* [5].

## 5. References

- [1] Our Common Future. Online. Available: <http://www.upv.es/contenidos/CAMUNISO/info/U0506189> [Last accessed: 07/05/2022].
- [2] Ministry for the Ecological Transition and the Demographic Challenge. National Inventory of Emissions to the Atmosphere. Emissions of greenhouse gases. Series 1990-2019. Online. Available: [https://canviclimatic.gencat.cat/web/.content/01\\_EL\\_CANVI\\_CLIMATIC/inventaris\\_demissions/inventaris\\_demissions\\_espanya\\_ue\\_mon/Resumen-Informe-Inventario-1990\\_2019-v2021.pdf](https://canviclimatic.gencat.cat/web/.content/01_EL_CANVI_CLIMATIC/inventaris_demissions/inventaris_demissions_espanya_ue_mon/Resumen-Informe-Inventario-1990_2019-v2021.pdf) [Last accessed: 07/10/2022].

- [3] Goal 13: Take urgent action to combat climate change and its effects. On-line. Available: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/climate-change-2/> [Last accessed: 07/06/2022].
- [4] ISO-14040: Life cycle assessment: principles and reference framework. On-line. Available: <https://envira.es/es/iso-14040-principios-relacionales-gestion-ambiental/> [Last accessed 06/20/2022].
- [5] National Integrated Energy and Climate Plan. MITECO. Available: <https://www.boe.es/boe/dias/2021/03/31/pdfs/BOE-A-2021-5106.pdf>

## *Índice de la memoria*

<b>Capítulo 1. Introducción .....</b>	<b>1</b>
1.1 Emisiones de gases de efecto invernadero .....	3
1.2 Reparto modal del transporte en España .....	5
1.3 Motivación .....	7
<b>Capítulo 2. Estado de la Cuestión .....</b>	<b>9</b>
2.1 Análisis del ciclo de vida.....	9
2.2 Publicaciones y estudios.....	13
2.3 Software empleado .....	17
2.4 Transporte de media y larga distancia en España.....	17
2.4.1 Ferrocarril.....	17
2.4.2 Avión.....	18
2.4.3 Carretera.....	20
<b>Capítulo 3. Caso de estudio .....</b>	<b>25</b>
3.1 Objeto y alcance .....	25
3.2 Análisis de inventario.....	25
3.2.1 Escenario actual.....	25
3.2.2 Escenario actual normalizado.....	42
3.3 Escenario Futuro.....	44
3.3.1 Evolución del transporte de pasajeros por avión en España. Proyección a 2030.....	45
3.3.2 Evolución del transporte de pasajeros por transportes terrestres de media y larga distancia en España. Proyección a 2030.....	49
3.3.3 Escenario 1: de referencia .....	52
3.3.4 Escenario 2: introducción de nuevas tecnologías .....	54
3.3.5 Escenario 3: cambio en el reparto modal .....	57
3.3.6 Escenarios futuros normalizados .....	59
<b>Capítulo 4. Evaluación de impacto .....</b>	<b>61</b>
4.1 Escenario actual.....	61
4.1.1 Vehículo privado .....	67
4.1.2 Transporte público .....	76
4.1.3 Resultados del escenario normalizado.....	78

4.2	Escenario futuro .....	93
4.2.1	<i>Comparativa del vehículo privado en escenarios futuros .....</i>	<i>104</i>
4.2.2	<i>Comparativa entre transportes terrestres en los escenarios futuros.....</i>	<i>108</i>
4.3	Comparativa del escenario actual con los escenarios futuros.....	112
4.3.1	<i>Vehículo privado .....</i>	<i>117</i>
4.3.2	<i>Transporte público .....</i>	<i>121</i>
<b>Capítulo 5. Conclusiones.....</b>		<b>125</b>
<b>Capítulo 6. Bibliografía.....</b>		<b>129</b>
<b>ANEXO ODS .....</b>		<b>137</b>

## *Índice de figuras*

Figura 1: Porcentaje de contribución modal a las emisiones de CO <sub>2</sub> -eq debidas al transporte en España en 2019.....	5
Figura 2: Reparto modal de viajeros en transporte público interurbano en 2019.....	7
Figura 3: Fases del ACV. ....	13
Figura 4: Tráfico de pasajeros, en millones, en los diez aeropuertos españoles más transitados en 2019. ....	19
Figura 5: Evolución del número de pasajeros totales en los aeropuertos gestionados por Aena en los meses de enero a mayo para los años 2019 a 2022. ....	20
Figura 6: Comparativa del impacto entre turismos en función del tamaño para una misma ocupación.....	68
Figura 7: Comparativa entre turismo mediano y grande de gasolina EURO 5 con distinta ocupación.....	69
Figura 8: Porcentaje de reducción de impacto en función de la ocupación en turismos con respecto a la ocupación media actual de 1.68 pasajeros.....	74
Figura 9: Comparativa de impacto entre turismos de diésel y gasolina. ....	75
Figura 10: Comparativa de impacto entre aviones según el tipo de recorrido por pkm.....	77
Figura 11: Comparativa de impacto entre vehículo privado y el transporte público en el escenario actual normalizado.....	81
Figura 12: Resultados porcentuales de los impactos generados por tipo de transporte en el escenario actual normalizado.....	83
Figura 13: Comparativa coches diésel vs gasolina en el escenario actual normalizado.....	84
Figura 14: Contribución de impacto porcentual de las diferentes normativas de turismos en el escenario actual.....	86
Figura 15: Contribución porcentual de impacto de los transportes públicos en el escenario actual considerando en los aviones únicamente los vuelos peninsulares. ....	89
Figura 16: Reparto porcentual de los millones de pasajeros por km transportados en avión según el tipo de trayecto. ....	90



Figura 17: Contribución porcentual del impacto generado por tipo de vuelo en el escenario actual.....	92
Figura 18: Comparativa del impacto generado por los coches frente al transporte público en el escenario futuro 1. ....	94
Figura 19: Comparativa del impacto generado por los coches frente al transporte público en el escenario futuro 3. ....	95
Figura 20: Comparativa global del impacto generado en los tres escenarios futuros considerados. ....	96
Figura 21: Comparativa del impacto generado por el vehículo privado en los escenarios futuros.....	106
Figura 22: Comparativa del impacto generado por el vehículo privado en los escenarios futuros.....	107
Figura 23: Comparativa global del impacto generado por transporte entre los escenarios futuros considerando únicamente transportes terrestres.....	110
Figura 24: Comparativa global del impacto generado por transporte entre los escenarios futuros considerando únicamente transportes terrestres.....	111
Figura 25: Comparativa del impacto generado por el vehículo privado entre el escenario actual y los tres escenarios futuros. ....	119
Figura 26: Comparativa del impacto generado por el vehículo privado entre el escenario actual y los tres escenarios futuros. ....	120
Figura 27: Comparativa del impacto generado por el transporte público entre el escenario actual y los escenarios futuros considerando sólo vuelos peninsulares.....	123
Figura 28: Comparativa del impacto generado por el transporte público entre el escenario actual y los escenarios futuros considerando sólo vuelos peninsulares.....	124

## *Índice de tablas*

Tabla 1: Emisiones de CO <sub>2</sub> en kt correspondientes al transporte por carretera en España en los años 2019 y 2020. ....	4
Tabla 2: Parque nacional de turismos en función del tipo de carburante. ....	22
Tabla 3: Normativa EURO para los turismos. ....	22
Tabla 4: Clasificación del número de turismos según antigüedad y carburante en 2019 en España. ....	23
Tabla 5: Transporte de viajeros de media y larga distancia por ferrocarril. ....	28
Tabla 6: Procesos escogidos para el modelado del transporte de viajeros por tren. ....	28
Tabla 7: Transporte de viajeros por servicio regular de autobús de gestión estatal. ....	29
Tabla 8: Parque nacional de autobuses en función del tipo de carburante. ....	29
Tabla 9: Proceso escogido para el modelado del transporte de viajeros por autobús. ....	30
Tabla 10: Clasificación de los vuelos interiores regulares por origen y destino. ....	31
Tabla 11: Total de viajeros, operaciones por tipo de vuelo y ocupación y distancia media por trayecto. ....	31
Tabla 12: Procesos escogidos para el modelado del transporte de viajeros por avión. ....	32
Tabla 13: Número de operaciones por cada modelo de avión más representativo en los vuelos domésticos peninsulares. ....	33
Tabla 14: Número de operaciones por cada modelo de avión más representativo en los vuelos entre la Península y Baleares. ....	34
Tabla 15: Número de operaciones por cada modelo de avión más representativo en los vuelos entre la Península y Canarias. ....	34
Tabla 16: Número de operaciones por cada modelo de avión más representativo en los vuelos interinsulares en Canarias. ....	35
Tabla 17: Número de operaciones por cada modelo de avión más representativo en los vuelos interinsulares en Baleares. ....	35
Tabla 18: Emisiones por pkm para vuelos peninsulares. ....	35
Tabla 19: Emisiones por pkm para vuelos entre la Península y Baleares. ....	36
Tabla 20: Emisiones por pkm para vuelos entre la Península y Canarias. ....	36

Tabla 21: Emisiones por pkm para vuelos insulares en Baleares.....	36
Tabla 22: Emisiones por pkm para vuelos insulares en Canarias.....	37
Tabla 23: Movilidad de media y larga distancia por transporte público en España en 2019. .....	37
Tabla 24: Clasificación del número de turismos según antigüedad y cilindrada. ....	40
Tabla 25: Procesos escogidos para el modelado del transporte de viajeros por coche diésel de tamaño medio.....	40
Tabla 26: Procesos escogidos para el modelado del transporte de viajeros por coche diésel de tamaño grande.....	40
Tabla 27: Procesos escogidos para el modelado del transporte de viajeros por coche de gasolina de tamaño medio. ....	41
Tabla 28: Procesos escogidos para el modelado del transporte de viajeros por coche de gasolina de tamaño grande. ....	41
Tabla 29: Movilidad de medio y largo recorrido en coche en el año 2019 en España.....	41
Tabla 30: Movilidad de media y larga distancia en España. Datos normalizados, 2019. ...	43
Tabla 31: Variación anual de las operaciones aéreas nacionales e internaciones y porcentaje de operaciones y vuelos nacionales sobre el total entre los años 2014 y 2019. ....	45
Tabla 32: Crecimiento medio anual para cada uno de los escenarios planteados de 2017 a 2040. ....	47
Tabla 33: Crecimiento medio anual para cada uno de los escenarios planteados de 2017 a 2040. ....	47
Tabla 34: Estimación transporte aéreo para el año 2030.....	49
Tabla 35: Movilidad anual de media y larga distancia en España en 2030. Escenario 1. ...	54
Tabla 36: Movilidad anual de media y larga distancia en España en 2030. Escenario 2. ...	57
Tabla 37: Movilidad anual de media y larga distancia en España en 2030. Escenario 3. ...	59
Tabla 38: Datos normalizados de la movilidad anual de media y larga distancia en España en los escenarios proyectados para 2030.....	60
Tabla 39: Resultados del ACV por vehículo/km del escenario actual (2019). ....	64
Tabla 40: Resultados del ACV por pkm del escenario actual (2019). ....	66

---

Tabla 41: Impacto generado en función de la ocupación por los coches diésel y gasolina de normativas EURO 4 y 5. ....	71
Tabla 42: Porcentaje de reducción de impacto respecto a la ocupación del escenario actual en los coches diésel y gasolina de normativas EURO 4 y 5.....	72
Tabla 43: Resultados del ACV del escenario actual normalizado. ....	80
Tabla 44: Resultados del ACV del escenario futuro 1 normalizado. ....	99
Tabla 45: Resultados del ACV del escenario futuro 2 normalizado. ....	101
Tabla 46: Resultados del ACV del escenario futuro 3 normalizado. ....	103
Tabla 47: Porcentaje de reducción total de los escenarios futuros respecto al actual considerando todos los transportes. ....	115
Tabla 48: Porcentaje de reducción total de los escenarios futuros respecto al actual considerando en el transporte por avión sólo vuelos peninsulares.....	115
Tabla 49: Porcentaje de reducción total de los escenarios futuros respecto al actual considerando únicamente transportes terrestres. ....	116

## Capítulo 1. INTRODUCCIÓN

El transporte, tanto de pasajeros como de mercancías, es uno de los pilares fundamentales en la organización económica y social de un país, siendo uno de los sectores que mayor transformación e inversión ha experimentado desde sus inicios y consolidándose como un eslabón principal en la cadena de cualquier servicio o industria en la actualidad.

A medida que ha crecido la preocupación por los impactos ambientales generados por los diferentes procesos industriales y los principales sectores, se han ido imponiendo cada vez mayores regulaciones en los mismos, siendo el sector del transporte uno de los más estudiados y regulados dada su importante contribución al impacto ambiental.

Actualmente existe una mayor concienciación social sobre la importancia de reducir el impacto generado tanto a nivel global como a título individual. Sin embargo, la creación de este compromiso social sobre la búsqueda de un desarrollo sostenible ha requerido, y sigue necesitando, de años de educación y numerosas campañas, políticas y estudios que han ido visibilizando el potencial problema que una producción sin restricciones ni control puede ocasionar. Así, en el año 1984 se creó la “*Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo*” con el objetivo de dar respuesta a la creciente preocupación por los altos niveles de emisiones de gases de efecto invernadero que provocaban un impacto ambiental como el calentamiento global o el deterioro de la capa de ozono [1]. Los principales objetivos de esta comisión fueron los siguientes [2]:

- “*Examinar los temas críticos de desarrollo y medio ambiente y formular propuestas realistas al respecto.*”
- “*Proponer nuevas formas de cooperación internacional capaces de influir en la formulación de las políticas sobre temas de desarrollo y medio ambiente con el fin de obtener los cambios requeridos.*”
- “*Promover los niveles de comprensión y compromiso de individuos, organizaciones, empresas, institutos y gobiernos.*”

El hecho más destacable de esta comisión en sus primeros años, conocida también por el nombre de “*Comisión Brundtland*”, fue la publicación del documento “*Nuestro futuro común*” en 1987, donde por primera vez se incluye, populariza y define el concepto de desarrollo sostenible como aquel que busca “*la satisfacción de las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades*”. [3]

Años más tarde, en 1992, se produjo una cumbre en Río de Janeiro para concretar medidas de acción que permitiesen materializar este desarrollo sostenible. El resultado de esta cumbre fue la creación del “*Programa 21*” [4], que pretendía establecer un plan de acción detallado para lograr un desarrollo sostenible tanto a nivel global como regional. Ese mismo año, en diciembre, se crea la “*Comisión sobre el Desarrollo Sostenible*” [5] que pretende revisar el cumplimiento de las medidas adoptadas en la conferencia de Río.

Otro hito importante, aunque no estuvo gobernado estrictamente por un carácter medioambiental, fue la creación de los “*Objetivos de Desarrollo del Milenio*” por las Naciones Unidas en el año 2000. Con el objetivo de lograr un desarrollo más equitativo, se establecen ocho objetivos que tenían por objeto mejorar la calidad de vida a nivel mundial persiguiendo, fundamentalmente, erradicar la pobreza y el hambre extremas [6].

Buscando la reducción de las emisiones globales de gases de efecto invernadero, en el año 1997 se produjo la convención conocida como “*Protocolo de Kioto*”, el cual entró en vigor en 2005, donde se estableció, por primera vez, un objetivo para la reducción de este tipo de emisiones por parte de las principales economías persiguiendo una reducción de estos gases del 5% respecto a 1990 para el período de 2008 a 2012. [7]

Siguiendo este tipo de planteamiento de establecer objetivos, en el año 2015, debido, entre otros motivos, a la continua preocupación por el crecimiento exponencial de los procesos de producción gracias a los avances tecnológicos incorporados en muchas cadenas de suministro y del creciente impacto ambiental generado, de nuevo las Naciones Unidas fijaron los conocidos como “*Objetivos de Desarrollo Sostenible*”. Estos objetivos, a diferencia de los establecidos a comienzos del siglo, incorporaron el aspecto

medioambiental. Se componen de 17 objetivos generales que cubren diferentes campos y que presentan cada uno de ellos diferentes metas más concretas. Estos objetivos se pretenden alcanzar para el año 2030 [8].

En diciembre de 2015 se produjo un acuerdo histórico, el “*Acuerdo de París*”, que entraría en vigor un año más tarde, donde se impuso como objetivo una importante reducción de los gases de efecto invernadero a nivel global que permitiesen “*mantener el aumento de la temperatura media mundial muy por debajo de 2°C con respecto a los niveles preindustriales, y proseguir los esfuerzos para limitar ese aumento de la temperatura a 1,5°C con respecto a los niveles preindustriales*” [9]. Este acuerdo, por tanto, afecta directamente a la regulación del sector del transporte, que es uno de los principales causantes de las emisiones de gases de efecto invernadero como se desarrolla en el siguiente apartado.

## **1.1 EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO**

La Unión Europea, junto con el Reino Unido, fue la tercera región con mayor contribución a nivel global de emisiones de CO<sub>2</sub> con el 8,7% del total emitido en el año 2019, sólo por detrás de China, que supuso el 30,3% de las emisiones y de Estados Unidos que aportó el 13,4%. A nivel europeo, el nivel de emisiones fósiles de CO<sub>2</sub> de 2019 fue un 3,8% inferior respecto a 2018 y un 22,2% menor respecto a 2005. Además, dentro de los países europeos, España se situó en la sexta posición con un 7,8% de las emisiones, siendo Alemania el país que lideró de manera clara el ranking con un 21,3%. [10]

En España, en 2019, el sector del transporte supuso un 29,1% del total de las emisiones de gases de efecto invernadero [11] por encima del sector industrial que es el siguiente que presenta una mayor contribución. En la comparativa establecida por la base de datos “*The emissions database for global atmospheric research*” en su informe correspondiente a los años 1990 a 2019 [10], se recoge que, a nivel nacional, se ha producido un notable incremento de las emisiones de CO<sub>2</sub> anuales entre 1990 y 2020. Sin

embargo, es significativo que existe un decremento en 2019 respecto al año 2005, con una reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> para el sector del transporte del 17%.

Para desarrollar más las emisiones correspondientes al sector del transporte, en el “Informe de inventario nacional de gases de efecto invernadero”, publicado en marzo de 2022, se recoge que, en el año 2019, las emisiones de CO<sub>2</sub>-eq correspondientes al transporte por carretera, tanto de pasajeros como de mercancías, fueron de 84.777 kt de CO<sub>2</sub>, viéndose reducidas el siguiente año a 69.979 kt por el efecto de la pandemia. Para el año 2019, las cifras de emisiones detalladas por combustible fueron de 66.933 kt de CO<sub>2</sub> para el diésel (un 79% del total correspondientes al transporte por carretera) y de 16.477 kt para los vehículos de gasolina [12].

En la Tabla se presentan los datos desglosados de emisiones de CO<sub>2</sub>-eq en kt, por tipo de vehículo para los años 2019 y 2020.

<b>Emisiones CO<sub>2</sub>-eq (kt)</b>					
<b>Año</b>	<b>Turismos</b>	<b>Vehículos Pesados</b>	<b>Vehículos ligeros</b>	<b>Motocicletas y ciclomotores</b>	<b>Total</b>
<b>2019</b>	56.371	19.794	6.643	1.969	84.777
<b>2020</b>	44.960	19.253	4.392	1.375	69.979

Tabla 1: Emisiones de CO<sub>2</sub> en kt correspondientes al transporte por carretera en España en los años 2019 y 2020.

Fuente: Informe de Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero [12].

Del mismo informe se recoge que las emisiones de CO<sub>2</sub>-eq (kt) en 2019 para el tráfico aéreo nacional, sin tener en cuenta por tanto traslados internacionales, fueron de 3.154 kt. Para el año 2020, al igual que sucedió para el transporte por carretera, las emisiones se vieron reducidas al verse mermado drásticamente el tráfico aéreo por las restricciones de movilidad impuestas debido a la pandemia, siendo de 1.529 kt CO<sub>2</sub>-eq para ese año.

Las emisiones de CO<sub>2</sub>-eq correspondientes al consumo de gasóleo en el tráfico ferroviario también para el año 2019 fueron de 246,3 kt y para el año 2020, de nuevo por la reducción del tráfico, de 170,7 kt. Finalmente, se recogen también las emisiones correspondientes al tráfico marítimo nacional, es decir, con origen y destino en puertos nacionales con



independencia de la bandera del barco que realice el traslado tal como se expone en el informe. Para este tipo de transporte, los niveles de emisiones en el año 2019 fueron de 3.317,4 kt de CO<sub>2</sub>-eq y de 2.478,5 kt en 2020.

Se representan en la Figura 1 los porcentajes de emisiones de CO<sub>2</sub>-eq correspondientes a los diferentes tipos de transporte en España en el año 2019.

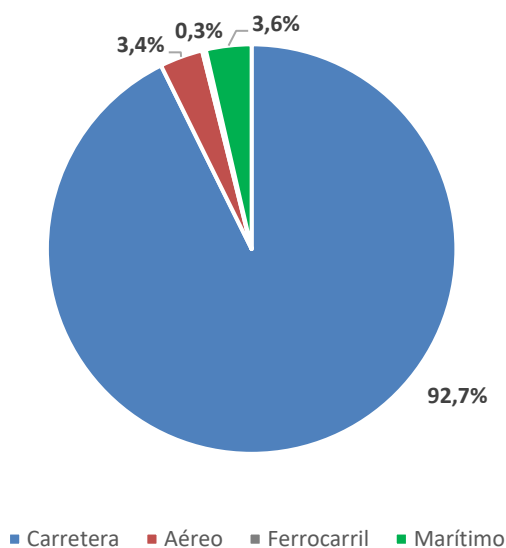


Figura 1: Porcentaje de contribución modal a las emisiones de CO<sub>2</sub>-eq debidas al transporte en España en 2019.

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos recogidos en el “Informe de inventario nacional de gases de efecto invernadero” [12].

## 1.2 REPARTO MODAL DEL TRANSPORTE EN ESPAÑA

El transporte es uno de los principales ejes vertebrales en la economía española, siendo un sector estratégico fundamental para todas las industrias. Especialmente relevante para estas últimas es el transporte de mercancías, donde se distinguen principalmente cuatro modos de transporte para las mismas: por carretera, por ferrocarril, aéreo y marítimo. De acuerdo con las cifras correspondientes al año 2019, en España, el transporte nacional de mercancías estuvo claramente dominado por el transporte por carretera con un 95% de la

cuota modal, siendo el cabotaje marítimo el siguiente modo de transporte con un 3%, mientras que el ferrocarril tuvo una influencia menos significativa y el uso del avión fue prácticamente residual. [13]

Para el transporte de mercancías internacional, sin embargo, el reparto modal cambia significativamente pasando a ser el marítimo el modo principal con un 79,3% del reparto modal y el transporte por carretera se reduce a algo menos del 20%, siendo poco influyentes el transporte por ferrocarril y por avión al igual que sucedía a nivel nacional.

El transporte de pasajeros, por su parte, presenta mayores distinciones que el de mercancías. Así, en función del tipo de desplazamiento, está el transporte urbano, el cual se produce dentro de un mismo municipio, y el transporte interurbano, que se produce entre núcleos urbanos pertenecientes a distintos términos municipales. Se distingue también en función del tipo de transporte empleado, pudiendo ser este en vehículo privado o público. Los principales modos de transporte de viajeros son por carretera, por ferrocarril, por avión y, aunque menos significativo, por barco.

Dentro del transporte por carretera es donde se establecen las diferencias principales entre el vehículo privado y el transporte público, prevaleciendo el transporte privado sobre el público. Para el resto de los modos el transporte es, prácticamente en su totalidad, de carácter colectivo.

De acuerdo con las estadísticas del INE [14], el total de viajeros, en miles, que emplearon el transporte público para traslados regulares de carácter urbano en 2019 fue de 3.102.006 repartidos principalmente entre transporte urbano regular por autobús y metro, mientras que para el transporte interurbano fue 1.420.276 viajeros distribuidos entre autobús, ferrocarril, avión y barco. En la Figura 2 a continuación se presenta un reparto modal del número de viajeros por tipo de transporte público en viajes interurbanos en 2019.

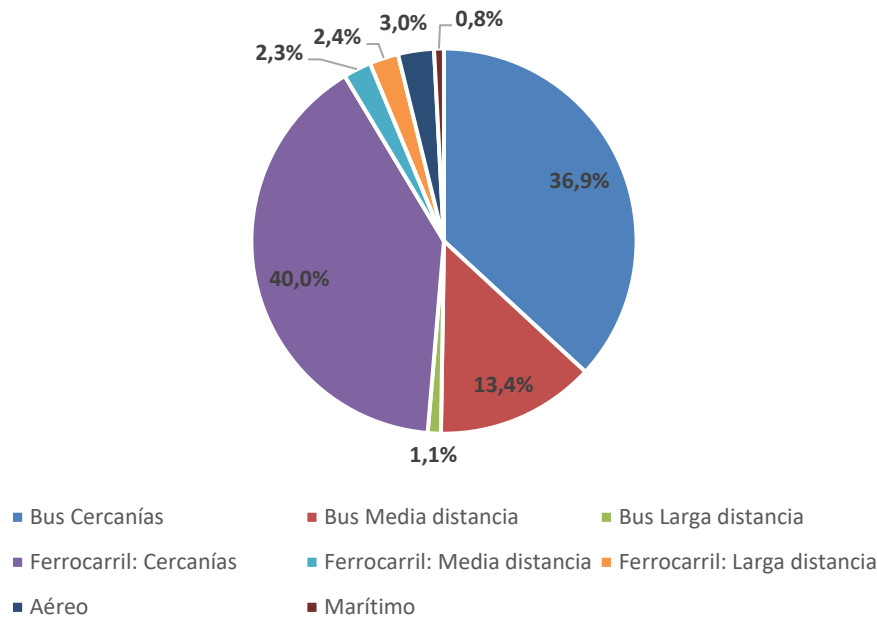


Figura 2: Reparto modal de viajeros en transporte público interurbano en 2019.

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del INE [14].

### 1.3 MOTIVACIÓN

Dada la relevancia que ha adquirido el plano medioambiental en las políticas gubernamentales a nivel global y regional, tanto en el aspecto público como también en la empresa privada, el desarrollo de este proyecto surge del interés por el estudio de los impactos ambientales de los diferentes sectores, centrándose exclusivamente en el estudio de la movilidad de pasajeros y el impacto que genera.

Existen numerosos estudios sobre este sector que, sin embargo, tanto a nivel nacional como europeo, suelen estar enfocados principalmente en la movilidad urbana dada su relevancia, englobada directamente en el objetivo número 11 (“ciudades y comunidades sostenibles”) de los 17 “Objetivos de Desarrollo Sostenible” [8]. Dados los numerosos análisis realizados sobre este tipo de movilidad, se ha considerado relevante poner el foco en otro tipo de transporte de pasajeros que, junto con el transporte de mercancías, resulta uno de los principales pilares de la organización económica y social nacional. En concreto

se va a desarrollar un estudio sobre los principales transportes de pasajeros empleados para la movilidad de media y larga distancia en España y el impacto ambiental que tienen en diferentes categorías.

Además, uno de los aspectos diferenciales que se pretende con este estudio es el hecho de analizar el ciclo completo de vida de los diferentes transportes y no únicamente la fase de uso de los mismos, ya que hay impactos provocados durante otras etapas del ciclo de vida que no se consideran y que, para algunos transportes y en algunas categorías, resultan muy relevantes.

De esta manera se puede realizar una comparativa en profundidad entre transportes y ver el impacto que tiene cada uno de ellos en el escenario actual así como el potencial impacto que pueden tener algunas medidas de cara a un escenario futuro como la renovación del parque de vehículos, el incremento de ocupación de los vehículos o la introducción de nuevas tecnologías que se pretenden incorporar a corto y medio plazo en este tipo de transporte como la introducción del coche eléctrico.

## **Capítulo 2. ESTADO DE LA CUESTIÓN**

### **2.1 ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA**

Los diferentes procesos de producción han ido evolucionando históricamente a medida que se han introducido nuevas tecnologías en los mismos y se han visto modificadas las necesidades de los clientes así como con la entrada de diferentes competidores que han provocado la optimización de los recursos por parte de las empresas para mantenerse competitivos en aquellas industrias donde operan.

Así, desde finales del siglo XVIII, con la primera revolución industrial, los procesos han evolucionado desde una primera etapa que duró hasta finales del siguiente siglo donde los primeros conceptos fueron establecidos por Adam Smith y su teoría sobre la especialización del trabajo [15]. Los siguientes años hasta principios del siglo XX estuvieron centrados en el análisis de procesos y estudios de los ritmos de producción que desembocaron en una etapa donde se priorizó la producción en masa con las cadenas de montaje centrándose principalmente esta fase en el coste de producción.

A finales del siglo pasado comenzó una etapa de ajuste de la producción a la demanda y una fase posterior, que aún perdura, que está centrada en la personalización optimizando la gestión de la cadena de suministros y la globalización de las diferentes industrias.

Esta evolución ha ido modificando las diferentes tendencias existentes en los procesos de producción provocando que el enfoque haya evolucionado desde una perspectiva local a una global y potenciando que la producción se realice de manera ajustada y responsable. Precisamente, esta producción responsable es la que está presente en la última década de manera cada vez mayor y viéndose las empresas obligadas a cumplir con las crecientes regulaciones existentes y provocando el nacimiento de conceptos como la RSC (*Responsabilidad Social Corporativa*) que busca integrar verticalmente las empresas para

que estén comprometidas con el impacto generado en su entorno tanto desde el punto de vista ético como desde el medioambiental.

Fruto de esta creciente preocupación por el impacto ambiental de los procesos industriales surgieron los primeros estudios sobre el impacto generado por algunas industrias, entre las que destaca la del transporte, sector sobre el cual está centrado el presente proyecto. Sin embargo, la amplia mayoría de los numerosos análisis realizados sobre este sector están focalizados fundamentalmente en la fase de uso de los vehículos y en las emisiones generadas durante los trayectos. A pesar de que esta etapa de uso y mantenimiento de los transportes es la más relevante en términos generales y la que mayor contribución de impacto presenta, analizando únicamente esa fase se dejan de tener en cuenta contribuciones relevantes generadas durante otras etapas del ciclo de vida de los transportes y que no se ven reflejadas durante la fase de uso pero si pueden aparecer en la etapa de construcción de la infraestructura, en la de obtención de materias primas o incluso en el desmantelamiento, y son relevantes a la hora de comparar los diferentes modos de transporte.

Este tipo de estudios que persiguen medir el impacto generado por un producto desde su producción hasta su desmantelamiento reciben el nombre de *Análisis del Ciclo de Vida* y han ido evolucionando desde sus orígenes, donde no existía regulación alguna, hasta la actualidad, donde se encuentran bajo una normativa para buscar homogeneidad en los mismos y que los resultados sean comparables.

Este tipo de análisis surgió en 1969 concebido por primera vez por Harry E. Teasley para la empresa “*Coca-Cola Company*” que buscaba reducir las emisiones en sus procesos de empaquetado y, al mismo tiempo, optimizar su consumo de recursos. Este estudio, llevado a cabo por el instituto “*Midwest Research Institute*” (*MRI*), nunca fue publicado al completo debido al carácter confidencial de la empresa pero sirvió para sentar las bases del desarrollo del Análisis del Ciclo de Vida, incorporando conceptos novedosos como la inclusión de la energía dentro de la categoría de recursos naturales y el interés ecológico por la obtención de la misma [16].

Se acuñó el término *REPA* (*Resource and Environmental Profile Analysis*) a este tipo de estudios que comenzaron a contemplar el ciclo de vida real de un producto desde la obtención de las materias primas. Un segundo estudio de estas mismas características fue desarrollado en 1971 por el mismo instituto, *MRI*, financiado por la “*Mobil Chemical Company*”, para estudiar si realmente, como creían hasta el momento, las bandejas de plástico usadas por esta empresa para algunos de sus envases eran tan nocivas para el medioambiente y si debían ser sustituidas por otras de cartón. Este estudio permitió constatar que las bandejas que empleaban eran menos perjudiciales, dada la poca cantidad de material requerido, que las que empleaba la competencia y que la idea del plástico como elemento más contaminante era infundada [17].

Durante los siguientes años, entre 1970 y 1974, se desarrollaron este tipo de estudios denominados *REPA* a la par que se comenzó a establecer un marco para estudiar las evaluaciones de impacto y se comenzó a desarrollar una metodología cada vez más detallada que, sin embargo, era principalmente de índole privada. No obstante, este tipo de estudios pasó a tener un interés público al desencadenarse la conocida como *crisis del petróleo* en 1973 y proliferar los análisis que tuviesen en cuenta el impacto y gestión ambientales de algunas tecnologías que, sin embargo, pasaron a perder interés una vez solventada la crisis y no fue, hasta 1988, de nuevo promovido por la aparición de una nueva crisis en Estados Unidos conocida como la *crisis de los residuos sólidos* así como por la presión social recibida en algunas multinacionales en Europa por *grupos verdes*, que se recuperó el interés por este tipo de análisis [18].

Con motivo de esta crisis, en 1990 se publicó un trabajo llevado a cabo por “*Franklin Associates*”, fundada por *William Franklin*, uno de los colaboradores del *MRI* que elaboraron las primeras metodologías para el desarrollo de los estudios *REPA* [18], donde se empleó por primera vez el concepto de ciclo de vida para analizar el impacto ambiental generado por los pañales desechables y los de tela reusables [19].

Ese mismo año se produjo un debate en la “*Sociedad de Toxicología Ambiental y Química*” (*SETAC*) sobre la metodología para el desarrollo de los estudios conocidos

hasta la fecha como *REPA* estableciéndose por primera vez el nombre de *Análisis del Ciclo de Vida (ACV)*, en inglés “*Life Cycle Assessment*” (*LCA*), para este tipo de estudios [18].

A partir de esta fecha fueron sucediéndose progresivos acuerdos para un desarrollo común de este tipo de estudios que pasaron a estar estandarizados bajo una misma normativa durante la de década de los 90 con la creación de normativas ISO de las cuales, desde 2006, se encuentran vigentes la ISO-14040 centrada en los principios y marco de referencia y la ISO-14044 que regula los requisitos y directrices [20].

Esta normativa regula los estudios de análisis de ciclo de vida y distingue cuatro fases principales en los mismos que son de obligatorio cumplimiento para un correcto desarrollo del estudio. Las fases son las siguientes:

- Definición del objetivo y alcance del análisis
- Análisis de inventario
- Evaluación de impacto
- Interpretación de los resultados

En la Figura 3 se presentan la interconexión existente entre las diferentes fases de las cuales las tres primeras son sucesivas y conectadas recíprocamente entre sí, mientras que la fase de interpretación de los resultados está conectada directamente con cada una de las otras fases y tiene como objetivo mantener una constante interpretación y adecuación de cada fase para el desarrollo del estudio siendo, por tanto, este tipo de análisis un proceso iterativo.



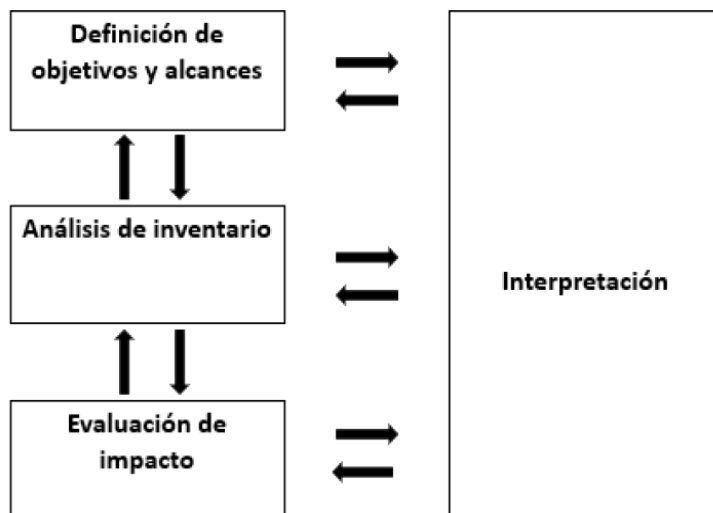


Figura 3: Fases del ACV.

Fuente: Elaboración propia a partir de la norma ISO-14040 [20].

## 2.2 PUBLICACIONES Y ESTUDIOS

Como se ha comentado en el apartado anterior, este tipo de estudios son de reciente aparición y se han realizado sobre gran variedad de temas gracias a su amplio campo de aplicación y al interés de sus conclusiones, ya que tienen un aspecto diferencial con aquellos que únicamente se centran en la fase de uso de los productos. En este apartado se presentan algunos de los estudios de estas características realizados sobre el sector del transporte, del cual trata este proyecto.

En el año 2000 se publicó un estudio de ACV en Estados Unidos bajo el título “*On the road in 2020 – A life-cycle analysis of new automobile technologies*” [21] donde se analizaban las diferentes tecnologías de propulsión de coches poniendo el foco en las emisiones de CO<sub>2</sub> y los gases de efecto invernadero así como la viabilidad económica de cada alternativa. En las conclusiones del estudio, basadas en las diferentes suposiciones realizadas durante el desarrollo del mismo, se afirmaba que para la entrada de nuevas tecnologías en el sector hacía falta la aceptación e iniciativa de los principales agentes involucrados. Además, concluye que, aunque se puedan reducir los consumos y emisiones

de los coches con sistemas de propulsión tradicionales, una reducción significativa de las emisiones de gases de efecto invernadero sólo es posible con la introducción de tecnologías como el hidrógeno o los vehículos eléctricos pero siempre que esta energía proceda de fuentes renovables. Esto se proyectaba para un horizonte temporal indefinido entre 30 y 50 años más adelante en función de la iniciativa e inversión destinada a su desarrollo y viabilidad.

En otro estudio, “*Life cycle assessment of transport systems and transport infrastructure: Investigating methodological approaches and quantifying impacts at 14 project and network levels*” [22], sobre los diferentes sistemas de transporte de Suecia, se concluye que los principales impactos directos generados por este sector provienen del vehículo privado, en concreto de los coches, y de la aviación. Además, se destaca que los impactos indirectos no son despreciables sino bastante notables contribuyendo al 30% del impacto climático y al 40% del uso de energía primaria. Esta contribución indirecta se debe principalmente a los procesos de producción de combustible y a la fabricación y mantenimiento de los coches de pasajeros.

Existen estudios desarrollados con el objetivo de establecer comparativas entre los vehículos convencionales y los eléctricos como el “*Comparative environmental life cycle assessment of conventional and electric vehicles*” [23]. En este estudio se comparan diferentes sistemas de propulsión en distintas categorías concluyendo que, para algunas de ellas, los mayores impactos se producían en las cadenas de suministro de fabricación de los vehículos, como sucede con en el potencial de ecotoxicidad humana o en el potencial de agotamientos minerales, siendo superior en el caso de los vehículos eléctricos que en los convencionales. Sin embargo, para otras categorías como el calentamiento global, el principal impacto se produce durante la fase de uso, siendo la reducción producida por el vehículo eléctrico, para la media europea, del 20% al 24% comparado con los coches de gasolina y en torno al 14% comparado con los coches diésel, teniendo en cuenta que hay que evaluar el mix energético para producir esa electricidad y que se considera renovable en la medida que el mix esté producido por fuentes renovables.

En línea con el estudio anterior, se publicó en 2018 un estudio [24], que comparaba también diferentes alternativas de sistemas de propulsión a nivel europeo centrado en el transporte de pasajeros por carretera y, en particular, en los coches. Así, se analizan los ciclos de vida de los diferentes transportes considerados concluyendo, entre otros aspectos, que una política de alto uso de biocombustibles y vehículos eléctricos tiene resultados adversos significativos en varias categorías, pero es la que presenta una mayor reducción de los gases de efecto invernadero.

Evaluando también las diferentes alternativas existentes a los vehículos de pasajeros, en el estudio “*Towards Life Cycle Sustainability Assessment of Alternative Passenger Vehicles*” [25], se concluye que la fase de fabricación es una de las más influyentes en el impacto en términos socioeconómicos mientras que la fase de uso es la que presenta un mayor impacto ambiental. Además, los vehículos eléctricos, si son cargados mediante estaciones solares de recarga, tienen el potencial de reducir los costes de emisiones hasta un 45% y los impactos a la salud de seres humanos un 35%. Con un enfoque también en tecnologías alternativas, se analizan en otro estudio el ciclo de vida de turismos que empleen biocombustibles en el escenario actual y en una proyección a 2030 [26].

En el estudio “*Exploiting the Scientific Literature for Performing Life Cycle Assessment about Transportation*” [27] se comparan diferentes medios de transporte en el escenario europeo con la conclusión de que los coches contribuyen en torno al 95% de media de los impactos siendo los que más contribuyen por pkm a las emisiones de SO<sub>2</sub> y de PM<sub>10</sub>, y siendo notables las emisiones de CO<sub>2</sub> de los aviones.

A nivel nacional, en España, se han desarrollado algunos estudios de ACV como el recogido bajo el título “*Dataset for the life cycle assessment of the high speed rail network in Spain*” [28], donde se realiza un detallado análisis de inventario y se analiza la red de ferrocarril de alta velocidad en 2016 en España centrándose en el calentamiento global y las emisiones de SO<sub>2</sub>, de NO<sub>x</sub> y de PM<sub>10</sub>. Se detallan los impactos de cada uno de los corredores de alta velocidad nacionales distinguiendo entre los generados en las

diferentes fases del ciclo de vida como la construcción y el mantenimiento de las vías así como en el uso de la infraestructura.

También enmarcado en España, se publicó en 2021 el estudio “*Comparative life cycle assessment of conventional, electric and hybrid passenger vehicles in Spain*” [29] donde se pretendía analizar cuáles eran los potenciales impactos ambientales, considerando diferentes categorías como el calentamiento global o las ecotoxicidades terrestre o marina, provocados por turismos eléctricos, híbridos, de gasolina y diésel de tamaño mediano y cómo afectarán los posibles cambios de la red eléctrica en España al comportamiento de los coches eléctricos. En el estudio, entre otros resultados, se concluye que los vehículos eléctricos, centrados en reducir su impacto durante la fase de uso tienen, sin embargo, un mayor impacto en categorías como la toxicidad en seres humanos y la ecotoxicidad pudiendo ser especialmente damnificados aquellos países menos desarrollados donde existen menos regulaciones y peores condiciones laborales poniendo en riesgo sus ecosistemas y la salud de las personas. Por ello, se han de revisar las políticas que afectan a toda la cadena de suministro en el ciclo de vida completo de estos vehículos. Además, en el estudio a futuro, dadas las perspectivas europeas para España, se indica que para 2050 los vehículos eléctricos pueden ver reducido su impacto en el calentamiento global un 27%.

Existen otros estudios centrados también en el transporte aéreo de pasajeros como el publicado en 2013 “*A Life Cycle Assessment of the Passenger Air Transport System Using Three Flight Scenarios*” [30], donde se analiza el ciclo de vida de varios modelos de avión para rutas establecidas en tres escenarios diferentes y se incluye un detallado análisis de inventario para cada uno de los modelos comparando los impactos provocados por cada uno y analizando el impacto generado por las cadenas de suministro para la fabricación de cada modelo. Además, se analiza también la influencia de la fase LTO (correspondiente a las operaciones de despegue y aterrizaje) en los vuelos, siendo menor su impacto proporcional para recorridos más largos.

## **2.3 SOFTWARE EMPLEADO**

Para la realización de este estudio, de los principales softwares disponibles para realizar análisis del ciclo de vida como GaBi, Eco-it, Open LCA o SimaPro, se ha escogido este último para el desarrollo del análisis y se ha trabajado con la versión 9.3. Esta herramienta está especializada en este tipo de análisis y tiene varias bases de datos disponibles para realizar los estudios como las de Ecoinvent, Agri-footprint o ILCD. La base de datos empleada para este estudio es la de Ecoinvent 3.8. En concreto se ha empleado la biblioteca “*allocation, cut-off by classification*”.

## **2.4 TRANSPORTE DE MEDIA Y LARGA DISTANCIA EN ESPAÑA**

### **2.4.1 FERROCARRIL**

El transporte de pasajeros por ferrocarril presenta dos distinciones principales para la clasificación de los trayectos: en función de la distancia recorrida en el mismo, distinguiéndose entre recorridos de media y larga distancia; y según la velocidad media y máxima alcanzadas por el tren, siendo o bien convencional o bien de alta velocidad. Se detalla a continuación la clasificación en función de los límites de distancia y velocidad establecidos.

- Larga distancia: recorrido superior a los 300 kilómetros.
  - Alta velocidad: velocidad máxima superior a 200 km/h y velocidad media superior a 150 km/h.
  - Convencional: velocidad máxima inferior o igual a 200 km/h o velocidad media inferior o igual a 150 km/h.
- Media distancia: recorrido superior a 60 kilómetros pero menor de 300.
  - Alta velocidad: velocidad máxima superior a 200 km/h y velocidad media superior a 100 km/h.
  - Convencional: velocidad máxima inferior o igual a 200 km/h o velocidad media inferior a 100 km/h.

En el año 2019, la red ferroviaria en España gestionada por Adif presentaba una distancia total de 15.372 km. Se distinguen dos tipos de subredes principales en función del ancho, existiendo de ancho estándar (1.435 mm), con una distancia total de 2663 km, y de ancho ibérico (1.668 mm), que cubren 11.289 km. El resto de las subredes tienen, o bien un ancho mixto combinando los dos anteriores, o bien otro tipo de ancho conocido como métrico. [31]

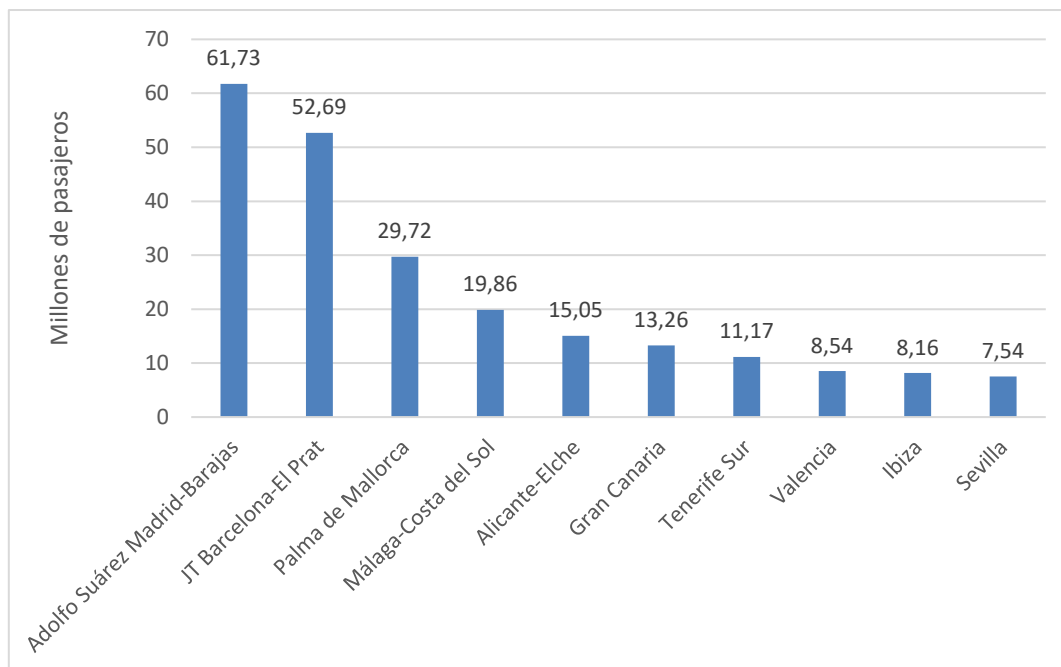
La red de alta velocidad discurre principalmente por vías de ancho estándar y cubría, en el año 2019, de la red gestionada por Adif, un total de 2600 km, mientras que el resto de servicios comerciales operaban en redes de mayor distancia. Los de larga distancia sobre una red total de 8.438 km, y los de media distancia sobre 10.485 km.

El total de viajeros de larga distancia para este año fue de 22,37 millones para los servicios de alta velocidad y de 12,15 millones para los convencionales, mientras que para la media distancia fue de 8,88 millones en alta velocidad y de 24,26 millones en los servicios convencionales.

#### **2.4.2 AVIÓN**

Los aeropuertos españoles albergaron en el año 2019 un flujo total de 275,4 millones de pasajeros incluyendo tanto transporte nacional como internacional, siendo el tráfico regular el que presentó una mayor influencia con un 96% del total. Además, resulta destacable que, de los 51 aeropuertos que había en España, los diez que presentaron un mayor tráfico de pasajeros ese año acumularon más del 80% del total del tráfico aéreo.

Se presentan en la Figura 4 a continuación las cifras de pasajeros correspondientes a estos diez aeropuertos más transitados con el número de pasajeros en millones.[32]

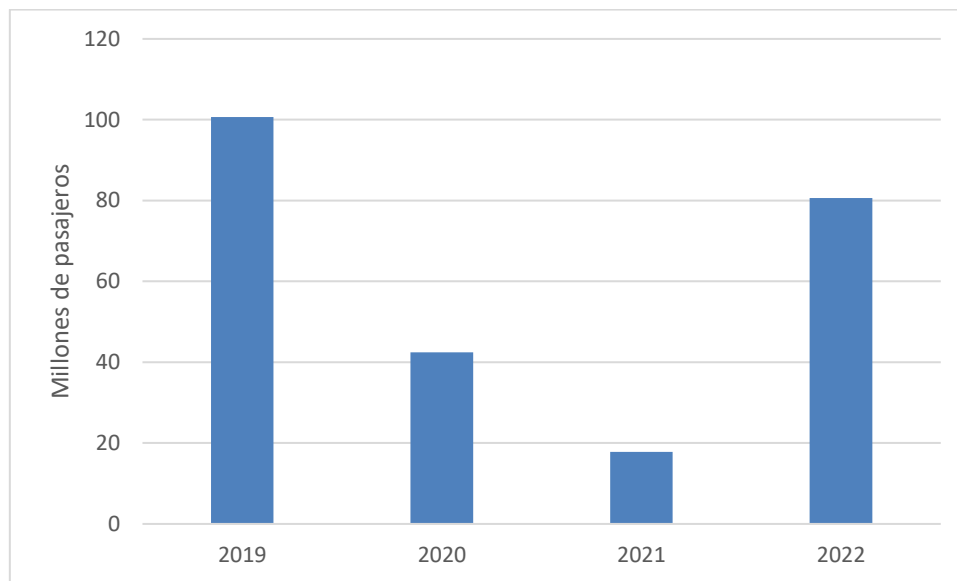


*Figura 4: Tráfico de pasajeros, en millones, en los diez aeropuertos españoles más transitados en 2019.*

*Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de [32].*

De los aeropuertos gestionados por Aena, el tráfico de pasajeros nacionales aumentó en 2019 un 6,4% respecto al año anterior, mientras que el aumento para los internacionales fue del 3,5%. La tendencia ascendente de los años anteriores que estaba experimentando el transporte aéreo se vio seriamente afectada con motivo de la pandemia, en el año 2020, con una caída cercana al 73% en el movimiento total de pasajeros, siendo especialmente acusada la caída en el tráfico internacional que pasó de 188,9 millones de viajeros en 2019 a 41,9 millones en 2020. Además, para el año 2021 las cifras estuvieron lejos de recuperarse con un total de 67,4 millones de viajeros. [33]

Para el año 2022 únicamente se dispone de los datos de viajeros hasta mayo, por lo que se presenta en la Figura 5 la evolución del número de pasajeros totales, en millones, en los aeropuertos gestionados por Aena para los años de 2019 a 2022 considerando únicamente los meses de enero a mayo, ambos incluidos.



*Figura 5: Evolución del número de pasajeros totales en los aeropuertos gestionados por Aena en los meses de enero a mayo para los años 2019 a 2022.*

*Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de Aena [33].*

La caída en el año 2020 para los meses considerados es menos acusada que para 2021 ya que en 2020 las restricciones comenzaron en el mes de marzo y en los meses de enero y febrero el tránsito de pasajeros fue, incluso, superior a esos mismos meses comparado con el año 2019.

### **2.4.3 CARRETERA**

Dentro del transporte por carretera de media y larga distancia se distingue entre el vehículo privado (coche) y el transporte público (autobús).

#### **2.4.3.1 Autobús**

De acuerdo con el anuario estadístico de la DGT, en 2019 había un total de 65.470 autobuses, de los cuales 61.697 eran diésel, 229 empleaban gasolina y 3.544 tenían otros sistemas de propulsión [34]. Para los recorridos de larga distancia se empleaban en este año únicamente autobuses diésel.

El 1 de enero de 2019, el número de autobuses autorizados para el transporte de viajeros por carretera era de 47.041, siendo la gran mayoría de las autorizaciones para el servicio



público discrecional con un total de 45.475 [35], y existían 80 líneas de transporte regular de autobuses de gestión estatal autorizadas a nivel nacional. Como se detalla en el análisis de inventario, para este tipo de transporte público por carretera únicamente se va a considerar este último servicio de carácter regular ya que es el único del que se disponen datos de ocupaciones y distancias recorridas.

En 2019, el número de viajeros que emplearon este tipo de transporte fue de 30.883.834 [35].

#### ***2.4.3.2 Vehículo privado***

El coche fue el transporte más empleado para recorridos de media y larga distancia en España en 2019 tal como se detalla en el análisis de inventario. Dentro de esta categoría de vehículo privado, tanto para el escenario actual de 2019 como para los escenarios futuros, únicamente se va a considerar el turismo. No se incluye, por tanto, la motocicleta ya que presenta una relevancia escasa en este tipo de movilidad de media y larga distancia y existe poca disponibilidad de datos para incluirla. Además, tanto para los escenarios futuros como el escenario actual, no se consideran los coches híbridos ni híbridos enchufables ya que la biblioteca del software empleado, SimaPro, no dispone de estos procesos.

El parque nacional de turismos en función del sistema de propulsión empleado se detalla en los datos recogidos por la DGT [34], y se presenta en la Tabla 2. La categoría de “Otros” hace referencia a turismos con diferentes tecnologías como los vehículos eléctricos. No se detalla más esta categoría ya que no se dispone de los datos a nivel nacional.

Tipo de Carburante	Número de turismos	% sobre el total
<b>Gasolina</b>	10.939.069	44,5%
<b>Diésel</b>	13.510.143	55%
<b>Otros</b>	108.914	0,5%

Tabla 2: Parque nacional de turismos en función del tipo de carburante.

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la DGT

En el caso de los turismos es importante realizar también la división según la normativa establecida sobre los contaminantes que aplica a los coches en función del año de su fabricación para poder establecer los diferentes procesos de modelado. Las emisiones permitidas por norma y sistema de propulsión se presentan en la Tabla 3.

Normativa	Fecha	CO	HC	NMHC	HC+NOx	NOx	PM	PN
		(g/km)						
<b>GASOLINA</b>								
<b>EURO 1</b>	1992	2,72	-	-	0,97	-	-	-
<b>EURO 2</b>	1996	2,2	-	-	0,5	-	-	-
<b>EURO 3</b>	2000	2,3	0,2	-	-	0,15	-	-
<b>EURO 4</b>	2005	1	0,1	-	-	0,08	-	-
<b>EURO 5</b>	2009	1	0,1	0,068	-	0,06	0,005	-
<b>EURO 6</b>	2014	1	0,1	0,068	-	0,06	0,005	6x10 <sup>11</sup>
<b>DIÉSEL</b>								
<b>EURO 1</b>	1992	2,72	-	-	0,97	-	0,14	-
<b>EURO 2 DI</b>	1996	1	-	-	0,7	-	0,08	-
<b>EURO 2 IDI</b>	1996	1	-	-	0,9	-	0,1	-
<b>EURO 3</b>	2000	0,64	-	-	0,56	0,5	0,05	-
<b>EURO 4</b>	2005	0,5	-	-	0,3	0,25	0,025	-
<b>EURO 5a</b>	2009	0,5	-	-	0,23	0,18	0,005	-
<b>EURO 5b</b>	2011	0,5	-	-	0,23	0,18	0,005	6x10 <sup>11</sup>
<b>EURO 6</b>	2014	0,5	-	-	0,17	0,08	0,005	6x10 <sup>11</sup>

Tabla 3: Normativa EURO para los turismos.

Fuente: Elaboración a partir de [36] y [37].

Para clasificar los turismos en función de la normativa se ha recogido la información del Anuario Estadístico de 2019 [38] en relación con el parque de coches según el sistema de propulsión y la antigüedad, obteniéndose la siguiente distribución de turismos mostrada en la Tabla 4.

	<b>Gasolina</b>	<b>% sobre el total de gasolina</b>	<b>Diésel</b>	<b>% sobre el total de diésel</b>	<b>%gasolina - %diésel</b>
<b>EURO 1 y 2 o anteriores</b>	3.215.183	29,4%	1.084.968	8%	74,8% - 25,2%
<b>EURO 3</b>	1.864.374	17%	2.822.685	20,9%	39,8% - 60,2%
<b>EURO 4</b>	1.537.383	14%	3.583.501	26,5%	30% - 70%
<b>EURO 5</b>	1.084.424	10%	2.615.595	19,4%	29,3% - 70,7%
<b>EURO 6</b>	3.237.705	29,6%	3.403.394	25,2%	48,8% - 51,2%
<b>TOTAL</b>	10.939.069	100%	13.510.143	100%	44,7% - 55,3%

*Tabla 4: Clasificación del número de turismos según antigüedad y carburante en 2019 en España.*

*Fuente: Elaboración propia a partir de los datos recogidos en [38].*



## Capítulo 3. CASO DE ESTUDIO

### 3.1 OBJETO Y ALCANCE

El objeto de este proyecto es realizar un análisis del ciclo de vida de los transportes de pasajeros de media y larga distancia en España. Se proyectan para ello dos escenarios, uno planteado a partir de los datos de 2019 para este tipo de transporte y otro proyectado para el año 2030 donde se van a considerar diferentes alternativas que permitan evaluar el impacto generado al adoptar diferentes políticas. Se plantea así el objetivo de analizar en profundidad este sector para el escenario actual, analizando qué transportes son más nocivos y en qué categorías, y de ver qué medidas son las que contribuirían a una mayor reducción del impacto generado en la próxima década.

Se emplea para ello el software SimaPro, en su versión 9.3, con la base de datos de Ecoinvent 3.8. Las categorías de impacto que se van a considerar, asociadas a la metodología empleada (“*CML\_IA baseline*”), son las siguientes: agotamiento abiótico, agotamiento abiótico de combustibles fósiles, calentamiento global, agotamiento de la capa de ozono, toxicidad en humanos, ecotoxicidad terrestre, ecotoxicidad de agua marina, ecotoxicidad de agua dulce, oxidación fotoquímica, acidificación y eutrofización.

La unidad funcional empleada son los pasajeros transportados por kilómetro (pkm) normalizando los resultados del escenario actual para los habitantes de España en 2019 y los del escenario futuro para la proyección de los mismos en el año 2030.

### 3.2 ANÁLISIS DE INVENTARIO

#### 3.2.1 ESCENARIO ACTUAL

El escenario actual engloba el análisis de los medios de transporte de pasajeros empleados en el año 2019 en España en viajes de medio y largo recorrido. Para ello, se han recopilado

los datos correspondientes a la movilidad de media y larga distancia relativos al año mencionado, tanto de carácter público como privado. Se presentan a continuación los datos recogidos.

Para modelar los diferentes medios de transporte que forman parte del estudio desarrollado, se van a emplear los procesos ya existentes en la base de datos de Ecoinvent realizando, cuando corresponda, las modificaciones oportunas en cada uno de ellos para adaptarlos al escenario a evaluar o creando nuevos procesos.

### ***3.2.1.1 Transporte público***

El transporte público hace referencia a los siguientes modos de transporte: ferrocarril, autobuses y aviones. Además, dentro de este tipo de transporte únicamente se consideran aquellos servicios de tipo regular, siendo estos los que presentan un horario e itinerarios fijos.

#### **3.2.1.1.1 Ferrocarril**

Para el análisis de este medio de transporte es necesario precisar la división que existe entre los viajes considerados de alta velocidad y aquellos que no lo son, englobados bajo el nombre de convencionales. Esta división varía además en función de si el viaje es de larga o media distancia como se ha explicado en el capítulo anterior.

El Observatorio del Ferrocarril en España, en su informe anual correspondiente al año 2019 [31], recoge los datos de los viajeros que emplearon el tren para viajes de media o larga distancia, detallando tanto los miles de viajeros anuales, como la ocupación media de los trenes así como los millones de viajeros por kilómetro (pkm).

En los viajes de larga distancia, la media anual de ocupación por tren es cercana al 90%, siendo el número medio de viajeros de 250,3 por tren con un recorrido medio de 451 km por viaje. Por otra parte, el número viajeros por kilómetro es de 15.674 millones, de los cuales en torno al 30% se corresponden con los viajes de larga distancia convencionales

y el restante a los de alta velocidad: 4.923 frente a 10.751 millones de pkm respectivamente.

En el informe anual del sector ferroviario del año 2019 llevado a cabo por la Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia [39], se detalla que el número de viajeros, en miles, de cada una de las dos modalidades de viajes de larga distancia fue de 22.373 para la alta velocidad y de 12.146 en larga distancia convencional, siendo los recorridos medios por viajero en cada una de las modalidades de 480,53 y 405,32 kilómetros respectivamente. La media de viajeros por tren fue de 317,6 en los de alta velocidad y de 173 en los convencionales.

En lo relativo a los viajes de media distancia, en el Anuario Estadístico de 2019 del transporte por ferrocarril [40], al igual que en las fuentes citadas anteriormente, se recoge que el número total de viajeros, en miles, que hizo uso de este tipo de transporte fue de 33.134, de los cuales 8.877 corresponden a los viajes de alta velocidad, con un total, en millones, de 1.055,7 de viajeros por kilómetro, siendo el recorrido medio de 119 kilómetros por viajero. Los millones de viajeros por kilómetro correspondientes a los servicios de media distancia convencionales fueron 2.168,29 y el recorrido medio por viajero de 89,4 kilómetros.

En los trenes de alta velocidad, el total de trenes por kilómetro, en miles, es de 5.912, y en los convencionales de 33.332,9. El número medio de viajeros por tren resulta, por tanto, de 178,6 y de 65 respectivamente.

Se recogen en la Tabla 5 los datos correspondientes al transporte por ferrocarril.

<b>LARGA DISTANCIA</b>				
	<b>Viajeros (miles)</b>	<b>Recorrido medio por viajero (km)</b>	<b>Viajeros por tren</b>	<b>Viajeros por kilómetro (millones)</b>
Alta Velocidad	22.373	480,53	317,6	10.751
Convencional	12.146	405,32	173	4.923
<b>MEDIA DISTANCIA</b>				
	<b>Viajeros (miles)</b>	<b>Recorrido medio por viajero (km)</b>	<b>Viajeros por tren</b>	<b>Viajeros por kilómetro (millones)</b>
Alta Velocidad	8.877	119	178,6	1.055,7
Convencional	24.257	89,4	65	2.168,29

Tabla 5: Transporte de viajeros de media y larga distancia por ferrocarril.

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos recogidos en las fuentes [31], [39], [40].

Para el modelado de este medio de transporte no se dispone en la base de datos de los procesos de tren convencional y de alta velocidad en España. Sin embargo, se van a modificar los procesos existentes adaptando la ocupación y los kilómetros recorridos al escenario correspondiente. Además, se va a modificar también el dato de entrada asociado al consumo eléctrico adaptándolo al mercado eléctrico español. Los procesos disponibles son los siguientes (Tabla 6).

Tren convencional	<i>Transport, passenger train {DE}</i>
Tren de alta velocidad	<i>Transport, passenger train {DE} high-speed</i>

Tabla 6: Procesos escogidos para el modelado del transporte de viajeros por tren.

Fuente: Elaboración propia a partir de los procesos disponibles en Ecoinvent.

Dentro de cada uno de los dos procesos se adaptan los datos de entrada distinguiendo entre los escenarios de larga distancia y los de media distancia, empleándose por tanto cuatro procesos diferentes.

### 3.2.1.1.2 Autobús

Para el transporte de viajeros por autobús se van a considerar los servicios regulares de autobuses de gestión estatal. En 2019 existían 80 líneas regulares de autobuses de transporte de viajeros en territorio nacional [41] cubriendo una longitud total cercana a los 70.000 kilómetros con un recorrido medio por línea de 870 kilómetros.



Se han recogido los datos de viajeros correspondientes a cada una de las líneas mencionadas [42] obteniéndose un total de 30.883.834 viajeros que hicieron uso de ese transporte durante el año con un recorrido medio por viajero de 187,6 kilómetros, dando lugar a 5.796 millones de pkm. Además, se recogen también los datos vehículo-kilómetro de cada una de las líneas, siendo el total de 239 millones veh-km. Con todo ello se obtiene que el número de pasajeros medio por autobús durante el año fue de 24,3 viajeros.

Los datos calculados coinciden con los recogidos por el Observatorio del Transporte de Viajeros por Carretera en su informe de 2019 [35] y se presentan resumidos en la Tabla 7 a continuación.

Viajeros	Recorrido medio por viajero (km)	Viajeros por autobús	Viajeros por kilómetro (millones)
30.883.834	187,6	24,3	5.795,87

Tabla 7: Transporte de viajeros por servicio regular de autobús de gestión estatal.

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos recogidos en [35], [41], [42].

El Anuario Estadístico General de la DGT correspondiente al año 2019 [34], recoge el parque de vehículos de autobuses en función del tipo de carburante empleado tal y como se muestra en la siguiente Tabla 8.

Tipo de Carburante	Número de autobuses	% sobre el total
Gasolina	229	0,4%
Diésel	61.697	94,2%
Otros	3.544	5,4%

Tabla 8: Parque nacional de autobuses en función del tipo de carburante.

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la DGT

Atendiendo a los datos del parque de autobuses en el año 2019, se observa que el porcentaje de autobuses diésel es claramente dominante respecto al del resto de carburantes. Por otra parte, los autobuses englobados bajo el nombre de “Otros” (no se incluyen detallados por tecnología ya que no se dispone de los datos a nivel nacional) son aquellos que emplean combustibles alternativos con un menor impacto ambiental en su fase de uso, como pueden ser los autobuses eléctricos o los de gas natural. Sin embargo, éstos están enmarcados dentro de un uso urbano o metropolitano y, por el momento, no

se emplean en el transporte regular de viajeros por autobús de largo recorrido. Aunque sí existen propuestas y estudios de viabilidad para el empleo de combustibles alternativos como el gas natural para este tipo de trayectos con la intención de ser implantados progresivamente en vehículos pesados (“*El futuro de la movilidad colectiva*” [49]), la realidad es que en el año 2019, como se indica en el Observatorio de costes del transporte de viajeros por autocar [50], los transportes de viajeros de largo recorrido por autobús se realizaron con combustible diésel.

El proceso seleccionado entre los disponibles es el que se indica a continuación (Tabla 9). Se modifican los datos de ocupación para adaptarlos al escenario a evaluar.

Autobús diésel	<i>Transport, passenger coach {CH}</i>
----------------	--

Tabla 9: Proceso escogido para el modelado del transporte de viajeros por autobús.

Fuente: Elaboración propia a partir de los procesos disponibles en Ecoinvent

### 3.2.1.1.3 Avión

Se consideran en el transporte de pasajeros por avión aquellos vuelos comerciales de carácter regular cuyo origen y destino se encuentre dentro del territorio nacional español, recogidos bajo el nombre de vuelos interiores. En el año 2019 hubo un total de 42.693.422 viajeros enmarcados en 390.000 vuelos interiores regulares [33], [43]. En el análisis realizado es importante destacar que, cuando se habla del número de operaciones se hace referencia al número de vuelos, ya que, en ocasiones, en otros documentos este término puede hacer referencia a las operaciones de salida y a las de llegada por separado. Sin embargo, para este estudio, al ser tanto el despegue como el aterrizaje de carácter doméstico, se van a contabilizar ambas operaciones como una unidad siendo equivalente el término operación al de vuelo.

Dado que las características de los vuelos presentan una diferencia significativa de ocupación y kilómetros recorridos por trayecto, dentro de estas operaciones se va a diferenciar en función del origen y destino del mismo distinguiendo entre si es peninsular, Canarias o Baleares. Las clases consideradas se recogen en la Tabla 10 a continuación,

donde el origen y el destino son intercambiables, es decir, que recoge los vuelos tanto en un sentido como en el contrario.

Origen ↔ Destino	
Peninsular	Peninsular
Peninsular	Canarias
Peninsular	Baleares
Canarias	Canarias
Baleares	Baleares

Tabla 10: Clasificación de los vuelos interiores regulares por origen y destino.

Los vuelos entre Baleares y Canarias se incluyen dentro de las operaciones entre la Península y Canarias

A partir de esta división realizada se detalla el total de viajeros en cada tipo de vuelo, así como el número de operaciones realizadas, la ocupación considerada para los aviones y los kilómetros medios recorridos por trayecto dentro de cada clase (Tabla 11).

Clase de vuelo	Total viajeros	Número operaciones	Ocupación media de pasajeros por avión	Distancia media por trayecto (km)
<b>Peninsular</b>	17.506.708	151.440	116	636
<b>Canarias (Insular)</b>	4.584.281	85.766	53	271
<b>Baleares (Insular)</b>	928.476	16.535	56	230
<b>Peninsular Canarias</b>	8.994.010	55.905	161	1880
<b>Peninsular Baleares</b>	10.678.947	79.968	134	510

Tabla 11: Total de viajeros, operaciones por tipo de vuelo y ocupación y distancia media por trayecto.

Fuente: Elaboración propia a partir de las fuentes [13], [43], [44], [46], [47], [48].

Los procesos disponibles en la base de datos correspondientes al transporte de viajeros por avión se clasifican en función de la distancia recorrida en el viaje, distinguiéndose entre los vuelos de muy corta distancia, inferiores a 800 km; los de corta distancia, con un recorrido entre 800 y 1.500 km; los de media distancia cuando la distancia cubierta es superior a los 1.500 km pero inferior a 4.000 km y, finalmente, los de larga distancia.

Las clases de vuelo recogidas se encuentran, por tanto, dentro de dos procesos existentes: media distancia, para los vuelos entre Canarias y la Península, y de muy corta distancia para el resto (Tabla 12). Para los procesos escogidos se adaptan los datos de entrada correspondientes en función de la ocupación y los kilómetros recorridos. Al ser un proceso global se han regionalizado los consumos para Europa ya que no existe un proceso regionalizado para España.

Avión corta distancia	<i>Transport, passengers, aircraft, very short haul {GLO}</i>
Avión media distancia	<i>Transport, passengers, aircraft, medium haul {GLO}</i>

Tabla 12: Procesos escogidos para el modelado del transporte de viajeros por avión.

Fuente: Elaboración propia a partir de los procesos disponibles en Ecoinvent

Estos procesos definidos por SimaPro son de ámbito global, recogiendo información sobre las emisiones y consumos de más de 40 modelos de aviones en cada una de las categorías mencionadas en función de la distancia recorrida, asumiendo una ocupación media del 80% sobre el total de asientos disponibles en cada modelo. Sin embargo, para adaptar ambos procesos de manera más concreta al caso de estudio que aplica, se analizan los modelos de avión más empleados en cada una de las diferentes clases de vuelo detalladas anteriormente con el objetivo de remodelar los procesos con el nivel de emisiones correspondientes a estos aviones.

Para el cálculo de las emisiones de cada modelo se recurre a la información aportada por la *European Environment Agency* en su informe “*EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019*” [64]. El apartado 1.A.3.a se centra en las emisiones relacionadas con la industria del transporte aéreo y se incluyen diferentes métodos disponibles para el cálculo de las emisiones en función de la información disponible. Estos métodos introducen dos etapas dentro de un mismo vuelo para los cuales calculan el nivel de emisiones y son:

- LTO: recoge conjuntamente en las fases de despegue y aterrizaje (*Landing and Take-Off*).
- CCD: recoge las fases del ascenso, el trayecto del vuelo crucero y, finalmente, el descenso (*Climb/Cruise/Descent*). A diferencia de la fase LTO, en la fase CCD, las emisiones se van a ver modificadas por la distancia recorrida.

El método de cálculo empleado es el Tier 3A, por el cual, a partir del modelo de avión y la distancia recorrida se obtienen los valores totales de las emisiones estimadas. Para el caso de estudio se consideran tanto las de la etapa LTO como las de la etapa CCD. Los contaminantes revisados son: CO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>.

Para adaptar estas entradas a los procesos disponibles en SimaPro se han revisado las emisiones de estos contaminantes en la fase de uso del transporte y se han adaptado, para cada una de las clases de recorrido consideradas, de manera proporcional al porcentaje total de pasajeros transportados durante el año por cada modelo de avión en cada uno de los tipos de vuelos. Se detalla a continuación (Tabla 13, Tabla 14, Tabla 15, Tabla 16, Tabla 17) el número de operaciones por modelo de avión en cada uno de los recorridos que permite establecer este reparto proporcional.

Para los vuelos peninsulares, estos modelos representan un total de 119.388 operaciones representando el 79% del conjunto de operaciones clasificadas bajo esta clase de vuelos (Tabla 13).

<b>PENINSULAR</b>	
<b>MODELO DE AVIÓN</b>	<b>N.º OPERACIONES</b>
AIRBUS A320	44.806
AEROSPATIALE ATR-72	21.168
BOMBARDIER REGIONAL JET-1000	19.430
BOEING 737-800 (WINGLETS) PASSENGER	11.078
AIRBUS A319	9.786
AIRBUS A 321	9.211
EMBRAER ERJ-195, LEGANCY 1000	3.909

Tabla 13: Número de operaciones por cada modelo de avión más representativo en los vuelos domésticos peninsulares.

El modelo AIRBUS A320 engloba tanto el modelo AIRBUS A320 PASSENGER como el modelo AIRBUS A320 (SHARKLETES), así como el modelo AIRBUS A321 recoge también las operaciones del modelo AIRBUS A321(SHARKLETS).

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos recogidos por Aena [33].

Para esta clase de vuelos entre Baleares y la Península, los modelos presentados realizaron en 2019 un total de 55.696 operaciones suponiendo en torno al 70% de las operaciones totales (Tabla 14).

<b>PENINSULAR ↔ BALEARES</b>	
<b>MODELO DE AVIÓN</b>	<b>N.º OPERACIONES</b>
AIRBUS A320	26.815
BOEING 737-800 (WINGLETS) PASSENGER	23.070
EMBRAER ERJ-195, LEGANCY 1000	5.812

Tabla 14: Número de operaciones por cada modelo de avión más representativo en los vuelos entre la Península y Baleares.

El modelo AIRBUS A320 engloba tanto el modelo AIRBUS A320 PASSENGER como el modelo AIRBUS A320 (SHARKLETES).

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos recogidos por Aena [33].

Estos modelos realizaron un total de 45.178 operaciones en el año 2019 en esta clase de vuelo suponiendo cerca del 81% del total de vuelos en esta clase (Tabla 15).

<b>PENINSULAR ↔ CANARIAS</b>	
<b>MODELO DE AVIÓN</b>	<b>N.º OPERACIONES</b>
AIRBUS A320	18.889
BOEING 737-800 (WINGLETS) PASSENGER	18.053
AIRBUS A321	8.236

Tabla 15: Número de operaciones por cada modelo de avión más representativo en los vuelos entre la Península y Canarias.

El modelo AIRBUS A320 engloba tanto el modelo AIRBUS A320 PASSENGER como el modelo AIRBUS A320 (SHARKLETES), así como el modelo AIRBUS A321 recoge también las operaciones del modelo AIRBUS A321(SHARKLETS).

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos recogidos por Aena [33].

En los vuelos interinsulares en Canarias estos modelos realizaron un total de 68.609 vuelos, representando el 80% del total de operaciones de esa clase en el año 2019 (Tabla 16).

<b>CANARIAS INSULAR</b>	
<b>MODELO DE AVIÓN</b>	<b>N.º OPERACIONES</b>
AEROSPATIALE ATR-72	45.481
AEROSPATIALE ATR-42/72	18.053

Tabla 16: Número de operaciones por cada modelo de avión más representativo en los vuelos interinsulares en Canarias.

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos recogidos por Aena [33].

En los vuelos interinsulares en Baleares estos modelos realizaron un total de 12.165 vuelos, siendo el 74% del total de operaciones de esa clase en el año 2019 (Tabla 17)

<b>BALEARES INSULAR</b>	
<b>MODELO DE AVIÓN</b>	<b>N.º OPERACIONES</b>
BOMBARDIER REGIONAL JET-1000	6.522
AEROSPATIALE ATR-72	5.643

Tabla 17: Número de operaciones por cada modelo de avión más representativo en los vuelos interinsulares en Baleares.

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos recogidos por Aena [33].

Se presentan a continuación (Tabla 18, Tabla 19, Tabla 20, Tabla 21, Tabla 22) las emisiones durante la fase de uso para cada uno de los modelos en función de la distancia recorrida en cada clase de vuelo (se considera la misma distancia dentro de cada una de las distancias de vuelo consideradas). Los valores se presentan por unidad de pasajeros por kilómetro.

<b>VUELOS PENINSULARES</b>				
<b>Distancia considerada por vuelo: 636 km</b>				
<b>Modelo de Avión</b>	<b>Combustible (kg/pkm)</b>	<b>CO<sub>2</sub> (kg/pkm)</b>	<b>NO<sub>x</sub> (kg/pkm)</b>	<b>SO<sub>x</sub> (kg/pkm)</b>
AIRBUS A320	0,03139	0,09889	0,00052	0,0000264
AEROSPATIALE ATR-72	0,02694	0,08486	0,00034	0,0000226
BOMBARDIER REGIONAL JET-1000	-	-	-	-
BOEING 737-800 (WINGLETS) PASSENGER	0,03346	0,10539	0,00054	0,0000281
AIRBUS A319	0,03521	0,11091	0,00052	0,0000296
AIRBUS A321	0,03191	0,10050	0,00062	0,0000268
EMBRAER ERJ-195, LEGANCY 1000	0,03730	0,11748	0,00043	0,0000313

Tabla 18: Emisiones por pkm para vuelos peninsulares.

No se dispone de los datos para el modelo Bombardier Regional Jet-1000.

Fuente: Annex 4 'EUROCONTROL fuel burn and emissions inventory system'

<b>VUELOS PENÍNSULA↔BALEARES</b>				
<b>Distancia considerada por vuelo: 510 km</b>				
<b>Modelo de Avión</b>	<b>Combustible (kg/pkm)</b>	<b>CO<sub>2</sub> (kg/pkm)</b>	<b>NO<sub>x</sub> (kg/pkm)</b>	<b>SO<sub>x</sub> (kg/pkm)</b>
AIRBUS A320	0,03434	0,10816	0,00058	0,0000288
BOEING 737-800 (WINGLETS) PASSENGER	0,03659	0,11526	0,00060	0,0000307
EMBRAER ERJ-195, LEGANCY 1000	0,04101	0,12917	0,00048	0,0000344

Tabla 19: Emisiones por pkm para vuelos entre la Península y Baleares

Fuente: Annex 4 'EUROCONTROL fuel burn and emissions inventory system'

<b>VUELOS PENÍNSULA↔CANARIAS</b>				
<b>Distancia considerada por vuelo: 1880 km</b>				
<b>Modelo de Avión</b>	<b>Combustible (kg/pkm)</b>	<b>CO<sub>2</sub> (kg/pkm)</b>	<b>NO<sub>x</sub> (kg/pkm)</b>	<b>SO<sub>x</sub> (kg/pkm)</b>
AIRBUS A320	0,02250	0,07088	0,00033	0,0000189
BOEING 737-800 (WINGLETS) PASSENGER	0,02374	0,07477	0,00034	0,0000199
AIRBUS A321	0,02303	0,07254	0,00040	0,0000193

Tabla 20: Emisiones por pkm para vuelos entre la Península y Canarias

Fuente: Annex 4 'EUROCONTROL fuel burn and emissions inventory system'

<b>VUELOS BALEARES (INSULARES)</b>				
<b>Distancia considerada por vuelo: 230 km</b>				
<b>Modelo de Avión</b>	<b>Combustible (kg/pkm)</b>	<b>CO<sub>2</sub> (kg/pkm)</b>	<b>NO<sub>x</sub> (kg/pkm)</b>	<b>SO<sub>x</sub> (kg/pkm)</b>
BOMBARDIER REGIONAL JET-1000	-	-	-	-
AEROSPATIALE ATR-72	0,04199	0,13227	0,00053	0,0000353

Tabla 21: Emisiones por pkm para vuelos insulares en Baleares.

No se dispone de los datos para el modelo Bombardier Regional Jet-1000.

Fuente: Annex 4 'EUROCONTROL fuel burn and emissions inventory system'



<b>VUELOS CANARIAS (INSULARES)</b>				
<b>Distancia considerada por vuelo: 230 km</b>				
<b>Modelo de Avión</b>	<b>Combustible (kg/pkm)</b>	<b>CO<sub>2</sub> (kg/pkm)</b>	<b>NO<sub>x</sub> (kg/pkm)</b>	<b>SO<sub>x</sub> (kg/pkm)</b>
AEROSPATIALE ATR-72	0,03821	0,12037	0,00048	0,00003
AEROSPATIALE ATR-42/72	0,04482	0,14117	0,00044	0,00004

Tabla 22: Emisiones por pkm para vuelos insulares en Canarias.

Fuente: Annex 4 'EUROCONTROL fuel burn and emissions inventory system'

### Resumen de la movilidad por transporte público

<b>Movilidad de media y larga distancia – España – 2019</b>			
Transporte Público			pkm (en millones)
Ferrocarril	Larga Distancia	Alta velocidad	10.751
		Convencional	4.923
	Media Distancia	Alta velocidad	1.055,7
		Convencional	2.168,29
Carretera		Autobús Diésel	5.795,87
Aéreo	Peninsulares		11.134,27
	Canarias (Insular)		1.242,61
	Baleares (Insular)		213,55
	Península-Canarias		16.908,74
	Península-Baleares		5.446,26

Tabla 23: Movilidad de media y larga distancia por transporte público en España en 2019.

Fuente: elaboración propia a partir de los datos expuestos.

### 3.2.1.2 Vehículo privado

A diferencia de los medios correspondientes al transporte regular de viajeros analizado anteriormente, los datos disponibles para los movimientos de medio y largo recorrido mediante el uso del vehículo privado corresponden a estimaciones y encuestas realizadas que permiten establecer unos resultados que no son exactos. Los estudios desarrollados en España por organismos oficiales corresponden a los llevados a cabo por el MITMA en el año 2006/7 [61], en el cual los datos fueron recogidos a través de encuestas telefónicas, y al estudio piloto de movilidad interprovincial de viajeros desarrollado también por este mismo organismo en el año 2018 (con los datos de las observaciones pertenecientes a los meses de julio, agosto y octubre del año anterior) a través de la tecnología Big Data recurriendo al posicionamiento de los terminales móviles [62]. En ambos estudios se recogen los movimientos de más de 50 kilómetros en las categorías de coche, autobús, ferrocarril, avión y marítimo.

A partir de los datos disponibles sobre el segundo estudio, se calcula que la distancia media por trayecto en los desplazamientos interprovinciales privados es de 220,5 km para el mes de octubre y de 244,9 km para los meses de julio y agosto. En los tres meses, el número de viajeros es superior en los fines de semana (especialmente viernes y domingo) así como la distancia media recorrida.

Para comprobar la distancia a partir del estudio de 2006, no se dispone de los microdatos con los que se realizó la encuesta sino que los resultados están tabulados. En concreto los datos para los coches se recogen principalmente en el rango de 50 a 100 km y de 100 km a 500 km. Dado que este último rango es muy amplio, en el informe *Hábitos y comportamientos de las familias cuando viajan en vehículo privado* [57], se recoge que, en los desplazamientos en coche de más de 100 km en fines de semana y festivos, el 54% son entre 100 km y 200 km, el 43% entre 200 km y 400 km y el 3% superior a esta última cifra. Por otra parte, para los desplazamientos por motivos vacacionales, el 65% de los desplazamientos son superiores a los 400 kilómetros (la DGT, en 2019 estimó que únicamente el 15% superaría los 500 km [58]), el 23% se encuentran entre 200 y 400 kilómetros y el 12% restante son viajes entre 100 y 200 km.

Además, se diferencian también los recorridos que se deben a motivos profesionales, para los cuales la empresa Captio, en su informe sobre el kilometraje en España [59], recoge que la distancia media recorrida en coche por trayecto en 2019 fue de 136 kilómetros. Este tipo de desplazamientos suponen en España el 10% del total de trayectos largos en coche tal y como se recoge en las estadísticas del portal Eurostat y se expone también en el artículo “*Exploring recent long-distance passenger travel trends in Europe*” [60]. Aplicando los porcentajes expuestos se obtiene una distancia media por recorrido cercana a los 200 km. Sin embargo, este resultado es orientativo ya que se corresponden con datos menos recientes que en los del estudio anterior. Por otra parte, empresas enfocadas a los desplazamientos de largo recorrido en coche compartido, sí recogen la distancia media por trayecto. Esta cifra fue en 2019 de alrededor de 270 kilómetros [63]. Para el desarrollo del proyecto se va a considerar una distancia media por trayecto de 225 km.

El número total de desplazamientos por carretera de largo recorrido en España en 2019, de acuerdo con los datos recogidos por la DGT, fue de 427,1 millones [56]. Para establecer el número de estos desplazamientos realizados por vehículos ligeros, se ha analizado el porcentaje de movimientos correspondientes a vehículos pesados y ligeros en las diferentes épocas del año estableciendo, de media, que en torno al 80% de los desplazamientos se corresponden con vehículos ligeros [32], [52], [53], [54], [55]. La ocupación estimada para los turismos en el desarrollo del estudio es la recogida en el informe de tráfico de 2019 en España [51] de 1,68 viajeros por turismo.

Además de la división del parque de vehículos establecida en el capítulo anterior, SimaPro divide los procesos del transporte de viajeros por coche, además de por el tipo de carburante empleado, en función de la cilindrada, distinguiendo entre tamaño mediano y grande a partir de los 2000 cm<sup>3</sup>. Por ello se analiza también el parque de vehículos en función de la cilindrada y la antigüedad. No obstante, no se dispone de la clasificación en función del tipo de carburante, por lo que se reparten porcentualmente en función del peso de cada carburante en cada uno de los tramos de antigüedad (Tabla 24).

Antigüedad	Cilindrada superior a 2000 cm <sup>3</sup> (%)
Hasta 4 años	6,9%
5-9 años	7,3%
10-14 años	11,3%
15-19 años	11,3%
20 o más años	9,5%

Tabla 24: Clasificación del número de turismos según antigüedad y cilindrada.

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos recogidos en [51]

Para el modelado de los procesos relativos a los turismos, se dispone en la base de datos de los correspondientes con la normativa EURO 3, 4 y 5. Se han de modificar los datos de ocupación de los procesos para adaptarlos a los establecidos en el escenario a evaluar y, además, se han de crear los procesos correspondientes a las normativas no incluidas: EURO 2 y 6.

Para los turismos diésel se han escogido los siguientes procesos (Tabla 25, Tabla 26).

EURO 3	<i>Transport, passenger car, medium size, diesel, EURO 3 {RER}</i>
EURO 4	<i>Transport, passenger car, medium size, diesel, EURO 4 {RER}</i>
EURO 5	<i>Transport, passenger car, medium size, diesel, EURO 5 {RER}</i>

Tabla 25: Procesos escogidos para el modelado del transporte de viajeros por coche diésel de tamaño medio.

Fuente: Elaboración propia a partir de los procesos disponibles en Ecoinvent

EURO 3	<i>Transport, passenger car, large size, diesel, EURO 3 {RER}</i>
EURO 4	<i>Transport, passenger car, large size, diesel, EURO 4 {RER}</i>
EURO 5	<i>Transport, passenger car, large size, diesel, EURO 5 {RER}</i>

Tabla 26: Procesos escogidos para el modelado del transporte de viajeros por coche diésel de tamaño grande.

Fuente: Elaboración propia a partir de los procesos disponibles en Ecoinvent

Para los turismos de gasolina se han escogido los siguientes procesos (Tabla 27, Tabla 28).

EURO 3	<i>Transport, passenger car, medium size, petrol, EURO 3 {RER}</i>
EURO 4	<i>Transport, passenger car, medium size, petrol, EURO 4 {RER}</i>
EURO 5	<i>Transport, passenger car, medium size, petrol, EURO 5 {RER}</i>

Tabla 27: Procesos escogidos para el modelado del transporte de viajeros por coche de gasolina de tamaño medio.

Fuente: Elaboración propia a partir de los procesos disponibles en Ecoinvent

EURO 3	<i>Transport, passenger car, large size, petrol, EURO 3 {RER}</i>
EURO 4	<i>Transport, passenger car, large size, petrol, EURO 4 {RER}</i>
EURO 5	<i>Transport, passenger car, large size, petrol, EURO 5 {RER}</i>

Tabla 28: Procesos escogidos para el modelado del transporte de viajeros por coche de gasolina de tamaño grande.

Fuente: Elaboración propia a partir de los procesos disponibles en Ecoinvent

A partir de los datos presentados se detallan los resultados de los millones de pkm en función del tipo de carburante, tamaño y normativa del parque de vehículos. Además, se ha considerado que para este tipo de desplazamientos de largo recorrido no se emplean los vehículos EURO 1 o anteriores. El reparto se realiza proporcionalmente entre el parque considerado tal y como se recoge en la Tabla 29.

<b>Movilidad de largo recorrido en coche – España - 2019</b>			
Turismo		Mediano pkm (millones)	Grande pkm (millones)
Diésel	EURO 2	4.016,61	421,63
	EURO 3	13.889,73	1.769,49
	EURO 4	17.633,51	2.246,43
	EURO 5	13.451,10	1.059,26
	EURO 6	17.578,00	1.302,77
Gasolina	EURO 2	8.786,06	922,29
	EURO 3	9.174,12	1.168,74
	EURO 4	7.565,08	963,76
	EURO 5	5.576,82	439,17
	EURO 6	16.722,24	1.239,35

Tabla 29: Movilidad de medio y largo recorrido en coche en el año 2019 en España.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos calculados

### **3.2.2 ESCENARIO ACTUAL NORMALIZADO**

Los datos de entrada del análisis deben estar normalizados tal y como indica la norma y para ello se van a dividir los datos de cada transporte entre la población residente en España en 2019. Para ello se va a considerar la media entre la población residente a comienzos de año (1 enero de 2019), que era de 46.937.060 personas, y la población a comienzos del año siguiente (1 enero de 2020), que era de 47.332.614 [71]. La media resulta de 47.134.837 personas, que es la población que se va a considerar para la normalización de este escenario actual.

Se presentan en la Tabla 30 los datos normalizados expresados en pkm/habitante.

<b>Movilidad de media y larga distancia – España – 2019</b>					
Medio de transporte				pkm/habitante	
Turismos	Diésel	EURO 2	Mediano	85,22	
			Grande	8,95	
		EURO 3	Mediano	294,68	
			Grande	37,54	
		EURO 4	Mediano	374,11	
			Grande	47,66	
		EURO 5	Mediano	285,37	
			Grande	22,47	
		EURO 6	Mediano	372,93	
			Grande	27,64	
		Gasolina	EURO 2	Mediano	186,40
				Grande	19,57
	EURO 3		Mediano	194,64	
			Grande	24,80	
EURO 4	Mediano		160,50		
	Grande		20,45		
EURO 5	Mediano		118,32		
	Grande		9,32		
EURO 6	Mediano	354,77			
	Grande	26,29			
Ferrocarril	Larga Distancia	Alta velocidad	228,09		
		Convencional	104,45		
	Media Distancia	Alta velocidad	22,40		
		Convencional	46,00		
Autobús		Diésel	122,96		
Aéreo	Peninsulares		236,22		
	Canarias (Insular)		26,36		
	Baleares (Insular)		4,53		
	Península-Canarias		358,73		
	Península-Baleares		115,55		

Tabla 30: Movilidad de media y larga distancia en España. Datos normalizados, 2019.

Fuente: Elaboración propia

### **3.3 ESCENARIO FUTURO**

La demanda de los transportes de pasajeros de media y larga distancia, especialmente en los traslados en avión, está directamente relacionada con el bienestar y el crecimiento económico. Existen diferentes estudios sobre las proyecciones estimadas para el transporte en España hasta el año 2030, en los cuales se incluyen también los análisis económicos pertinentes para poder desarrollar las estimaciones de manera correcta. Sin embargo, la pandemia ha trastocado severamente las proyecciones económicas estimadas y, con ellas, también los escenarios futuros relativos al transporte de media y larga distancia en España.

La situación provocada por esta crisis sanitaria ha generado una caída brusca de las economías europeas, siendo España uno de los países más damnificados con un descenso muy acusado de su PIB (-10,8%) en el año 2020. Aunque el crecimiento en el año 2021 fue significativo (del 5%), estuvo muy por debajo del esperado, y aún se está lejos de recuperar los niveles previos a la pandemia, los cuales estaban previstos por Bruselas alcanzarse para finales del año 2022. Sin embargo, esta previsión quedó rebajada para el caso de España, estimándose la recuperación ya en el año 2023.

Añadido a la grave situación económica generada por la pandemia, la reciente crisis desatada por la invasión en Ucrania ha provocado gran incertidumbre y una subida generalizada de todos los costes relacionados con el sector energético afectando severamente a los usuarios de los transportes. Sin embargo, atendiendo a algunas de las estimaciones más recientes sobre el crecimiento en España realizadas por algunas entidades bancarias y por el Banco de España, se estima un crecimiento del PIB para 2022 del 4,4% y para 2023 de alrededor del 3%, proyectándose la plena recuperación para el tercer trimestre de 2023 [83]. Por tanto, se va a considerar que para el año 2024 se recuperarán las cifras de 2019 para los transportes de media y larga distancia.

Se van a plantear las proyecciones de la demanda para el año 2030 por separado para los transportes terrestres y para los transportes por avión porque los estudios empleados para



las estimaciones de las mismas son diferentes y están centrados cada uno o bien en el transporte aéreo o bien en el terrestre.

Se presenta en primer lugar la proyección de demanda establecida para el transporte de pasajeros por avión en España en 2030.

### 3.3.1 EVOLUCIÓN DEL TRANSPORTE DE PASAJEROS POR AVIÓN EN ESPAÑA. PROYECCIÓN A 2030

El tráfico aéreo presenta en España, desde el año 2013, un crecimiento anual en el número de pasajeros transportados y en el número de operaciones realizadas tanto en el ámbito nacional como en el internacional, tal como se presenta en la Tabla 31.

	2014	2015	2016	2017	2018	2019
<b>Operaciones Nacionales (variación anual %)</b>	1,2%	3,7%	4,7%	5,9%	10,9%	4,4%
<b>Operaciones Internacionales (variación anual %)</b>	5,6%	4,1%	11,1%	7,4%	4,7%	2,5%
<b>Operaciones Nacionales sobre el total de operaciones</b>	41,1%	41%	39,6%	39,3%	40,7%	41,1%
<b>Vuelos Nacionales sobre el total de vuelos</b>	25,9%	25,8%	24,7%	24,4%	25,5%	25,9%

*Tabla 31: Variación anual de las operaciones aéreas nacionales e internaciones y porcentaje de operaciones y vuelos nacionales sobre el total entre los años 2014 y 2019.*

*Estas operaciones se corresponden a vuelos de carácter regular.*

*Fuente: Elaboración propia a partir de [33], [43].*

Resulta importante destacar que, para esta Tabla 31, las operaciones hacen referencia al número de llegadas y salidas y no al conjunto de vuelos, por lo que en las estadísticas que hacen referencia al número de operaciones, los vuelos interiores tienen un mayor peso ya que tanto la salida como la llegada se produce dentro del país y por tanto se contabilizan

dos operaciones por vuelo. Es por ello por lo que se muestran los porcentajes de operaciones nacionales sobre el total de operaciones y también los porcentajes contabilizando únicamente una operación por cada vuelo interior. Además, esta distinción es relevante para este análisis ya que las fuentes consultadas para las estimaciones de la demanda futura del transporte por avión presentan estimaciones sobre el total de operaciones contabilizando en los vuelos domésticos tanto las llegadas como las salidas.

*EUROCONTROL* lleva a cabo estimaciones a futuro de las demandas previstas para la industria aérea atendiendo a todos los factores principales que puedan afectar al resultado de la misma, como los medios de transporte alternativos, especialmente el tren de alta velocidad para trayectos cortos, o el bienestar económico de la región a estudiar, que está directamente relacionado con la demanda: a mayor bienestar mayor demanda, como se recoge en el estudio “*Análisis de los factores determinantes de demanda, competencia y eficiencia del transporte aéreo y el turismo*” [66].

En el anexo 1 del informe “*European Aviation in 2040*” [67] presentado en 2018 por *EUROCONTROL*, se recoge una estimación de la evolución de la aviación en Europa hasta el año 2040 planteando cuatro posibles escenarios diferentes que van desde una visión más optimista a una más pesimista. Los escenarios planteados en el informe son: un fuerte crecimiento global a nivel mundial (escenario 1); un crecimiento económico moderado con la entrada de regulaciones a cumplir para lograr un desarrollo económico global sostenible (escenario 2); un desarrollo local de las regiones europeas con una reducción de las operaciones fuera de ellas (escenario 3); un mundo más fragmentado con crecientes tensiones entre regiones (escenario 4). De todos ellos, el escenario que se plantea como más probable es el segundo escenario, y las estimaciones del crecimiento medio anual entre 2017 y 2040 del número de operaciones para el conjunto de estados europeos en función del escenario se recogen en la siguiente Tabla 32. Además, el crecimiento estimado es menor en los estados europeos occidentales ya que tienen mercados más maduros con menos perspectiva de crecimiento que los orientales.

	<b>Escenario 1</b>	<b>Escenario 2</b>	<b>Escenario 3</b>	<b>Escenario 4</b>
<b>Crecimiento Medio Anual</b>	2,7%	1,9%	1,5%	0,5%

Tabla 32: Crecimiento medio anual para cada uno de los escenarios planteados de 2017 a 2040.

Fuente: [67]

En el informe se recogen también las estimaciones para cada región de estudio de los dos primeros escenarios. Para España se distingue entre Canarias y el territorio peninsular. Las estimaciones de crecimiento medio anual son las siguientes (Tabla 33).

	<b>Escenario 1</b>	<b>Escenario 2</b>
<b>España (continental)</b>	2,8%	1,8%
<b>Canarias</b>	2,5%	1,3%

Tabla 33: Crecimiento medio anual para cada uno de los escenarios planteados de 2017 a 2040.

Fuente: [67].

Este crecimiento anual hasta el año 2040 será más pronunciado hasta el año 2030, a partir del cual se estima que el porcentaje de crecimiento medio anual siga siendo positivo pero menor que en la década anterior. Esto viene reforzado también por las estimaciones de la Asociación Internacional del Transporte Aéreo (IATA) en 2019 y del informe realizado ese mismo año por EUROCONTROL sobre el pronóstico de crecimiento entre los años 2019 y 2025 [68]. En él se indica que el crecimiento medio anual esperado para Canarias en ese periodo de tiempo es del 1,9% y para España (continental) del 2,4%, en ambos casos, por tanto, superior al crecimiento medio de la tabla anterior, confirmando que éste será más notable en la primera década.

Sin embargo, estas estimaciones de crecimiento se han visto seriamente afectadas a partir del año 2020 por el efecto de la pandemia que provocó un fuerte descenso de la actividad aérea tanto en España como a nivel europeo y mundial. A nivel nacional, la caída respecto al número de operaciones regulares totales de 2019 fue del 60%, siendo la pérdida de operaciones de carácter doméstico del 50% y las internacionales del 68%. Por tanto, las estimaciones realizadas previas a esta situación, pese a ser robustas, no se pueden considerar válidas, no al menos en sus escenarios optimistas o más probables, ya que las restricciones de movilidad de los viajeros repercuten sensiblemente en el número de operaciones aéreas.

Se recurre de nuevo a las estimaciones de los organismos internacionales *IATA* y *EUROCONTROL*, los cuales han proyectado nuevas estimaciones sobre la recuperación de la industria aérea. El primer organismo ha pronosticado para Europa que el número de pasajeros transportados no recuperará los valores de 2019 hasta 2023, siendo 2024 el primer año donde se experimentará un crecimiento respecto a 2019 [69]. Por su parte, *EUROCONTROL* publicó en octubre de 2021 un pronóstico de la evolución de los años 2021-2027 contemplando también tres posibles escenarios [70] diferenciados por el impacto y tiempo de recuperación de la industria. Además, se consideran en él las nuevas estimaciones de crecimiento económico realizadas por *Oxford Economics* en agosto de 2021 para realizar un pronóstico ajustado a la nueva situación. Estos escenarios se plantean de nuevo contemplando una alternativa optimista de rápida recuperación, otra más pesimista donde la recuperación se alargaría hasta el año 2027 para recuperar valores similares a los de 2019, y un escenario intermedio donde se pronostican valores similares a los de 2019 para finales de 2023. Esto coincide con el escenario estimado por la *IATA* y, por tanto, es el que se va a escoger como válido.

Al igual que en los pronósticos anteriores a la pandemia, para esta estimación también se desagrega el crecimiento en función de los países, siendo la estimación de crecimiento medio anual para España del 0,8% respecto a 2019 en el escenario escogido. Esto supone un fuerte descenso respecto al crecimiento medio anual del 2,4% pronosticado antes de la pandemia para los años entre 2019 y 2025. Se va a considerar este crecimiento del 0,8% hasta 2027 válido hasta el año 2030. Aplicando a la estimación de las operaciones totales para el año 2030 el porcentaje medio de operaciones nacionales respecto al total entre los años 2014 y 2019, se calcula el pronóstico del número de operaciones nacionales y se consideran unos niveles de ocupación ya recuperados y al nivel de nuevo de los datos de ocupación anteriores a la pandemia. Se van a considerar las mismas clases de vuelo que en 2019 y el crecimiento del número de operaciones de cada uno de ellos se va a aplicar proporcionalmente al peso sobre el total de vuelos domésticos en 2019.

Las estimaciones respecto al número de vuelos y millones de pasajeros por kilómetro para cada clase de vuelo considerada se recogen en la Tabla 34.

<b>Estimación Transporte Aéreo - 2030</b>		
	<b>Número de Vuelos</b>	<b>pkm (millones)</b>
<b>Peninsulares</b>	163.686	12.076,08
<b>Canarias (Insular)</b>	92.701	1.331,47
<b>Baleares (Insular)</b>	17.872	230,19
<b>Península-Canarias</b>	60.426	18.289,62
<b>Península-Baleares</b>	86.434	5.906,93

Tabla 34: Estimación transporte aéreo para el año 2030.

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos calculados con las proyecciones de [69], [70].

### 3.3.2 EVOLUCIÓN DEL TRANSPORTE DE PASAJEROS POR TRANSPORTES TERRESTRES DE MEDIA Y LARGA DISTANCIA EN ESPAÑA. PROYECCIÓN A 2030.

En la proyección desarrollada por el *Plan Nacional Integrado de Energía y Clima* (PNIEC) para los años 2021-2030 y aprobado finalmente en marzo de 2021 [72], se preveía, a partir de las estimaciones proporcionadas por el MINECO (*Ministerio de Asuntos Económicos y Transformación Digital*), un crecimiento del PIB en España del 16% en la década de 2020-2030. Esta previsión, no obstante, está basada en el informe “*The 2018 Ageing Report. Economic & Budgetary Projections for the 28 EU Member States (2016-2070)*” [73], por lo que no se tienen en cuenta los efectos causados por la pandemia. Este estudio plantea dos escenarios para 2030, uno de crecimiento tendencial al que se llega siguiendo el desarrollo continuado presente en los últimos años y otro escenario objetivo, el cual es el deseable y, al mismo tiempo, alcanzable. Para cada uno de los sectores energéticos nacionales se recogen las emisiones de CO<sub>2</sub> equivalentes, en miles de toneladas, siendo las del transporte en 2030 de 88.193 en el escenario tendencial frente a las 59.875 estimadas en el escenario objetivo.

Se analiza también en esta proyección del *PNIEC* el porcentaje de energías renovables presentes en el sector del transporte donde, en porcentaje directo, estas energías presentan en el escenario tendencial un 7% sobre el total mientras que para el objetivo son de un 11%, siendo para ambos casos los biocarburantes los que presentan un mayor peso. Para el caso de los vehículos eléctricos, se incluyen en este apartado de energías renovables, tal como establece el informe, en la proporción en la que el mix eléctrico se encuentre generado por fuentes renovables.

Para ambos escenarios se plantea la evolución de la demanda para todos los transportes terrestres de pasajeros (autobuses, automóviles, motocicletas y ferrocarril), en millones de pkm, estimada para los años 2025 y 2030, considerando tanto el transporte urbano como el interurbano de manera conjunta sin incluir los resultados desagregados por cada tipo de movilidad. No se incluyen estimaciones para la demanda de pasajeros del sector aéreo.

La diferencia entre ambos escenarios radica principalmente en un mayor empleo del transporte público por carretera (autobuses) frente al uso del automóvil logrando que este sector sea significativamente más eficiente que en el escenario actual (2019) y que en la proyección del escenario tendencial. Además, se proyecta para el escenario objetivo un crecimiento muy importante del transporte de pasajeros por ferrocarril estando por encima del doble de los valores estimados para el crecimiento tendencial.

Otra proyección de la estimación de la demanda del transporte en España viene realizada por el centro de investigación “*Economics for Energy*” en su informe “*Estrategias para la descarbonización del transporte terrestre en España. Un análisis de escenarios*” [74]. En él, se trata tanto el transporte de mercancías como el de pasajeros diferenciando para este último caso entre transporte urbano e interurbano.

Se plantean también en este informe, de nuevo, diferentes escenarios donde se incorporan cuatro pilares principales para el desarrollo de los mismos. Estos están basados en un cambio del reparto modal presente en el transporte de pasajeros, cobrando cada vez mayor peso el uso del transporte colectivo, la introducción del vehículo eléctrico, una reducción significativa de vehículos antiguos y la imposición de crecientes restricciones al tráfico urbano. Además, resulta importante destacar que en este estudio se plantea para todos los escenarios una misma demanda de movilidad para poder establecer una comparativa entre las diferentes medidas adoptadas en cada escenario. Este procedimiento se va a emplear también para el presente estudio de ACV.

El escenario que sirve como referencia para establecer comparativas, al igual que en el informe del PNIEC, es un escenario que contempla un crecimiento tendencial del

transporte de pasajeros hasta 2030, teniendo en consideración en el análisis no sólo el crecimiento de la demanda sino también el cumplimiento de las diferentes normativas europeas y las estimaciones de introducción del vehículo eléctrico. Se mantienen, para este escenario, los porcentajes de reparto modal para los diferentes medios que existían en 2017.

Se plantea también un escenario futuro adaptando el escenario objetivo propuesto por el PNIEC pero adaptado al nivel de demanda planteado en el estudio, donde se produce un cambio en el reparto modal favorable a los transportes colectivos. Además, para este escenario se ha estimado un incremento sustancial del parque de vehículos eléctricos. Finalmente, el reparto modal considerado para los transportes terrestres en trayectos de más de 50 kilómetros es del 14% para el autobús, 14% el ferrocarril, siendo el 9% el de larga distancia, y 72% para los turismos.

Los otros escenarios planteados en el estudio no tratan sobre diferentes repartos modales sino que uno hace referencia a la retirada agresiva de vehículos antiguos afectando a la edad media del parque y el otro escenario que se plantea tiene como eje principal las restricciones al tráfico urbano que no es el tipo de transporte analizado en el presente estudio de ACV.

Para realizar la estimación de demanda del escenario futuro para este estudio se van a considerar diferentes escenarios proyectando, para todos ellos, una misma demanda en millones de pkm y considerando diferentes repartos modales y nivel de introducción de nuevas tecnologías para cada uno de los escenarios pudiendo establecer así una comparativa entre los mismos.

Entre 2015 y 2019 el transporte interurbano, contabilizando únicamente medios de transporte terrestres, es decir, carretera y ferrocarril, experimentó un crecimiento de los millones de pkm en torno al 4,4%. Para algunos medios de transporte, además, este crecimiento fue significativamente más notable, como resulta en el caso del transporte por tren de larga distancia donde, para ese mismo rango de tiempo, y de nuevo en millones

de pkm, el crecimiento es del 11,8% y para el transporte por autobús de gestión estatal del 7,6%.

Para la estimación de la demanda aún sigue existiendo gran incertidumbre sobre el crecimiento económico y cómo esta nueva crisis puede afectar al transporte de pasajeros. Sin embargo, considerando como válido que en 2024 se recuperarán los valores de demanda del transporte de pasajeros de media y larga distancia, se va a considerar que para el año 2030 esta demanda total del transporte terrestre será un 5% superior a la de 2019 y, como se expuso anteriormente, se va a considerar igual para cada uno de los escenarios planteados.

Para los transportes terrestres de larga y media distancia de pasajeros se van a plantear los siguientes escenarios: un escenario de referencia donde se va a considerar el mismo reparto modal que existía en 2019 con una retirada del parque de vehículos antiguos y sin considerar la entrada de nuevas tecnologías; un segundo escenario similar al de referencia pero considerando la entrada de nuevas tecnologías en los traslados por carretera; un tercer escenario donde se plantea el cambio modal objetivo para 2030 así como la retirada de los vehículos más antiguos del parque y la introducción de nuevas tecnologías.

### **3.3.3 ESCENARIO 1: DE REFERENCIA**

Como se ha introducido, en este escenario, se va a considerar el mismo reparto modal de los millones de pkm que existía en 2019 para los transportes terrestres de media y larga distancia estudiados, es decir, un 83,6% para los turismos, un 10,4% para el ferrocarril de larga distancia, un 2,15% para el de media distancia y, finalmente, un 3,85% para el autobús. En este último servicio se reincide en que únicamente se consideran los trayectos de gestión estatal.

Para este escenario, además del reparto modal comentado, se van a considerar dos medidas principales que se van a mantener para el resto de los escenarios futuros planteados. Estas medidas son la retirada de los turismos antiguos del parque nacional de turismos y una mayor ocupación de todos los transportes terrestres considerados.



Respecto a la primera medida considerada, la retirada de turismos antiguos del parque, únicamente se van a considerar los de normativa EURO 5 y 6 para este tipo de desplazamientos. El reparto entre el tamaño de los turismos (medianos y grandes) para cada una de las normativas se va a considerar igual que en 2019. La proporción entre vehículos de cada una de las normativas, sin embargo, no se va a mantener ya que se considera que todos los coches de diésel o gasolina matriculados a partir del año 2015 se corresponderán con la normativa EURO 6 y, por tanto, el número de turismos bajo esta normativa será superior al existente en 2019. En el año 2019 el total de turismos de normativa EURO 5 era de 3.700.019, sin que este número haya podido incrementarse dada la entrada de la nueva normativa vigente EURO 6. Ya entonces, el porcentaje de los turismos EURO 5 respecto a los de EURO 6 era únicamente del 35%. Considerando que todos los nuevos turismos en circulación durante la década hasta 2030 serán EURO 6, se va a estimar que los turismos EURO 5 representarán un 15% sobre el total de turismos convencionales del parque.

En cuanto a la segunda medida, la del aumento de ocupación de los transportes, se va a considerar de la siguiente manera: para los turismos se va a estimar un aumento de la ocupación a 2,2 personas por vehículo. Para los transportes públicos, se va a considerar el crecimiento tendencial experimentado en los últimos años hasta el 2019 y se va a estimar con ello la ocupación en 2030. Para el caso de los autobuses regulares de gestión estatal, el nivel de ocupación se va a considerar un 5% superior al de 2019. Respecto al transporte por ferrocarril, en los servicios de larga distancia se va a considerar un incremento del 3% respecto al año de referencia y en la media distancia del 2%.

Los millones de pkm considerados en este escenario para cada uno de los transportes, dados el crecimiento de la demanda y el reparto modal considerados, se presentan en la Tabla 35.

<b>Movilidad anual de media y larga distancia – España – 2030 – Escenario 1</b>				
Transporte				Millones de pkm
Turismos	Gasolina	EURO 5	Mediano	5.386,96
			Grande	424,22
		EURO 6	Mediano	51.061,51
			Grande	3.784,37
	Diésel	EURO 5	Mediano	12.998,57
			Grande	1.023,62
		EURO 6	Mediano	53.572,74
			Grande	3.970,48
Transporte Público	Autobús Diésel			6.085,66
	Ferrocarril	Larga Distancia	Alta Velocidad	11.288,55
			Convencional	5.169,15
		Media Distancia	Alta Velocidad	1.108,49
			Convencional	2.276,7

Tabla 35: Movilidad anual de media y larga distancia en España en 2030. Escenario 1.

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos calculados.

### 3.3.4 ESCENARIO 2: INTRODUCCIÓN DE NUEVAS TECNOLOGÍAS

En este escenario se va a considerar la introducción de nuevas tecnologías al sector de carretera considerando el mismo reparto modal que en el escenario de referencia. Las principales tecnologías consideradas son el turismo eléctrico y los autobuses impulsados por gas natural.

El vehículo eléctrico ha experimentado un fuerte crecimiento en la última década debido, entre otros factores, a la reducción de los costes de las baterías de litio empleadas en estos vehículos. De acuerdo con el informe publicado por “*Bloomberg New Energy Finance*” (BNEF) y *McKinsey&Company* en octubre de 2016 [75] el precio de estas baterías se redujo de alrededor de los \$1.000/kWh en 2010 a \$350/kWh en 2015, con una proyección estimada de llegar a reducirse el coste por debajo de los \$100/kWh en la próxima década con perspectivas de llegar a valores en torno a los \$50/kWh o \$60/kWh en un plazo más largo. Estas estimaciones vienen reforzadas por los datos aportados de nuevo por BNEF en 2021 donde el precio de las baterías en 2020 fue de \$140/kWh, y de \$132/kWh en

2021 [76], confirmándose, por tanto, el descenso de los costes y logrando una mayor competitividad del vehículo eléctrico frente a alternativas convencionales.

Añadido a esta creciente competitividad en costes que están experimentando los coches eléctricos frente a los tradicionales, se añaden las regulaciones impuestas por la Unión Europea para descarbonizar el sector del transporte que fomentan una irrupción notable de coches eco en el parque de vehículos europeo.

Además del objetivo de alcanzar la neutralidad climática en 2050 y de la importante reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> para 2030, recientemente, en julio de 2021, la Unión Europea presentaba el programa “*Fit for 55*” [77] con el cual establece para el año 2035 el objetivo de que ningún turismo ni furgoneta nuevo que se venda a partir del citado año pueda emitir CO<sub>2</sub> por el tubo de escape. Concretamente la reducción de emisiones durante la fase de uso para los turismos nuevos pasa por un 15% para los vendidos a partir de 2025, de un 55% a partir del año 2030 y de un 100% en 2035.

Se incide también en los objetivos relacionados con las infraestructuras necesarias de recarga pública eléctrica para una mayor y rápida penetración del vehículo eléctrico en el parque europeo mediante el establecimiento de nuevas normativas: concretamente, a nivel europeo, para el año 2030 debe existir un punto de recarga para vehículos eléctricos cada 60 km. Esta medida resulta muy importante con el objeto de mitigar el “*range anxiety*”, que es la inseguridad que siente un usuario de un vehículo eléctrico cuando ve que tiene menos autonomía que la necesaria para llegar al punto de recarga más cercano. Este es uno de los principales problemas que presentan hasta el momento los vehículos eléctricos para su empleo en los trayectos de largo recorrido, provocado por la falta de la infraestructura necesaria.

Este fue uno de los aspectos tratados en el informe “*Un modelo de transporte descarbonizado para España en 2050*” publicado por Deloitte en 2017 [78] donde se expone que para lograr un nivel de penetración adecuado del vehículo eléctrico en España (en el informe se presenta como objetivo los 6 millones de vehículos en 2030) debe existir una infraestructura de recarga de acceso público de 90.000 puntos de recarga en 2025 y

de 145.000 en 2030, existiendo diferentes velocidades de recarga en función de la estación.

En el informe del PNIEC se plantea como objetivo alcanzar los 5 millones de vehículos eléctricos en 2030, de los cuales 3,5 millones serían turismos. En el estudio “*El vehículo eléctrico en España. Situación actual, objetivos y retos a abordar*” [79] desarrollado en septiembre de 2021 por *OBS Business School* se recoge que la infraestructura planteada de puntos de recarga debe estar comprendida en el rango de 250.000-340.000 estaciones.

En el estudio de *Economics for Energy* [74] se presenta una estimación de la evolución del parque de turismos considerando el objetivo planteado por el PNIEC y, para el año 2030, el parque de vehículos eléctricos es de 3.541.227 y el parque de turismos convencionales experimenta una caída respecto a los niveles actuales siendo para ese mismo año de 20.274.435 vehículos. La edad media del parque de turismos convencional se situaría en torno a los 11 años en 2030 de acuerdo con este estudio.

Atendiendo a esta estimación, el porcentaje de turismos eléctricos sobre el total del parque nacional de coches en 2030 será cercano al 15%. Aunque actualmente este tipo de transporte se emplee principalmente a nivel urbano, la creciente inversión por esta tecnología así como las cada vez mayores regulaciones que lo favorecen y las subvenciones gubernamentales para fomentar su compra y desarrollo, están permitiendo una mayor autonomía de los vehículos diseñados lo cual, sumado al importante desarrollo que se espera en la infraestructura de puntos de recarga eléctricos a nivel nacional para el año 2030 hace que se plantee como una opción real para emplear en recorridos de media y larga distancia. Se va a considerar para estos coches eléctricos la misma ocupación que para los convencionales y se estima que para el año planteado en el escenario futuro un 5% de los viajes largos realizados en turismos se lleven a cabo en coches eléctricos.

La otra novedad que se va a incorporar en este escenario es la entrada de los autobuses de gas natural empleados para recorridos de larga distancia. A finales de 2018, la empresa *Scania* presentó el primer autobús de larga distancia que empleaba gas natural licuado y que tenía una autonomía alrededor de los 1.000 kilómetros [80]. Este modelo de autobús

se incorporó a la flota de *Alsa* ya en 2019 y se comenzó a usar ese mismo año en recorridos entre Alcalá de Henares y Torrejón de Ardoz con la ciudad de Madrid [81]. Estos autobuses de combustible alternativo, muy empleados en el ámbito urbano, está estimado que tengan una creciente importancia en el sector de la larga distancia, dominado por los autobuses diésel, con el objetivo de descarbonizar también este tipo de transporte. Para 2030 se estima el empleo de este tipo de los autobuses en un 10% de los trayectos de largo recorrido.

Se recoge en la Tabla 36 el reparto de los millones de pkm para cada uno de los transportes considerados para 2030 una vez incluidas las nuevas tecnologías expuestas en el desarrollo del escenario.

<b>Movilidad anual de media y larga distancia – España – 2030 – Escenario 2</b>				
Transporte				Millones de pkm
Turismos	Gasolina	EURO 5	Mediano	5.117,61
			Grande	403,01
		EURO 6	Mediano	48.508,44
			Grande	3.595,15
	Diésel	EURO 5	Mediano	12.348,64
			Grande	972,44
		EURO 6	Mediano	50.894,10
			Grande	3.771,96
Eléctrico				6.611,12
Transporte Público	Autobús	Diésel		5.477,1
		Gas Natural		608,57
	Ferrocarril	Larga Distancia	Alta Velocidad	11.288,55
			Convencional	5.169,15
		Media Distancia	Alta Velocidad	1.108,49
			Convencional	2.276,7

Tabla 36: Movilidad anual de media y larga distancia en España en 2030. Escenario 2.

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos calculados.

### 3.3.5 ESCENARIO 3: CAMBIO EN EL REPARTO MODAL

En este escenario la principal medida que se introduce es un importante cambio en el reparto modal en una transición hacia un mayor empleo de los transportes públicos de

autobús y tren en detrimento del uso del vehículo privado. Tal y como se estima en el escenario de referencia se van a considerar para los desplazamientos con turismos convencionales únicamente las normativas EURO 5 y EURO 6, manteniendo la misma ocupación para los transportes terrestres que en el mencionado escenario y además se considera también la introducción de nuevas tecnologías en la medida en la que se detallan en el segundo escenario futuro planteado.

Este escenario pretende adaptar el escenario objetivo para 2030 planteado por el PNIEC pero partiendo de la estimación de la demanda calculada en este estudio. Para ello también se van a considerar las estimaciones del estudio mencionado anteriormente de *Economics for Energy* que plantea, en uno de sus escenarios, también la estimación desarrollada por el PNIEC proyectando, para los transportes terrestres de más de 50 km de recorrido, una reducción del 12% del vehículo privado en favor del transporte público con un importante crecimiento del autobús. Dado que en este estudio únicamente se está considerando el servicio de gestión estatal, se va a considerar un aumento de este servicio proporcional al considerado en el estudio, siendo para 2030 el porcentaje de millones de pkm realizados por autobús respecto al total del 6,75% (en 2019 el porcentaje era del 3,85%). De igual manera, el aumento del ferrocarril de larga distancia será del 7% y para el de media distancia del 1,7% (ambos sobre el total de los millones de pkm demandados para los transportes terrestres). Dentro de estos últimos el incremento para la alta velocidad y el transporte convencional se va a realizar proporcionalmente al peso de cada uno en 2019.

Se recogen en la Tabla 37 a continuación el reparto de los millones de pkm en 2030 para este escenario en cada uno de los transportes analizados.

<b>Movilidad anual de media y larga distancia – España – 2030 – Escenario 3</b>					
Transporte				Millones de pkm	
Turismos	Gasolina	EURO 5	Mediano	4.407,24	
			Grande	347,06	
		EURO 6	Mediano	41.775,01	
			Grande	3.096,11	
	Diésel	EURO 5	Mediano	10.634,54	
			Grande	837,46	
		EURO 6	Mediano	43.829,52	
			Grande	3.248,37	
Eléctrico				5.693,44	
Transporte Público	Autobús		Diésel	9.607,67	
			Gas Natural	1.067,52	
	Ferrocarril		Larga Distancia	Alta Velocidad	18.882
				Convencional	8.646,27
			Media Distancia	Alta Velocidad	1.988,86
				Convencional	4.084,9

Tabla 37: Movilidad anual de media y larga distancia en España en 2030. Escenario 3.

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos calculados.

### 3.3.6 ESCENARIOS FUTUROS NORMALIZADOS

Al igual que para el escenario actual, los datos del escenario futuro deben estar también normalizados. En este caso, de nuevo, se van a dividir los datos entre la población residente en España estimada para el año 2030. Para ser coherente con el método empleado para el escenario actual, se va a considerar la media de población proyectada para el 1 de enero de 2030 (47.749.007) y la estimada para el 1 de enero de 2031 (47.837.801) [82], resultando esta de 47.793.404 personas.

Se presentan en la Tabla 38 a continuación los datos normalizados para cada uno de los escenarios planteados para 2030.

<b>Movilidad de media y larga distancia – España – 2030</b>							
Medio de transporte				pkm/habitante			
				Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	
	Diésel	EURO 5	Mediano	112,71	107,08	92,21	
			Grande	8,88	8,43	7,26	
		EURO 6	Mediano	1.068,38	1.014,96	874,07	
			Grande	79,18	75,22	64,78	
	Gasolina	EURO 5	Mediano	271,97	258,38	222,51	
			Grande	21,42	20,35	17,52	
		EURO 6	Mediano	1.120,92	1.064,88	917,06	
			Grande	83,08	78,92	67,97	
	Eléctrico				-	138,33	119,13
	Ferrocarril	Larga Distancia	Alta velocidad		236,19		395,08
Convencional			108,16		180,91		
Media Distancia		Alta velocidad		23,19		41,61	
		Convencional		47,64		85,47	
Autobús		Diésel		127,33	114,60	201,03	
		Gas Natural		-	12,73	22,34	
Aéreo		Peninsulares		252,67			
		Canarias (Insular)		27,86			
		Baleares (Insular)		4,82			
		Península-Canarias		382,68			
		Península-Baleares		123,59			

Tabla 38: Datos normalizados de la movilidad anual de media y larga distancia en España en los escenarios proyectados para 2030.

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos calculados.



## **Capítulo 4. EVALUACIÓN DE IMPACTO**

Para el análisis de impacto de cada uno de los medios de transporte de pasajeros analizados en las diferentes categorías estudiadas se presentan en este apartado los resultados de todos los procesos modelados.

En primer lugar se van a introducir los resultados correspondientes al escenario del año 2019, detallando los impactos de cada transporte en función de tres categorías principales: impacto de cada vehículo por kilómetro realizado, impacto de cada vehículo por cada pasajero por kilómetro transportado y el impacto de cada medio de transporte en el escenario normalizado. Además, se incluyen adicionalmente análisis más detallados de algunos transportes para obtener resultados en profundidad y estudiar cómo podrían afectar en el impacto generado algunas modificaciones como un aumento de la ocupación.

En el apartado correspondiente al escenario futuro se analizarán los impactos relativos a los tres escenarios normalizados diferentes presentados en el análisis de inventario de este documento y se estudiará el efecto provocado por la introducción de cada una de las diferentes medidas incorporadas en cada escenario así como su comparativa con el escenario actual.

### **4.1 ESCENARIO ACTUAL**

Como se ha mencionado, el primer análisis se corresponde con el impacto provocado por cada uno de los vehículos de los medios de transporte modelados por kilómetro. Para estos resultados se destaca que se han modelado los transportes teniendo en cuenta la ocupación establecida en el análisis de inventario. En caso de que la ocupación fuese mayor, el consumo lo sería también y, con ello, el impacto del vehículo por kilómetro. En estos resultados, por tanto, no se consideran los impactos por pasajero sino únicamente por vehículo, por lo que es esperable que aquellos transportes con un mayor volumen de

transporte de viajeros por vehículo (transporte público) tengan un impacto significativamente mayor que aquellos de uso privado.

Se presentan en la Tabla 39 los resultados correspondientes a este análisis donde los impactos provocados en todas las categorías por los vehículos de transporte público son mayores que en caso de los coches. Dentro de los transportes públicos, aquellos que tienen un mayor impacto en las diferentes categorías son el tren de alta velocidad de larga distancia y el avión, principalmente porque son aquellos que transportan un mayor volumen de viajeros por vehículo. Para el caso de los aviones, además, existen diferencias también en función de los diferentes trayectos recorridos ya que los modelos de avión son diferentes dependiendo de la distancia cubierta. Así, el impacto provocado por aquellos aviones empleados en vuelos insulares es menor por el hecho de que son aviones de menor tamaño. Además, la comparativa del avión con los demás medios de transporte es especialmente relevante en el caso de los vuelos con origen y destino peninsular ya que es el tipo de trayecto que el resto de los transportes pueden cubrir.

	Categoría de impacto										
	Agotamiento Abiótico	Agotamiento Abiótico Combustibles Fósiles	Calentamiento Global (GWP100a)	Agotamiento Capa de Ozono (ODP)	Toxicidad en Humanos	Ecotoxicidad Agua Dulce	Ecotoxicidad Agua Marina	Ecotoxicidad Terrestre	Oxidación Fotoquímica	Acidificación	Eutrofización
Tipo de transporte	kg Sb eq/km	MJ/km	kg CO2 eq/km	kg CFC-11 eq/km	kg 1,4-DB eq/km	kg 1,4-DB eq/km	kg 1,4-DB eq/km	kg 1,4-DB eq/km	kg C2H4 eq/km	kg SO2 eq/km	kg PO4 eq/km
Turismo Diésel EURO 2 Mediano	4,58E-06	4,71E+00	3,32E-01	5,31E-08	3,40E-01	2,53E-01	2,75E+02	3,51E-04	5,10E-05	1,35E-03	3,82E-04
Turismo Gasolina EURO 2 Mediano	4,68E-06	5,07E+00	3,78E-01	5,76E-08	3,27E-01	2,49E-01	2,77E+02	3,54E-04	1,42E-04	1,02E-03	2,77E-04
Turismo Diésel EURO 3 Mediano	4,58E-06	4,55E+00	3,20E-01	5,10E-08	3,39E-01	2,53E-01	2,75E+02	3,48E-04	5,01E-05	1,25E-03	3,59E-04
Turismo Gasolina EURO 3 Mediano	4,68E-06	4,87E+00	3,62E-01	5,51E-08	3,26E-01	2,49E-01	2,76E+02	3,49E-04	1,11E-04	9,82E-04	2,72E-04
Turismo Diésel EURO 4 Mediano	4,58E-06	4,38E+00	3,08E-01	4,88E-08	3,38E-01	2,53E-01	2,74E+02	3,44E-04	4,90E-05	1,10E-03	3,22E-04
Turismo Gasolina EURO 4 Mediano	4,67E-06	4,65E+00	3,46E-01	5,23E-08	3,21E-01	2,48E-01	2,75E+02	3,44E-04	8,05E-05	9,38E-04	2,65E-04
Turismo Diésel EURO 5 Mediano	4,58E-06	4,28E+00	3,01E-01	4,76E-08	3,34E-01	2,52E-01	2,73E+02	3,41E-04	4,82E-05	1,16E-03	3,39E-04
Turismo Gasolina EURO 5 Mediano	4,67E-06	4,49E+00	3,33E-01	5,02E-08	3,18E-01	2,48E-01	2,74E+02	3,40E-04	7,92E-05	9,12E-04	2,61E-04
Turismo Diésel EURO 6 Mediano	4,58E-06	4,13E+00	2,94E-01	4,57E-08	3,33E-01	2,52E-01	2,73E+02	3,37E-04	4,75E-05	1,15E-03	3,37E-04
Turismo Gasolina EURO 6 Mediano	4,67E-06	4,32E+00	3,21E-01	4,81E-08	3,17E-01	2,48E-01	2,73E+02	3,37E-04	7,82E-05	8,90E-04	2,59E-04
Turismo Diésel EURO 2 Grande	5,73E-06	5,88E+00	4,17E-01	6,63E-08	4,27E-01	3,16E-01	3,43E+02	4,37E-04	6,34E-05	1,55E-03	4,39E-04
Turismo Gasolina EURO 2 Grande	5,84E-06	5,99E+00	4,46E-01	6,77E-08	4,03E-01	3,10E-01	3,44E+02	4,32E-04	1,51E-04	1,21E-03	3,37E-04
Turismo Diésel EURO 3 Grande	5,72E-06	5,67E+00	4,00E-01	6,37E-08	4,26E-01	3,16E-01	3,42E+02	4,33E-04	6,23E-05	1,46E-03	4,21E-04
Turismo Gasolina EURO 3 Grande	5,84E-06	5,76E+00	4,30E-01	6,47E-08	4,02E-01	3,10E-01	3,42E+02	4,27E-04	1,31E-04	1,18E-03	3,32E-04

Turismo Diésel EURO 4 Grande	5,72E-06	5,42E+00	3,83E-01	6,05E-08	4,25E-01	3,15E-01	3,41E+02	4,28E-04	6,08E-05	1,30E-03	3,83E-04
Turismo Gasolina EURO 4 Grande	5,83E-06	5,55E+00	4,14E-01	6,21E-08	3,98E-01	3,09E-01	3,41E+02	4,22E-04	9,29E-05	1,13E-03	3,25E-04
Turismo Diésel EURO 5 Grande	5,72E-06	5,32E+00	3,76E-01	5,92E-08	4,19E-01	3,15E-01	3,41E+02	4,24E-04	5,99E-05	1,36E-03	4,00E-04
Turismo Gasolina EURO 5 Grande	5,83E-06	5,38E+00	4,01E-01	5,98E-08	3,94E-01	3,09E-01	3,40E+02	4,18E-04	9,13E-05	1,11E-03	3,21E-04
Turismo Diésel EURO 6 Grande	5,72E-06	5,13E+00	3,68E-01	5,67E-08	4,19E-01	3,15E-01	3,40E+02	4,20E-04	5,90E-05	1,43E-03	4,20E-04
Turismo Gasolina EURO 6 Grande	5,83E-06	5,19E+00	3,88E-01	5,74E-08	3,92E-01	3,09E-01	3,39E+02	4,14E-04	9,00E-05	1,08E-03	3,18E-04
Autobús Diésel	2,89E-06	1,67E+01	1,14E+00	2,01E-07	2,74E-01	2,09E-01	3,74E+02	1,03E-03	1,80E-04	6,86E-03	1,67E-03
Avión PEN-PEN	3,38E-05	2,18E+02	1,60E+01	2,59E-06	2,87E+00	1,77E+00	4,50E+03	9,42E-03	2,21E-03	6,19E-02	1,44E-02
Avión PEN-BAL	3,94E-05	2,75E+02	2,02E+01	3,29E-06	3,43E+00	2,08E+00	5,31E+03	1,13E-02	2,66E-03	8,00E-02	1,83E-02
Avión BAL-BAL	1,67E-05	1,33E+02	9,70E+00	1,60E-06	1,50E+00	8,99E-01	2,30E+03	5,03E-03	1,20E-03	3,41E-02	7,50E-03
Avión CAN-CAN	1,57E-05	1,19E+02	8,73E+00	1,44E-06	1,39E+00	8,41E-01	2,15E+03	4,65E-03	1,10E-03	3,00E-02	6,62E-03
Avión PEN-CAN	1,19E-05	1,97E+02	1,42E+01	2,47E-06	1,51E+00	8,04E-01	2,02E+03	6,53E-03	1,33E-03	5,41E-02	1,10E-02
Tren Larga Distancia Alta Velocidad	3,18E-04	1,50E+02	1,29E+01	7,72E-07	1,47E+01	1,19E+01	2,64E+04	1,87E-02	3,46E-03	8,53E-02	2,42E-02
Tren Media Distancia Alta Velocidad	1,85E-04	9,65E+01	8,30E+00	4,89E-07	8,79E+00	7,14E+00	1,66E+04	1,18E-02	2,22E-03	5,54E-02	1,54E-02
Tren Larga Distancia Convencional	2,86E-05	6,51E+01	5,67E+00	3,05E-07	3,15E+00	3,13E+00	9,69E+03	7,94E-03	1,56E-03	3,84E-02	9,81E-03
Tren Media Distancia Convencional	1,13E-05	3,14E+01	2,72E+00	1,46E-07	1,40E+00	1,38E+00	4,59E+03	3,70E-03	7,43E-04	1,88E-02	4,69E-03

*Tabla 39: Resultados del ACV por vehículo/km del escenario actual (2019).*

*Fuente: elaboración propia a partir de los resultados obtenidos en SimaPro.*

	Categoría de impacto										
	Agotamiento Abiótico	Agotamiento Abiótico Combustibles fósiles	Calentamiento Global (GWP100a)	Agotamiento Capa de Ozono (ODP)	Toxicidad en Humanos	Ecotoxicidad Agua Dulce	Ecotoxicidad Agua Marina	Ecotoxicidad Terrestre	Oxidación Fotoquímica	Acidificación	Eutrofización
Tipo de transporte	kg Sb eq/pkm	MJ/pkm	kg CO2 eq/pkm	kg CFC-11 eq/pkm	kg 1,4-DB eq/pkm	kg 1,4-DB eq/pkm	kg 1,4-DB eq/pkm	kg 1,4-DB eq/pkm	kg C2H4 eq/pkm	kg SO2 eq/pkm	kg PO4 eq/pkm
Turismo Diésel EURO 2 Mediano	2,73E-06	2,80E+00	1,97E-01	3,16E-08	2,03E-01	1,51E-01	1,64E+02	2,09E-04	3,04E-05	8,04E-04	2,27E-04
Turismo Gasolina EURO 2 Mediano	2,79E-06	3,02E+00	2,25E-01	3,43E-08	1,95E-01	1,48E-01	1,65E+02	2,11E-04	8,44E-05	6,05E-04	1,65E-04
Turismo Diésel EURO 3 Mediano	2,73E-06	2,71E+00	1,90E-01	3,04E-08	2,02E-01	1,51E-01	1,63E+02	2,07E-04	2,98E-05	7,46E-04	2,14E-04
Turismo Gasolina EURO 3 Mediano	2,78E-06	2,90E+00	2,16E-01	3,28E-08	1,94E-01	1,48E-01	1,64E+02	2,08E-04	6,63E-05	5,85E-04	1,62E-04
Turismo Diésel EURO 4 Mediano	2,73E-06	2,61E+00	1,83E-01	2,91E-08	2,01E-01	1,50E-01	1,63E+02	2,05E-04	2,91E-05	6,57E-04	1,92E-04
Turismo Gasolina EURO 4 Mediano	2,78E-06	2,77E+00	2,06E-01	3,12E-08	1,91E-01	1,48E-01	1,64E+02	2,05E-04	4,79E-05	5,58E-04	1,58E-04
Turismo Diésel EURO 5 Mediano	2,73E-06	2,55E+00	1,79E-01	2,83E-08	1,99E-01	1,50E-01	1,63E+02	2,03E-04	2,87E-05	6,91E-04	2,02E-04
Turismo Gasolina EURO 5 Mediano	2,78E-06	2,67E+00	1,98E-01	2,99E-08	1,89E-01	1,48E-01	1,63E+02	2,03E-04	4,71E-05	5,43E-04	1,55E-04
Turismo Diésel EURO 6 Mediano	2,72E-06	2,46E+00	1,75E-01	2,72E-08	1,98E-01	1,50E-01	1,62E+02	2,01E-04	2,83E-05	6,82E-04	2,01E-04
Turismo Gasolina EURO 6 Mediano	2,78E-06	2,57E+00	1,91E-01	2,86E-08	1,89E-01	1,47E-01	1,63E+02	2,00E-04	4,65E-05	5,30E-04	1,54E-04
Turismo Diésel EURO 2 Grande	3,41E-06	3,50E+00	2,48E-01	3,95E-08	2,54E-01	1,88E-01	2,04E+02	2,60E-04	3,77E-05	9,23E-04	2,61E-04
Turismo Gasolina EURO 2 Grande	3,48E-06	3,57E+00	2,65E-01	4,03E-08	2,40E-01	1,85E-01	2,05E+02	2,57E-04	8,98E-05	7,23E-04	2,01E-04
Turismo Diésel EURO 3 Grande	3,41E-06	3,38E+00	2,38E-01	3,79E-08	2,54E-01	1,88E-01	2,04E+02	2,58E-04	3,71E-05	8,71E-04	2,51E-04
Turismo Gasolina EURO 3 Grande	3,47E-06	3,43E+00	2,56E-01	3,85E-08	2,39E-01	1,84E-01	2,04E+02	2,54E-04	7,77E-05	7,00E-04	1,98E-04

Turismo Diésel EURO 4 Grande	3,41E-06	3,23E+00	2,28E-01	3,60E-08	2,53E-01	1,88E-01	2,03E+02	2,55E-04	3,62E-05	7,76E-04	2,28E-04
Turismo Gasolina EURO 4 Grande	3,47E-06	3,31E+00	2,46E-01	3,70E-08	2,37E-01	1,84E-01	2,03E+02	2,51E-04	5,53E-05	6,74E-04	1,93E-04
Turismo Diésel EURO 5 Grande	3,40E-06	3,17E+00	2,24E-01	3,52E-08	2,50E-01	1,88E-01	2,03E+02	2,53E-04	3,57E-05	8,11E-04	2,38E-04
Turismo Gasolina EURO 5 Grande	3,47E-06	3,20E+00	2,39E-01	3,56E-08	2,34E-01	1,84E-01	2,03E+02	2,49E-04	5,44E-05	6,58E-04	1,91E-04
Turismo Diésel EURO 6 Grande	3,40E-06	3,05E+00	2,19E-01	3,38E-08	2,49E-01	1,87E-01	2,02E+02	2,50E-04	3,51E-05	8,50E-04	2,50E-04
Turismo Gasolina EURO 6 Grande	3,47E-06	3,09E+00	2,31E-01	3,41E-08	2,33E-01	1,84E-01	2,02E+02	2,46E-04	5,36E-05	6,42E-04	1,89E-04
Autobús Diésel	1,37E-07	7,92E-01	5,42E-02	9,54E-09	1,30E-02	9,90E-03	1,77E+01	4,87E-05	8,51E-06	3,25E-04	7,91E-05
Avión PEN-PEN	2,92E-07	1,88E+00	1,38E-01	2,23E-08	2,48E-02	1,52E-02	3,88E+01	8,12E-05	1,90E-05	5,34E-04	1,24E-04
Avión PEN-BAL	2,94E-07	2,06E+00	1,51E-01	2,46E-08	2,56E-02	1,55E-02	3,96E+01	8,43E-05	1,99E-05	5,97E-04	1,37E-04
Avión BAL-BAL	2,98E-07	2,37E+00	1,73E-01	2,86E-08	2,67E-02	1,61E-02	4,11E+01	8,98E-05	2,14E-05	6,09E-04	1,34E-04
Avión CAN-CAN	2,96E-07	2,25E+00	1,65E-01	2,71E-08	2,62E-02	1,59E-02	4,05E+01	8,77E-05	2,08E-05	5,65E-04	1,25E-04
Avión PEN-CAN	7,42E-08	1,22E+00	8,84E-02	1,53E-08	9,40E-03	4,99E-03	1,25E+01	4,05E-05	8,23E-06	3,36E-04	6,85E-05
Tren Larga Distancia Alta Velocidad	1,03E-06	4,86E-01	4,19E-02	2,50E-09	4,75E-02	3,84E-02	8,53E+01	6,06E-05	1,12E-05	2,76E-04	7,84E-05
Tren Media Distancia Alta Velocidad	1,04E-06	5,40E-01	4,65E-02	2,74E-09	4,92E-02	4,00E-02	9,26E+01	6,61E-05	1,24E-05	3,10E-04	8,62E-05
Tren Larga Distancia Convencional	1,65E-07	3,76E-01	3,28E-02	1,76E-09	1,82E-02	1,81E-02	5,60E+01	4,59E-05	8,99E-06	2,22E-04	5,67E-05
Tren Media Distancia Convencional	1,74E-07	4,83E-01	4,19E-02	2,24E-09	2,16E-02	2,12E-02	7,06E+01	5,69E-05	1,14E-05	2,89E-04	7,21E-05

*Tabla 40: Resultados del ACV por pkm del escenario actual (2019).*

*Fuente: elaboración propia a partir de los resultados obtenidos en SimaPro.*

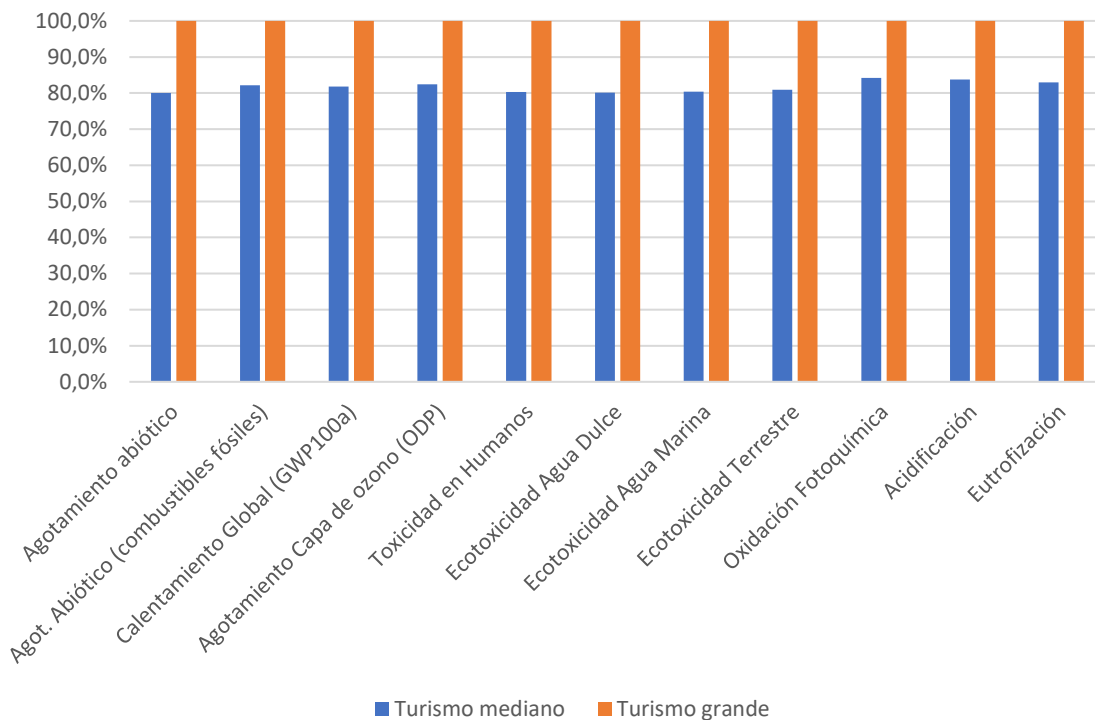
Como se observa en la Tabla 40, donde se presentan los resultados tras incluir las ocupaciones por vehículo, los impactos de cada medio de transporte en cada una de las diferentes categorías estudiadas por pasajero transportado por kilómetro disminuyen, siendo la reducción en el transporte público considerable y pasando el vehículo privado a ser el transporte con un mayor impacto por pasajero transportado en todas las categorías.

Se analizan en los siguientes apartados los resultados por tipo de transporte.

#### **4.1.1 VEHÍCULO PRIVADO**

Para los turismos considerados en este escenario, es decir, aquellos dentro de las normativas EURO 2 a EURO 6, tanto en las categorías diésel como gasolina, el impacto producido por un vehículo en un kilómetro de recorrido es mayor, dentro de cada normativa, en los coches de gran tamaño que en sus homólogos medianos. Esta diferencia se mantiene similar a lo largo de las diferentes normativas y se encuentra para cada una de las categorías entre un 15% y un 20% menor en los turismos medianos respecto a los grandes.

Se presenta en la Figura 6 la comparativa de los impactos entre ambos transportes donde, para cada categoría, se toma la media de los resultados correspondientes a las normativas consideradas en el escenario actual. Se representan los resultados en porcentaje en cada una de las categorías siendo para todas ellas el 100% el impacto provocado por los turismos grandes y respecto a éste se representa el porcentaje de impacto de los turismos medianos.



*Figura 6: Comparativa del impacto entre turismos en función del tamaño para una misma ocupación.  
Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos con SimaPro con la base de datos de Ecoinvent.*

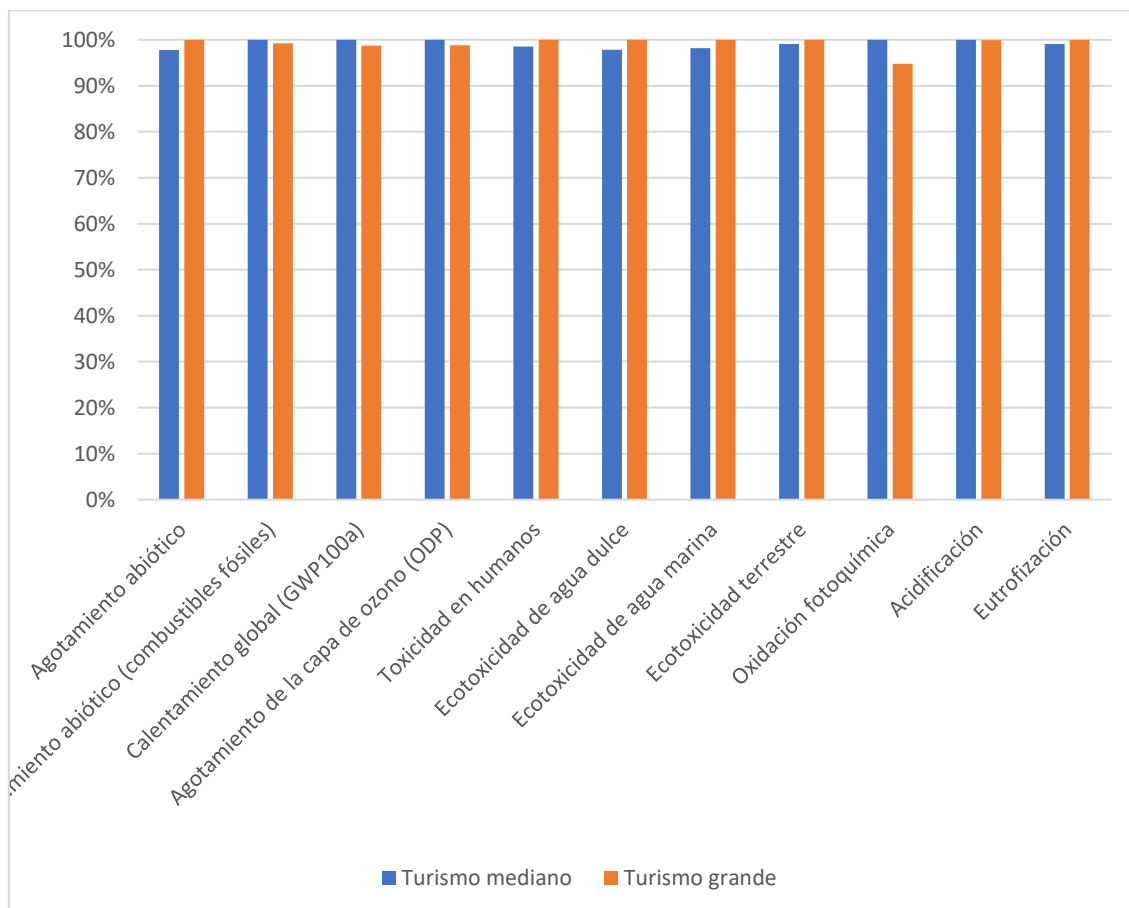
Para una mayor comprensión de estos resultados es importante destacar que se está considerando la misma ocupación para los turismos independientemente de su tamaño, por lo que los impactos generados se mantienen proporcionalmente tanto para los resultados por pasajero transportado como por kilómetro recorrido por vehículo.

Se ha analizado, además, cuál es el incremento de ocupación que debieran tener los turismos grandes frente a los medianos para que el impacto por pasajero transportado sea similar. Este incremento no es lineal en función de los resultados obtenidos ya que al aumentar la ocupación aumenta también el consumo del transporte y los impactos se ven modificados también, por lo que no por aumentar la ocupación el porcentaje directo de diferencia entre los resultados de los impactos se igualarán estos.

Para la ocupación establecida de pasajeros por turismo mediano en este escenario, el incremento en el número de pasajeros en los coches grandes debe ser superior al 22%



para que los resultados de los impactos por pasajero sean inferiores. Se presenta a continuación una comparativa (Figura 7) entre los modelos mediano y grande de gasolina de la norma EURO 5 para el incremento del nivel de ocupación mencionado en los coches grandes manteniéndose el nivel de ocupación del escenario actual en los medianos.



*Figura 7: Comparativa entre turismo mediano y grande de gasolina EURO 5 con distinta ocupación.*

*Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos con SimaPro con la base de datos de Ecoinvent.*

Se observa en la Figura 7 cómo, a partir del mencionado aumento de ocupación en los turismos grandes, permaneciendo los medianos con la anterior ocupación, los impactos en todas las categorías por pasajero transportado son muy similares, por lo que, dependiendo del grado de ocupación que se de en función del tipo de vehículo, los turismos de mayor tamaño pueden tener un menor impacto por pkm que los medianos.

Sin embargo, la situación más favorable es una mayor ocupación de los coches de tamaño mediano.

Se ha considerado también relevante realizar un análisis de cómo afecta la ocupación al impacto por persona en las diferentes categorías para el vehículo privado. Este análisis se va a realizar para los turismos medianos ya que son los que tienen una mayor presencia en el parque nacional de vehículos y se van a considerar diferentes ocupaciones para ver cómo es la evolución del impacto provocado en función del número de personas transportadas por kilómetro.

Se presenta en la Tabla 41 los valores de impacto por pkm para los coches medianos de gasolina y diésel bajo la normativa EURO 4 y 5 con distintos niveles de ocupación, desde 1,68 personas por turismo correspondientes al escenario actual hasta tres personas por coche.

Además de los resultados absolutos para cada uno de los modelos en función de la ocupación y la normativa expuestos en la Tabla 41, se presenta una segunda Tabla 42 comparativa con el porcentaje de reducción de impacto por pkm respecto al nivel de ocupación considerado por turismo en el escenario actual, con el objeto de analizar la relación entre ocupación del vehículo y reducción del nivel de impacto.

Tipo de transporte		Categoría de impacto										
		Agotamiento Abiótico	Agotamiento Abiótico Combust. Fósiles	Calentamiento Global (GWP100a)	Agotamiento Capa de Ozono (ODP)	Toxicidad en Humanos	Ecotoxicidad Agua Dulce	Ecotoxicidad Agua Marina	Ecotoxicidad Terrestre	Oxidación Fotoquímica	Acidificación	Eutrofización
Turismo	Ocupación	kg Sb eq/km	MJ/km	kg CO2 eq/km	kg CFC-11 eq/km	kg 1,4-DB eq/km	kg 1,4-DB eq/km	kg 1,4-DB eq/km	kg 1,4-DB eq/km	kg C2H4 eq/km	kg SO2 eq/km	kg PO4 eq/km
EURO 4 Diésel	1,68	2,73E-06	2,60E+00	1,83E-01	2,91E-08	2,01E-01	1,50E-01	1,63E+02	2,05E-04	2,91E-05	6,57E-04	1,92E-04
	2	2,29E-06	2,21E+00	1,54E-01	2,47E-08	1,69E-01	1,26E-01	1,37E+02	1,73E-04	2,46E-05	5,54E-04	1,62E-04
	2,25	2,04E-06	1,98E+00	1,37E-01	2,22E-08	1,51E-01	1,12E-01	1,22E+02	1,54E-04	2,19E-05	4,94E-04	1,44E-04
	2,5	1,83E-06	1,80E+00	1,24E-01	2,02E-08	1,36E-01	1,01E-01	1,10E+02	1,39E-04	1,98E-05	4,46E-04	1,30E-04
	2,75	1,67E-06	1,65E+00	1,13E-01	1,85E-08	1,23E-01	9,19E-02	9,98E+01	1,26E-04	1,81E-05	4,07E-04	1,18E-04
EURO 4 Gasolina	3	1,53E-06	1,52E+00	1,03E-01	1,71E-08	1,13E-01	8,43E-02	9,15E+01	1,16E-04	1,66E-05	3,75E-04	1,08E-04
	1,68	2,78E-06	2,77E+00	2,06E-01	3,12E-08	1,91E-01	1,48E-01	1,64E+02	2,05E-04	4,79E-05	5,58E-04	1,58E-04
	2	2,34E-06	2,35E+00	1,73E-01	2,65E-08	1,61E-01	1,24E-01	1,38E+02	1,73E-04	4,04E-05	4,72E-04	1,33E-04
	2,25	2,08E-06	2,11E+00	1,54E-01	2,37E-08	1,43E-01	1,10E-01	1,22E+02	1,54E-04	3,60E-05	4,22E-04	1,18E-04
	2,5	1,87E-06	1,91E+00	1,39E-01	2,15E-08	1,29E-01	9,94E-02	1,10E+02	1,39E-04	3,25E-05	3,81E-04	1,07E-04
EURO 5 Diésel	2,75	1,70E-06	1,75E+00	1,26E-01	1,98E-08	1,17E-01	9,04E-02	1,00E+02	1,26E-04	2,96E-05	3,48E-04	9,70E-05
	3	1,56E-06	1,62E+00	1,16E-01	1,83E-08	1,07E-01	8,29E-02	9,20E+01	1,16E-04	2,72E-05	3,21E-04	8,91E-05
	1,68	2,73E-06	2,55E+00	1,79E-01	2,83E-08	1,99E-01	1,50E-01	1,63E+02	2,03E-04	2,87E-05	6,91E-04	2,02E-04
	2	2,29E-06	2,16E+00	1,51E-01	2,41E-08	1,67E-01	1,26E-01	1,37E+02	1,71E-04	2,42E-05	5,83E-04	1,70E-04
	2,25	2,04E-06	1,94E+00	1,34E-01	2,17E-08	1,48E-01	1,12E-01	1,22E+02	1,52E-04	2,16E-05	5,20E-04	1,51E-04
EURO 5 Gasolina	2,5	1,83E-06	1,76E+00	1,21E-01	1,97E-08	1,34E-01	1,01E-01	1,10E+02	1,37E-04	1,95E-05	4,70E-04	1,36E-04
	2,75	1,67E-06	1,62E+00	1,10E-01	1,81E-08	1,22E-01	9,19E-02	9,96E+01	1,25E-04	1,78E-05	4,29E-04	1,24E-04
	3	1,53E-06	1,49E+00	1,01E-01	1,67E-08	1,12E-01	8,42E-02	9,14E+01	1,15E-04	1,63E-05	3,94E-04	1,14E-04
	1,68	2,78E-06	2,67E+00	1,98E-01	2,99E-08	1,89E-01	1,48E-01	1,63E+02	2,03E-04	4,71E-05	5,43E-04	1,55E-04
	2	2,34E-06	2,27E+00	1,67E-01	2,54E-08	1,59E-01	1,24E-01	1,37E+02	1,71E-04	3,97E-05	4,59E-04	1,31E-04
EURO 5 Gasolina	2,25	2,08E-06	2,03E+00	1,49E-01	2,28E-08	1,42E-01	1,10E-01	1,22E+02	1,52E-04	3,54E-05	4,10E-04	1,16E-04
	2,5	1,87E-06	1,84E+00	1,34E-01	2,07E-08	1,28E-01	9,93E-02	1,10E+02	1,37E-04	3,20E-05	3,71E-04	1,05E-04
	2,75	1,70E-06	1,69E+00	1,22E-01	1,90E-08	1,16E-01	9,03E-02	9,99E+01	1,25E-04	2,91E-05	3,39E-04	9,57E-05
	3	1,56E-06	1,56E+00	1,12E-01	1,75E-08	1,06E-01	8,28E-02	9,16E+01	1,15E-04	2,68E-05	3,12E-04	8,79E-05

Tabla 41: Impacto generado en función de la ocupación por los coches diésel y gasolina de normativas EURO 4 y 5.

Tipo de transporte		Categoría de impacto										
		Agotamiento Abiótico	Agotamiento Abiótico Combust. Fósiles	Calentamiento Global (GWP100a)	Agotamiento Capa de Ozono (ODP)	Toxicidad en Humanos	Ecotoxicidad Agua Dulce	Ecotoxicidad Agua Marina	Ecotoxicidad Terrestre	Oxidación Fotoquímica	Acidificación	Eutrofización
Turismo	Ocupación											
EURO 4 Diésel	2	16,0%	15,1%	15,9%	14,9%	15,9%	16,0%	15,9%	15,8%	15,6%	15,6%	15,8%
	2,25	25,3%	23,9%	25,1%	23,6%	25,3%	25,3%	25,2%	25,0%	24,8%	24,7%	25,1%
	2,5	32,8%	30,9%	32,5%	30,6%	32,7%	32,7%	32,7%	32,4%	32,1%	32,0%	32,5%
	2,75	38,9%	36,7%	38,6%	36,3%	38,8%	38,8%	38,7%	38,4%	38,0%	38,0%	38,5%
	3	44,0%	41,5%	43,6%	41,1%	43,9%	43,9%	43,8%	43,4%	43,0%	42,9%	43,6%
EURO 4 Gasolina	2	16,0%	15,2%	15,9%	15,0%	15,9%	16,0%	15,9%	15,7%	15,7%	15,5%	15,8%
	2,25	25,3%	24,0%	25,1%	23,8%	25,2%	25,3%	25,2%	24,9%	24,9%	24,5%	25,0%
	2,5	32,8%	31,1%	32,5%	30,8%	32,7%	32,7%	32,6%	32,3%	32,2%	31,7%	32,4%
	2,75	38,9%	36,9%	38,6%	36,6%	38,7%	38,8%	38,7%	38,3%	38,2%	37,6%	38,4%
	3	44,0%	41,7%	43,6%	41,4%	43,8%	43,9%	43,8%	43,3%	43,2%	42,5%	43,4%
EURO 5 Diésel	2	16,0%	15,1%	15,9%	14,9%	15,9%	16,0%	15,9%	15,8%	15,6%	15,6%	15,8%
	2,25	25,3%	23,8%	25,1%	23,6%	25,3%	25,3%	25,2%	25,0%	24,8%	24,7%	25,1%
	2,5	32,8%	30,9%	32,5%	30,6%	32,7%	32,7%	32,7%	32,3%	32,1%	32,0%	32,5%
	2,75	38,9%	36,6%	38,6%	36,2%	38,8%	38,8%	38,7%	38,4%	38,0%	38,0%	38,5%
	3	44,0%	41,4%	43,6%	41,0%	43,9%	43,9%	43,8%	43,4%	43,0%	43,0%	43,6%
EURO 5 Gasolina	2	16,0%	15,1%	15,9%	15,0%	15,9%	16,0%	15,9%	15,7%	15,7%	15,5%	15,8%
	2,25	25,3%	24,0%	25,1%	23,8%	25,2%	25,3%	25,2%	24,9%	24,9%	24,5%	25,0%
	2,5	32,8%	31,0%	32,5%	30,8%	32,7%	32,7%	32,6%	32,3%	32,2%	31,7%	32,4%
	2,75	38,9%	36,8%	38,6%	36,5%	38,7%	38,8%	38,7%	38,3%	38,2%	37,6%	38,4%
	3	44,0%	41,6%	43,6%	41,3%	43,8%	43,9%	43,8%	43,3%	43,2%	42,5%	43,4%

Tabla 42: Porcentaje de reducción de impacto respecto a la ocupación del escenario actual en los coches diésel y gasolina de normativas EURO 4 y 5.

Como se observa en los resultados obtenidos, a medida que el nivel de ocupación aumenta, el porcentaje de reducción de impacto en todas las categorías, siendo esta reducción bastante similar en las dos normativas estudiadas tanto para los modelos diésel como para los de gasolina, también lo hace.

La reducción de impacto en las diferentes categorías a medida que aumenta el porcentaje de ocupación no es lineal. Es decir, que, por ejemplo, para un aumento de ocupación del 30%, la reducción no es de ese mismo porcentaje sino que es menor, en concreto del 25%. A medida que el porcentaje de ocupación aumenta, se aprecia cómo el porcentaje de reducción de impacto es menor aunque sigue existiendo una reducción notable. No obstante, esta reducción es especialmente significativa para el caso de 2 pasajeros por vehículo, donde con un aumento del 19% de ocupación respecto al escenario actual se logra una reducción del 16% de impacto en todas las categorías, siendo la relación cercana a ser directamente proporcional. A partir de esa ocupación, a medida que se aumenta la misma, el porcentaje de reducción de impacto va siendo cada vez menos acusado.

En la Figura 8 se representan los porcentajes de reducción de impacto para cada una de las ocupaciones consideradas por turismo (2; 2,25; 2,5; 2,75; 3) respecto a la ocupación considerada en el escenario actual (1.68). Se presenta para cada categoría la media de los tipos de turismos estudiados que, como se aprecia en la Tabla 42, presentan porcentajes de reducción similares en todas las categorías.

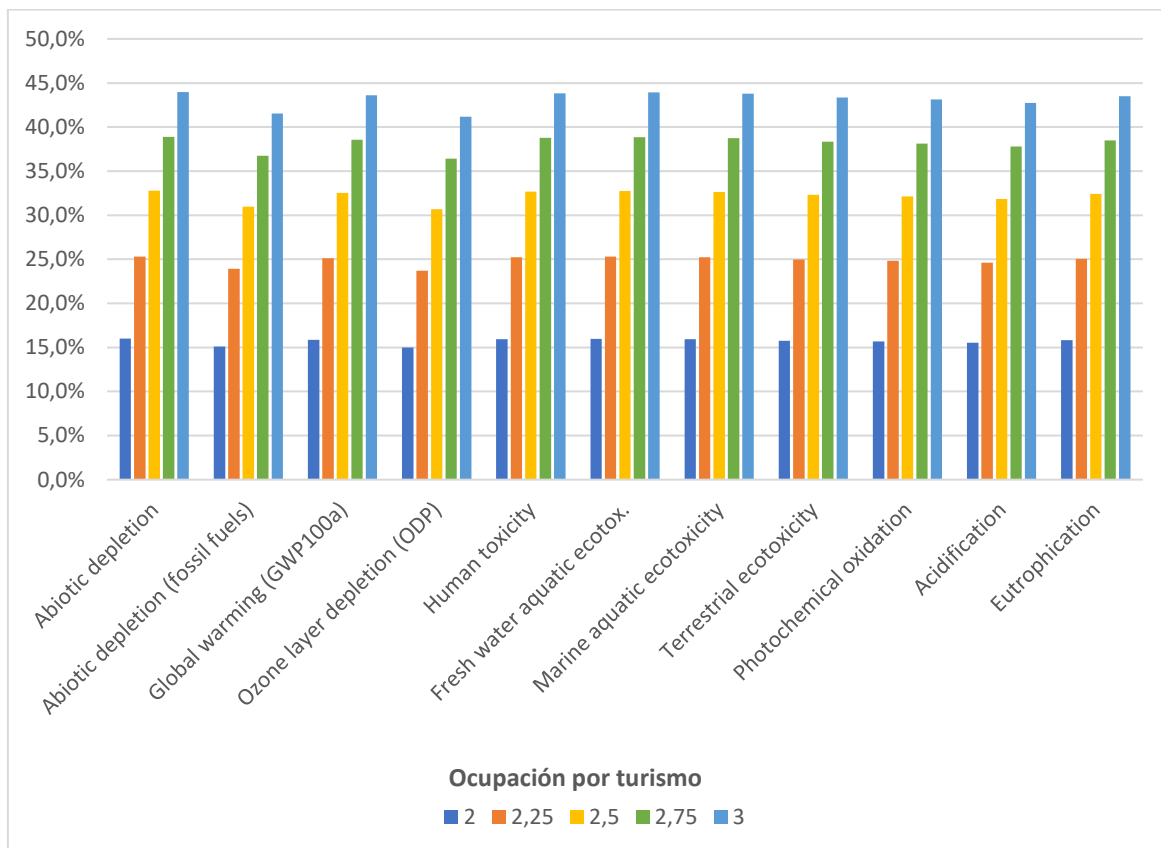


Figura 8: Porcentaje de reducción de impacto en función de la ocupación en turismos con respecto a la ocupación media actual de 1.68 pasajeros.

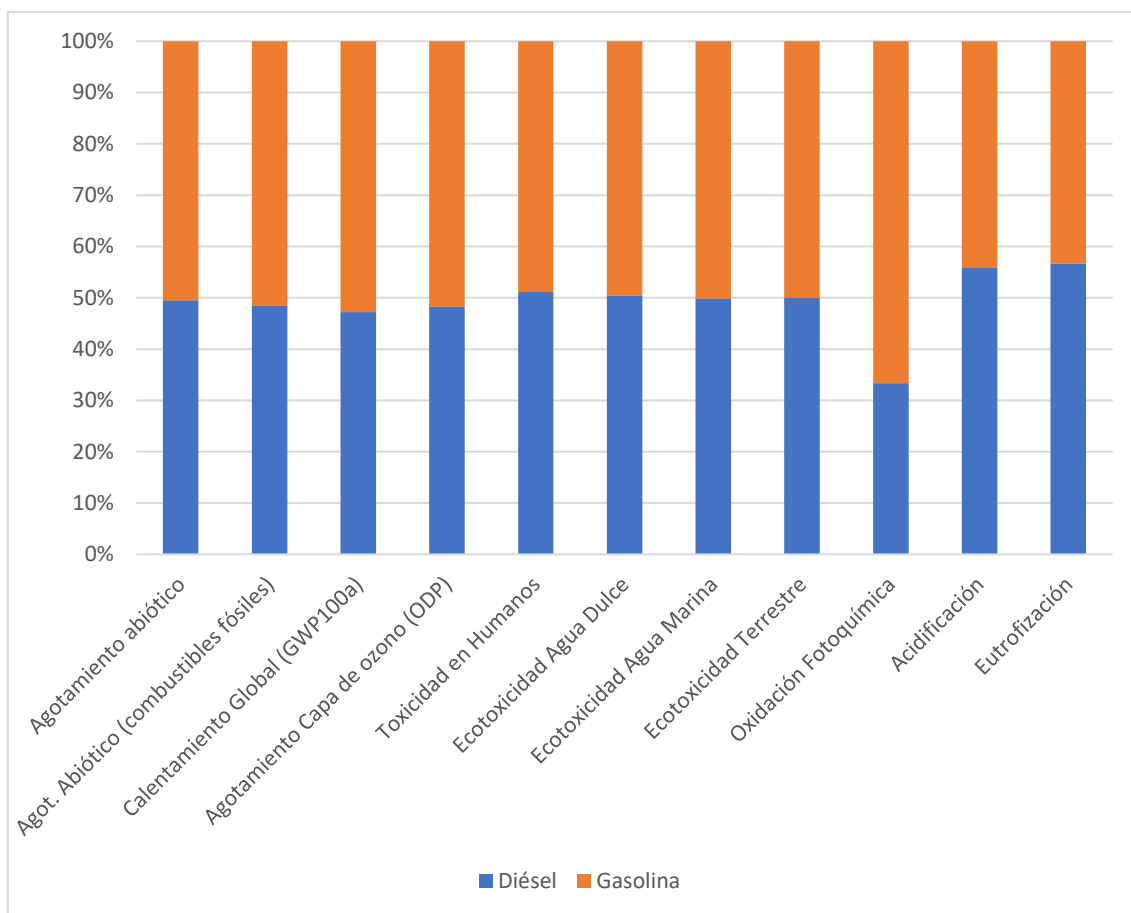
Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos con SimaPro con la base de datos de Ecoinvent.

Finalmente, se analizan también las diferencias existentes entre los modelos diésel y gasolina. Como era de suponer, dentro de cada una de las categorías, para ambos modos de propulsión, los impactos para cada una de las normativas se van reduciendo a medida que se encuentran bajo una legislación cada vez más exigente.

Dentro de una misma normativa, en la comparativa entre coches diésel y gasolina, dependiendo de la categoría de impacto analizada, los resultados obtenidos son mayores para uno u otro tipo de vehículo. Así, en la categoría de calentamiento global o la de agotamiento de la capa de ozono, los coches de gasolina presentan un mayor impacto que los turismos diésel mientras que en las categorías de acidificación y eutrofización los

coches diésel presentan un mayor impacto. Además, esto se mantiene en todas las categorías con independencia del tamaño del coche si es mediano o grande.

Se presenta en la Figura 9 la comparativa del porcentaje de impacto medio entre los turismos diésel y gasolina para cada una de las categorías, donde se aprecia que los impactos son similares salvo en la oxidación fotoquímica donde la contribución del coche de gasolina es notablemente superior a la del diésel.



*Figura 9: Comparativa de impacto entre turismos de diésel y gasolina.*

*Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos con SimaPro con la base de datos de Ecoinvent.*

#### **4.1.2 TRANSPORTE PÚBLICO**

Dentro de este apartado se están considerando en este estudio el autobús, el avión y el tren. Sin embargo, en el año 2019, en la categoría de autobuses únicamente operaban en este tipo de recorridos los autobuses diésel, por lo que no se puede desarrollar una comparativa frente a otros autobuses con diferentes modos de propulsión.

En el caso del transporte por avión, como se ha detallado en el análisis de inventario del estudio, se han considerado diferentes tipos de recorrido. Para cada uno de ellos se emplean diferentes modelos de avión, con diferentes tamaños, consumo y emisiones, por lo que se han modelado proporcionalmente los procesos en función de la cantidad de operaciones realizadas por cada uno de los modelos de avión empleados.

Los procesos de SimaPro empleados para el modelado dependen de la distancia y son iguales para los vuelos peninsulares, para los insulares y para aquellos entre Baleares y la Península, mientras que el modelo es diferente para los vuelos entre la Península y Canarias por ser la distancia recorrida mayor. Se presenta en la Figura 10 una comparativa para cada una de las categorías analizadas de avión en función del tipo de recorrido.



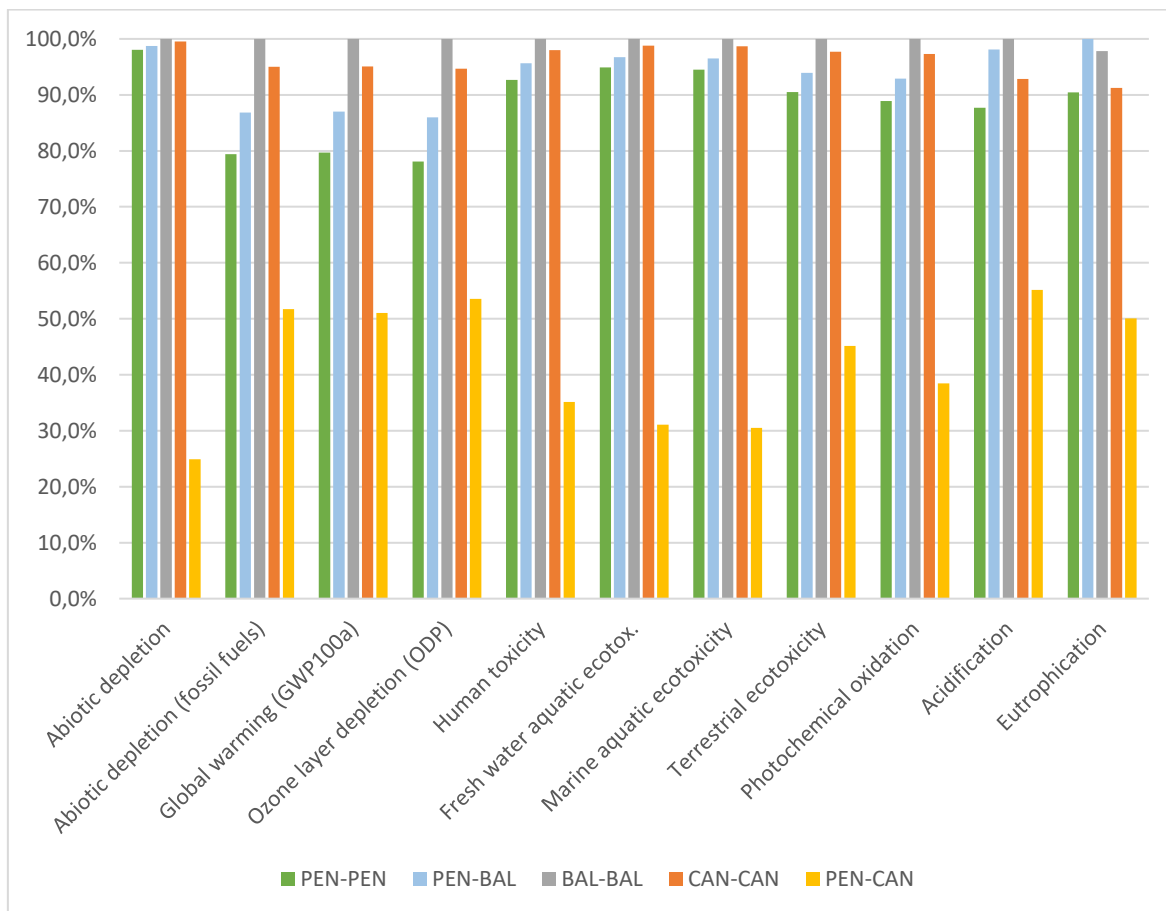


Figura 10: Comparativa de impacto entre aviones según el tipo de recorrido por pkm.

Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos con SimaPro con la base de datos de Ecoinvent.

Dentro de los recorridos considerados de baja distancia, destaca que los vuelos peninsulares y aquellos entre Península y Baleares, a pesar de emplear aviones con un mayor impacto por kilómetro, presentan un menor impacto por pasajero por kilómetro transportado que aquellas operaciones que son únicamente insulares. En estas últimas los modelos de aviones suelen ser de menor tamaño y con una menor ocupación dadas las características de los vuelos y la demanda de los mismos por lo que, al representar los impactos en función de los pasajeros por kilómetro transportados, se aprecia cómo el impacto es menor en los vuelos peninsulares dada esta mayor ocupación.

Por otra parte, resulta significativa la gran diferencia que existe entre el impacto por pkm causado por los vuelos entre Península y Canarias respecto al del resto de vuelos

correspondientes a los diferentes recorridos. Esta diferencia no tiene que ver exclusivamente con los modelos de avión empleados, puesto que varios de estos se emplean también en vuelos peninsulares. Tampoco se explica la diferencia únicamente por un mayor número de pasajeros medios por vuelo en este tipo de trayecto aunque también es uno de los factores que influyen.

La explicación de esta diferencia tan importante se da principalmente en la fase de uso del ciclo de vida. Los vuelos se dividen, como se ha explicado anteriormente, en dos etapas principales: LTO, la cual se corresponde con las operaciones de despegue y aterrizaje, y CCD, donde se desarrolla la mayor parte del vuelo y se corresponde con el ascenso, velocidad crucero y descenso. La fase LTO, a pesar de ser la más breve de las dos, presenta un impacto significativo en cuanto a emisiones y consumo y, en los vuelos cortos, este impacto es más influyente ya que los pkm obtenidos son menores dada la menor ocupación y distancia recorrida por vuelo, por lo que no se terminan de compensar de manera clara estos impactos. Sin embargo, para los vuelos entre la Península y Canarias, al ser la distancia recorrida significativamente mayor, el impacto por pkm se reduce considerablemente como se puede apreciar en los resultados expuestos.

#### **4.1.3 RESULTADOS DEL ESCENARIO NORMALIZADO**

Se presentan en la Tabla 43 los resultados normalizados en función de los habitantes de España en el año 2019 y de los millones de pkm de cada uno de los transportes considerados en el escenario actual con los niveles de ocupación correspondientes a este escenario para cada transporte. Además, se realiza posteriormente una comparativa de los resultados globales así como diferentes análisis de cada uno de los medios de transporte para evaluar las diferentes contribuciones de impacto de cada uno de ellos en función de la categoría estudiada y del tipo de vehículo.

Tipo de transporte	Categoría de impacto										
	Agotamiento Abiótico	Ag. Abiótico Combustibles Fósiles	Calentamiento Global (GWP100a)	Agotamiento Capa de Ozono (ODP)	Toxicidad en Humanos	Ecotoxicidad Agua Dulce	Ecotoxicidad Agua Marina	Ecotoxicidad Terrestre	Oxidación Fotoquímica	Acidificación	Eutrofización
	kg Sb eq/hab	MJ/hab	kg CO2 eq/hab	kg CFC-11 eq/hab	kg 1,4-DB eq/hab	kg 1,4-DB eq/hab	kg 1,4-DB eq/hab	kg 1,4-DB eq/hab	kg C2H4 eq/hab	kg SO2 eq/hab	kg PO4 eq/hab
Turismo Diésel EURO 2 Mediano	2,32E-04	2,39E+02	1,68E+01	2,70E-06	1,73E+01	1,28E+01	1,40E+04	1,78E-02	2,59E-03	6,85E-02	1,94E-02
Turismo Gasolina EURO 2 Mediano	5,19E-04	5,62E+02	4,19E+01	6,39E-06	3,63E+01	2,76E+01	3,07E+04	3,93E-02	1,57E-02	1,13E-01	3,07E-02
Turismo Diésel EURO 3 Mediano	8,04E-04	7,97E+02	5,61E+01	8,95E-06	5,95E+01	4,44E+01	4,81E+04	6,09E-02	8,79E-03	2,20E-01	6,29E-02
Turismo Gasolina EURO 3 Mediano	5,42E-04	5,64E+02	4,20E+01	6,38E-06	3,78E+01	2,88E+01	3,20E+04	4,05E-02	1,29E-02	1,14E-01	3,15E-02
Turismo Diésel EURO 4 Mediano	1,02E-03	9,74E+02	6,86E+01	1,09E-05	7,54E+01	5,62E+01	6,09E+04	7,67E-02	1,09E-02	2,46E-01	7,18E-02
Turismo Gasolina EURO 4 Mediano	4,46E-04	4,45E+02	3,30E+01	5,00E-06	3,07E+01	2,37E+01	2,63E+04	3,29E-02	7,69E-03	8,96E-02	2,53E-02
Turismo Diésel EURO 5 Mediano	7,78E-04	7,27E+02	5,12E+01	8,09E-06	5,67E+01	4,29E+01	4,64E+04	5,78E-02	8,19E-03	1,97E-01	5,76E-02
Turismo Gasolina EURO 5 Mediano	3,29E-04	3,16E+02	2,35E+01	3,53E-06	2,24E+01	1,75E+01	1,93E+04	2,40E-02	5,58E-03	6,42E-02	1,84E-02
Turismo Diésel EURO 6 Mediano	1,02E-03	9,16E+02	6,52E+01	1,01E-05	7,39E+01	5,60E+01	6,05E+04	7,48E-02	1,05E-02	2,54E-01	7,48E-02
Turismo Gasolina EURO 6 Mediano	9,86E-04	9,13E+02	6,78E+01	1,02E-05	6,69E+01	5,23E+01	5,76E+04	7,11E-02	1,65E-02	1,88E-01	5,46E-02
Turismo Diésel EURO 2 Grande	3,05E-05	3,13E+01	2,22E+00	3,53E-07	2,27E+00	1,68E+00	1,83E+03	2,33E-03	3,38E-04	8,25E-03	2,34E-03
Turismo Gasolina EURO 2 Grande	6,80E-05	6,98E+01	5,19E+00	7,89E-07	4,69E+00	3,61E+00	4,00E+03	5,04E-03	1,76E-03	1,41E-02	3,93E-03
Turismo Diésel EURO 3 Grande	1,28E-04	1,27E+02	8,95E+00	1,42E-06	9,52E+00	7,06E+00	7,65E+03	9,68E-03	1,39E-03	3,27E-02	9,40E-03
Turismo Gasolina EURO 3 Grande	8,61E-05	8,50E+01	6,35E+00	9,55E-07	5,93E+00	4,57E+00	5,05E+03	6,30E-03	1,93E-03	1,74E-02	4,90E-03

Turismo Diésel EURO 4 Grande	1,62E-04	1,54E+02	1,09E+01	1,72E-06	1,21E+01	8,94E+00	9,67E+03	1,22E-02	1,72E-03	3,70E-02	1,09E-02
Turismo Gasolina EURO 4 Grande	7,10E-05	6,76E+01	5,04E+00	7,55E-07	4,85E+00	3,77E+00	4,15E+03	5,14E-03	1,13E-03	1,38E-02	3,95E-03
Turismo Diésel EURO 5 Grande	7,65E-05	7,12E+01	5,03E+00	7,92E-07	5,61E+00	4,21E+00	4,55E+03	5,68E-03	8,02E-04	1,82E-02	5,35E-03
Turismo Gasolina EURO 5 Grande	3,23E-05	2,98E+01	2,22E+00	3,32E-07	2,18E+00	1,71E+00	1,89E+03	2,32E-03	5,06E-04	6,13E-03	1,78E-03
Turismo Diésel EURO 6 Grande	9,40E-05	8,44E+01	6,06E+00	9,34E-07	6,89E+00	5,18E+00	5,59E+03	6,91E-03	9,71E-04	2,35E-02	6,91E-03
Turismo Gasolina EURO 6 Grande	9,12E-05	8,12E+01	6,07E+00	8,98E-07	6,14E+00	4,83E+00	5,31E+03	6,47E-03	1,41E-03	1,69E-02	4,97E-03
Autobús Diésel	1,68E-05	9,74E+01	6,66E+00	1,17E-06	1,60E+00	1,22E+00	2,18E+03	5,99E-03	1,05E-03	4,00E-02	9,73E-03
Avión PEN-PEN	6,89E-05	4,44E+02	3,26E+01	5,27E-06	5,85E+00	3,60E+00	9,16E+03	1,92E-02	4,49E-03	1,26E-01	2,92E-02
Avión PEN-BAL	3,40E-05	2,37E+02	1,74E+01	2,84E-06	2,95E+00	1,79E+00	4,58E+03	9,74E-03	2,30E-03	6,90E-02	1,58E-02
Avión BAL-BAL	1,35E-06	1,07E+01	7,84E-01	1,30E-07	1,21E-01	7,27E-02	1,86E+02	4,07E-04	9,70E-05	2,76E-03	6,07E-04
Avión CAN-CAN	7,81E-06	5,93E+01	4,34E+00	7,14E-07	6,91E-01	4,18E-01	1,07E+03	2,31E-03	5,49E-04	1,49E-02	3,29E-03
Avión PEN-CAN	2,66E-05	4,39E+02	3,17E+01	5,50E-06	3,37E+00	1,79E+00	4,50E+03	1,45E-02	2,95E-03	1,20E-01	2,46E-02
Tren Larga Distancia Alta Velocidad	2,35E-04	1,11E+02	9,55E+00	5,70E-07	1,08E+01	8,77E+00	1,95E+04	1,38E-02	2,55E-03	6,30E-02	1,79E-02
Tren Media Distancia Alta Velocidad	2,32E-05	1,21E+01	1,04E+00	6,13E-08	1,10E+00	8,95E-01	2,07E+03	1,48E-03	2,78E-04	6,94E-03	1,93E-03
Tren Larga Distancia Convencional	1,72E-05	3,93E+01	3,43E+00	1,84E-07	1,90E+00	1,89E+00	5,85E+03	4,79E-03	9,39E-04	2,32E-02	5,92E-03
Tren Media Distancia Convencional	8,02E-06	2,22E+01	1,93E+00	1,03E-07	9,93E-01	9,73E-01	3,25E+03	2,62E-03	5,26E-04	1,33E-02	3,32E-03
<b>Total</b>	<b>7,95E-03</b>	<b>8,73E+03</b>	<b>6,34E+02</b>	<b>9,77E-05</b>	<b>5,66E+02</b>	<b>4,29E+02</b>	<b>4,98E+05</b>	<b>6,33E-01</b>	<b>1,27E-01</b>	<b>2,22E+00</b>	<b>6,14E-01</b>

*Tabla 43: Resultados del ACV del escenario actual normalizado.*

Atendiendo a los resultados obtenidos una vez normalizados los mismos, se observa que el vehículo privado es el que presenta un impacto significativamente mayor en todas las categorías estudiadas respecto a cualquiera de los otros transportes considerados por separado o incluso a la suma de todos ellos.

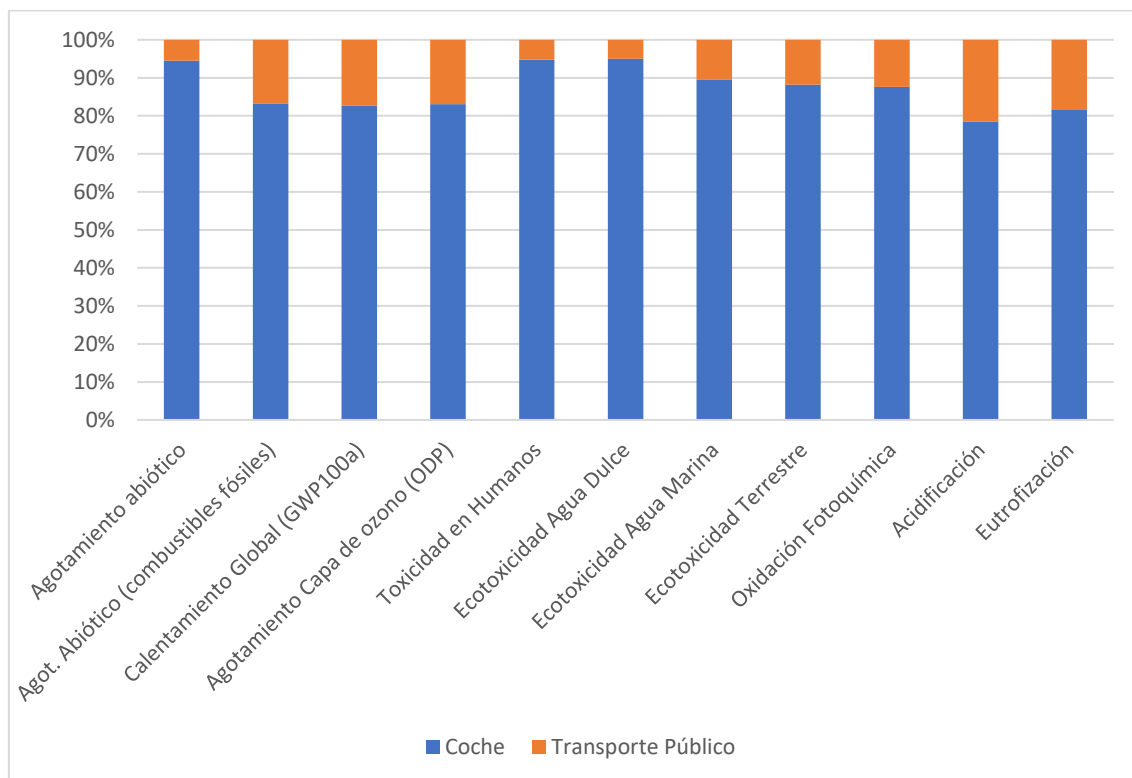


Figura 11: Comparativa de impacto entre vehículo privado y el transporte público en el escenario actual normalizado.

Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos con SimaPro con la base de datos de Ecoinvent.

Como se aprecia en la Figura 11, el coche, con un porcentaje del 67,2% respecto al total de los pkm correspondientes al escenario actual, presenta un impacto entre el 95% y el 78% en función de la categoría de impacto analizada, mientras que el transporte público, que constituye el 32,8% de los pkm contribuye entre el 22% y el 5% al impacto según la categoría.

Como se ha comentado, el turismo es el medio de transporte que, dados los niveles de ocupación considerados en el escenario actual, presenta un mayor impacto por pkm

respecto al resto de transportes públicos. Además, esta diferencia se ve agravada por ser el transporte más empleado.

Se detalla en la Figura 12 la contribución de cada proceso en las diferentes categorías porcentualmente en función de su impacto.

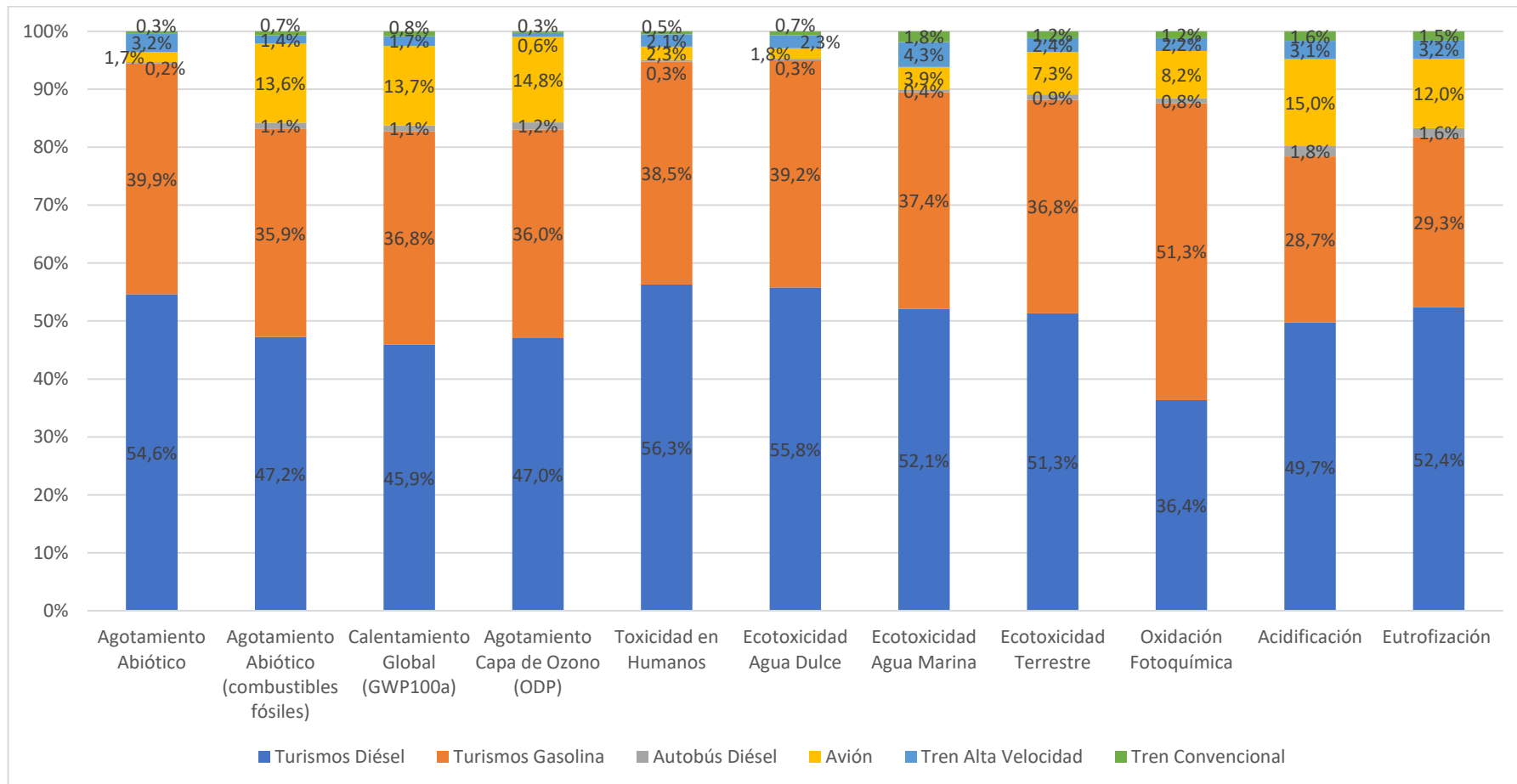


Figura 12: Resultados porcentuales de los impactos generados por tipo de transporte en el escenario actual normalizado.

Fuente: elaboración propia a partir de los resultados obtenidos en SimaPro.

#### 4.1.3.1 Vehículo privado

A partir de los resultados obtenidos para el escenario normalizado, se obtiene que la contribución de los coches diésel es superior a la de los coches de gasolina en todas las categorías salvo en la oxidación fotoquímica (Figura 13). Esto se debe a que en el escenario actual los turismos diésel representan el 58% del total de pkm correspondientes a los coches. Al igual que sucedía cuando se comparaban ambos vehículos, la proporción se mantiene similar en todas las categorías, es decir, que los coches diésel representan cerca del 60% del impacto en cada una de las categorías salvo en la oxidación fotoquímica donde, a pesar de representar únicamente el 42% de los millones de pkm, los turismos de gasolina suponen cerca del 60% del impacto correspondiente a los coches en esta categoría.

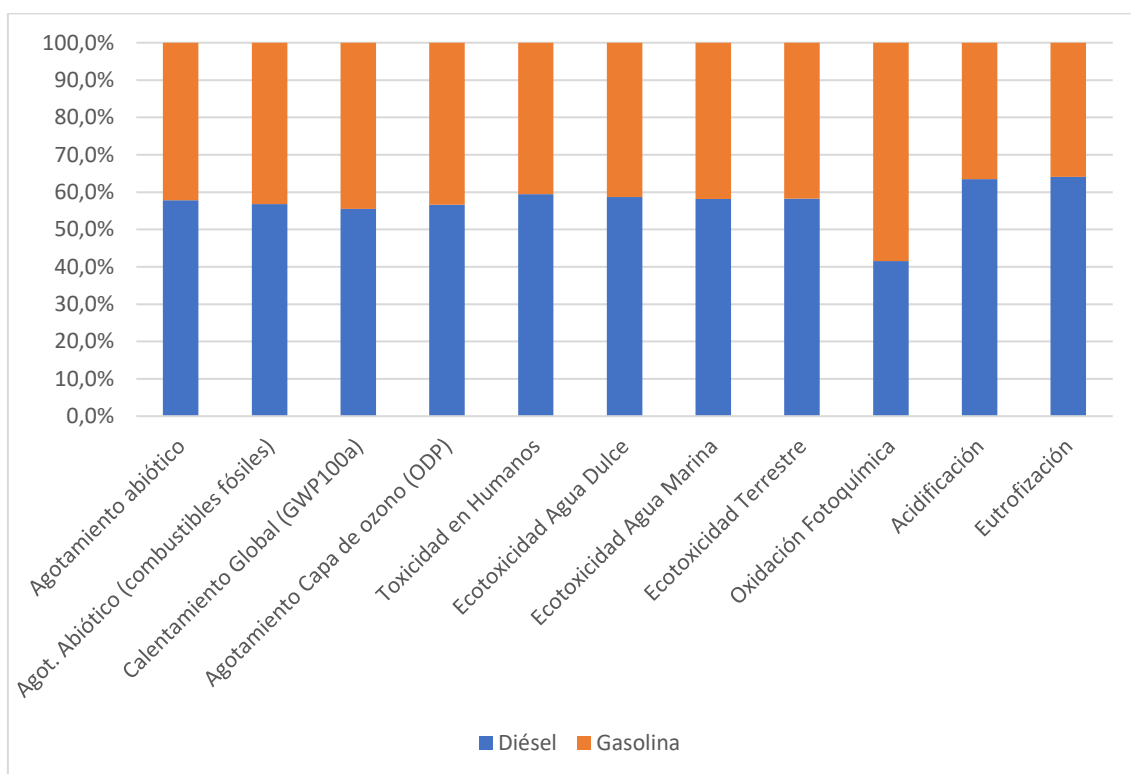


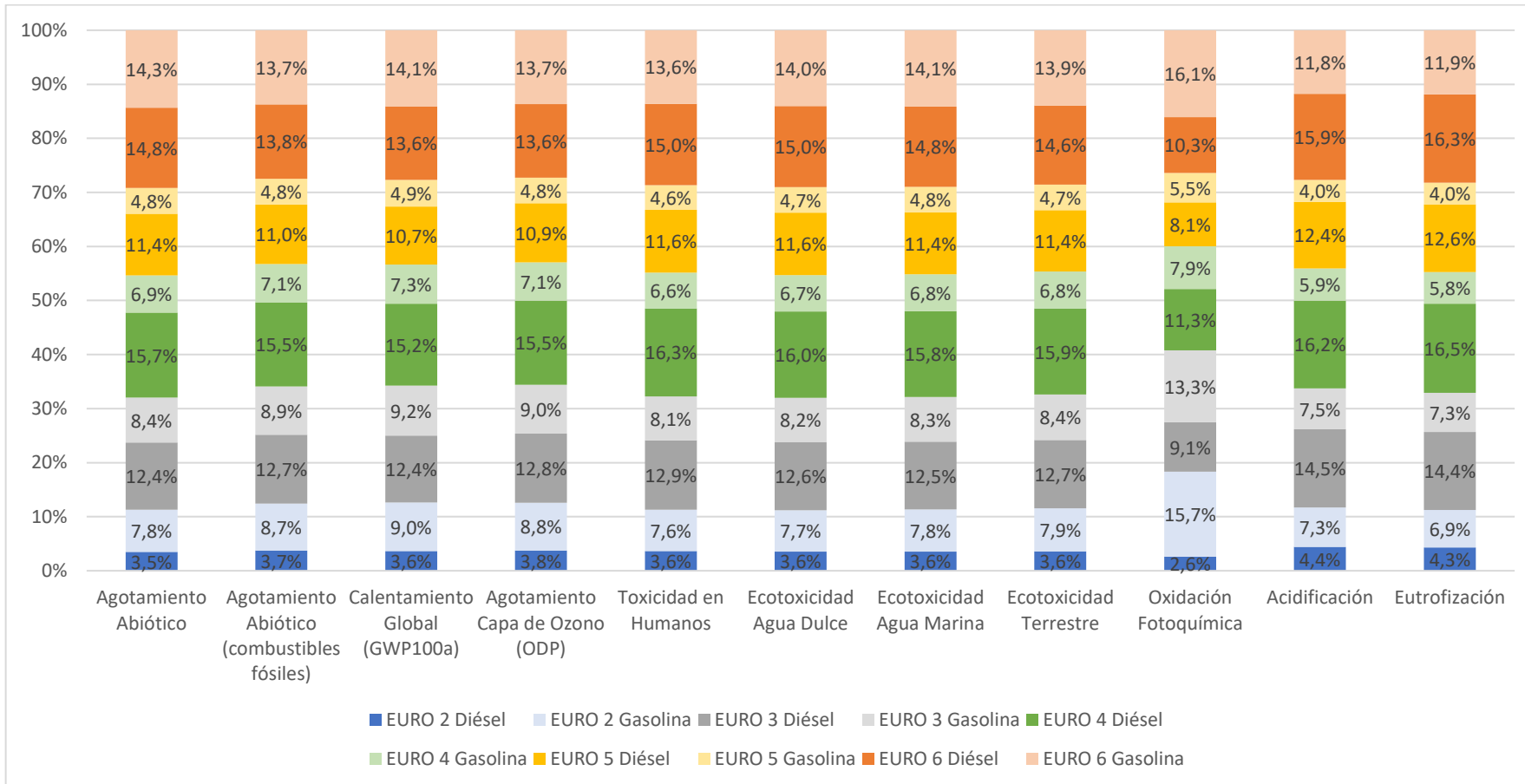
Figura 13: Comparativa coches diésel vs gasolina en el escenario actual normalizado.

Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos con SimaPro con la base de datos de Ecoinvent.



En cuanto a la comparativa entre turismos grandes y medianos, se ha analizado anteriormente que el impacto, para una misma ocupación, es, según la categoría, entre un 15% y un 20% mayor en el caso de los coches grandes. Sin embargo, en el escenario normalizado, al ser el parque de este tipo de vehículos grandes menor que el considerado para los medianos, los millones de pkm considerados son también menores y, por tanto, su contribución en las diferentes categorías de impacto es también menor.

Finalmente, en la comparativa de impacto según las normativas existentes, se espera que aquellas con un mayor volumen de pkm tengan un mayor impacto global: para los coches diésel se espera que sean las categorías EURO 4 y EURO 6, mientras que para los de gasolina serán las categorías EURO 6 y EURO 3, tal como se expone en la Figura 14 con los porcentajes de contribución de cada normativa en cada una de las categorías analizadas.



*Figura 14: Contribución de impacto porcentual de las diferentes normativas de turismos en el escenario actual.*

*Fuente: elaboración propia a partir de los resultados obtenidos en SimaPro.*

#### ***4.1.3.2 Transporte público***

Al igual que sucede con el vehículo privado, para el transporte público también se espera que aquellos modos de transporte con un mayor volumen de pasajeros transportados por kilómetro sean los que presenten una mayor contribución de impacto en cada una de las categorías. En el año 2019, el transporte que acumuló un mayor número de pkm fue el avión, tal y como se detalla en el análisis de inventario. Sin embargo, dentro de este medio de transporte se tienen en cuenta trayectos que no se pueden realizar con el resto de los transportes considerados y que, dadas las grandes distancias entre algunos de los recorridos, como sucede con los vuelos entre Península y Canarias, contribuyen notablemente a que el avión presente un volumen alto de pasajeros por kilómetro transportados. Por ello es interesante desagregar estos resultados y realizar una comparativa entre aquellos transportes que operen en territorio peninsular.

Se presenta en la Figura 15 la comparativa de contribución en porcentaje de cada medio de transporte en cada una de las diferentes categorías considerando dentro del avión únicamente los vuelos peninsulares. En esa situación, los transportes que representan un mayor porcentaje del total de millones de pasajeros por kilómetro transportados son los vuelos peninsulares, con un 31% del total, seguido del tren de alta velocidad de larga distancia con un 30%. El siguiente sería el autobús únicamente con un 16%.

Como se observa en la Figura 15, aunque representan un porcentaje elevado del total de los pkm en este escenario, los vuelos peninsulares y el tren de alta velocidad de larga distancia suponen, para cada una de las categorías de impacto analizadas, un porcentaje de contribución mayor al 61% del total de pkm que representan.

Resulta relevante destacar el gran impacto que presentan los vuelos peninsulares en las categorías de agotamiento abiótico de combustibles fósiles con un 61% del total, en el calentamiento global con un 59% y en el agotamiento de la capa de ozono con cerca de un 72%. Además, en otras categorías como la acidificación, eutrofización o la oxidación fotoquímica, la contribución es, porcentualmente, significativamente superior al porcentaje de pkm del total que representa este tipo de transporte, por lo que se puede

concluir que dentro del transporte colectivo de pasajeros, los vuelos peninsulares son los que presentan un mayor impacto a nivel global.

En cuanto al tren de alta velocidad de larga distancia se destaca el bajo porcentaje de contribución que tiene en las categorías de calentamiento global o agotamiento de la capa de ozono, con un 17,3% y un 7,7% sobre el total respectivamente, suponiendo así una significativa reducción respecto al porcentaje de pkm que representa este transporte para ambas categorías. Sin embargo, para otras categorías como el agotamiento abiótico o las ecotoxicidades de agua marina y agua dulce la contribución de este transporte es superior a la que le correspondería proporcionalmente con un 64%, 46% y 51% respectivamente. Esto se debe a que, dentro de los vehículos analizados en el transporte público, son los que presentan una mayor contribución por pkm en esas categorías de impacto y, por tanto, en el escenario normalizado su porcentaje de contribución es superior al que se corresponde con este transporte en el reparto modal.

Por su parte, el autobús presenta en las diferentes categorías una contribución igual o inferior al porcentaje sobre los millones de pkm que representa, siendo su mayor contribución en el agotamiento de la capa de ozono.

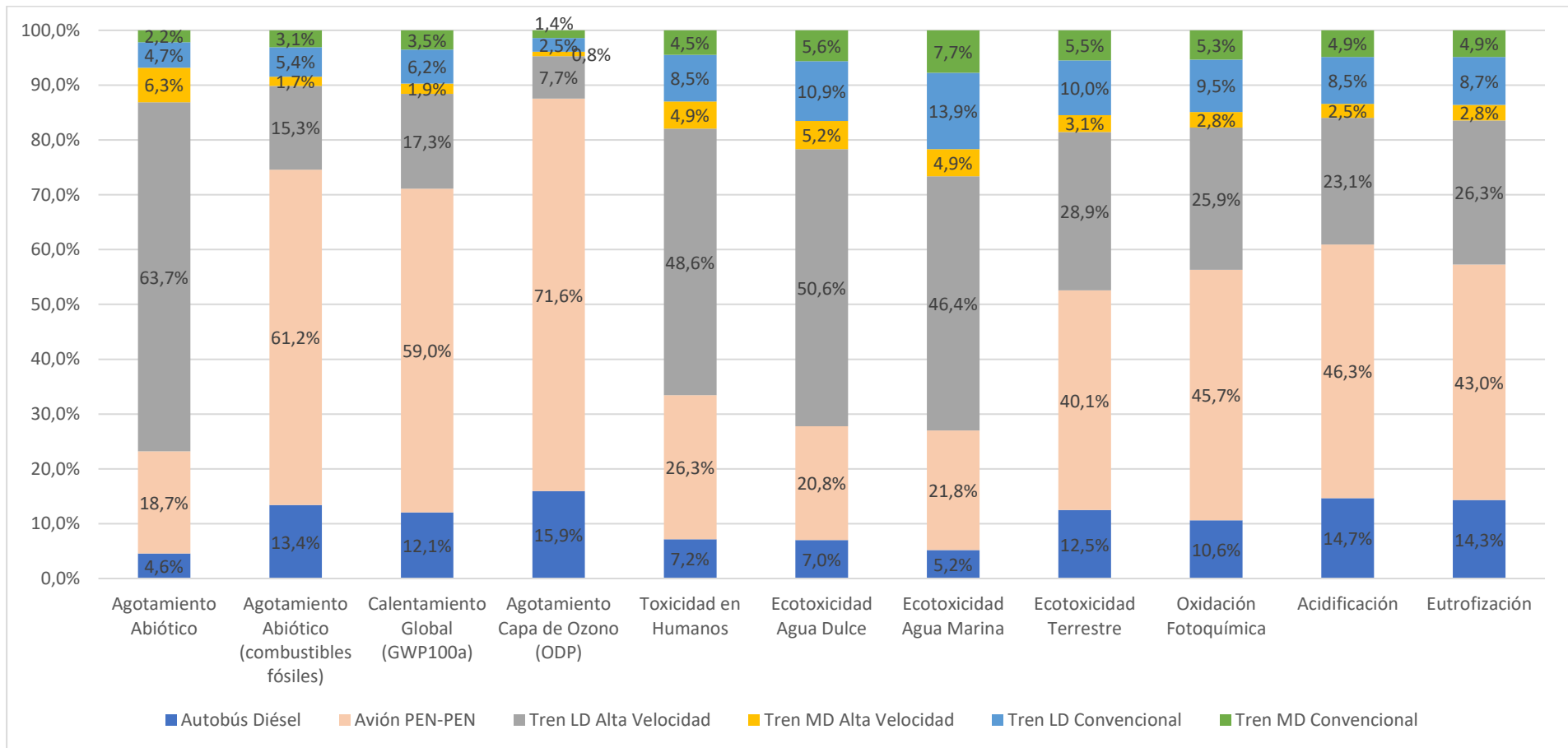
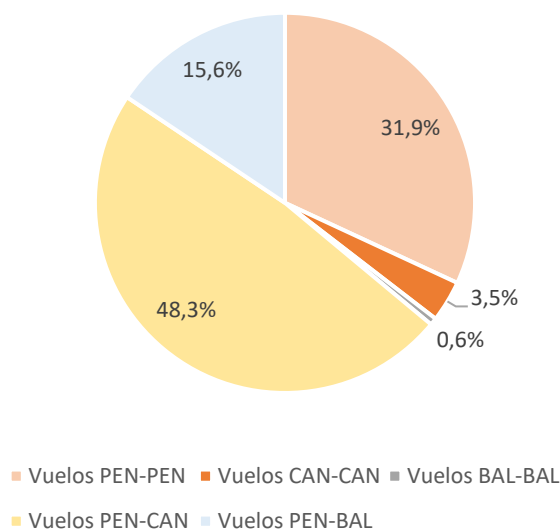


Figura 15: Contribución porcentual de impacto de los transportes públicos en el escenario actual considerando en los aviones únicamente los vuelos peninsulares.

Fuente: elaboración propia a partir de los resultados obtenidos en SimaPro.

### Comparativa de aviones

En este apartado se analiza la contribución de cada uno de los diferentes tipos de vuelo considerados en el escenario normalizado. En la Figura 16 se indica el porcentaje de pasajeros transportados por kilómetro en cada uno de los recorridos analizados, donde se observa que cerca del 50% corresponde con los vuelos entre Península y Canarias y el 32% con los vuelos peninsulares, por lo que se espera que ambos tipos de vuelo presenten el mayor impacto en el escenario normalizado.



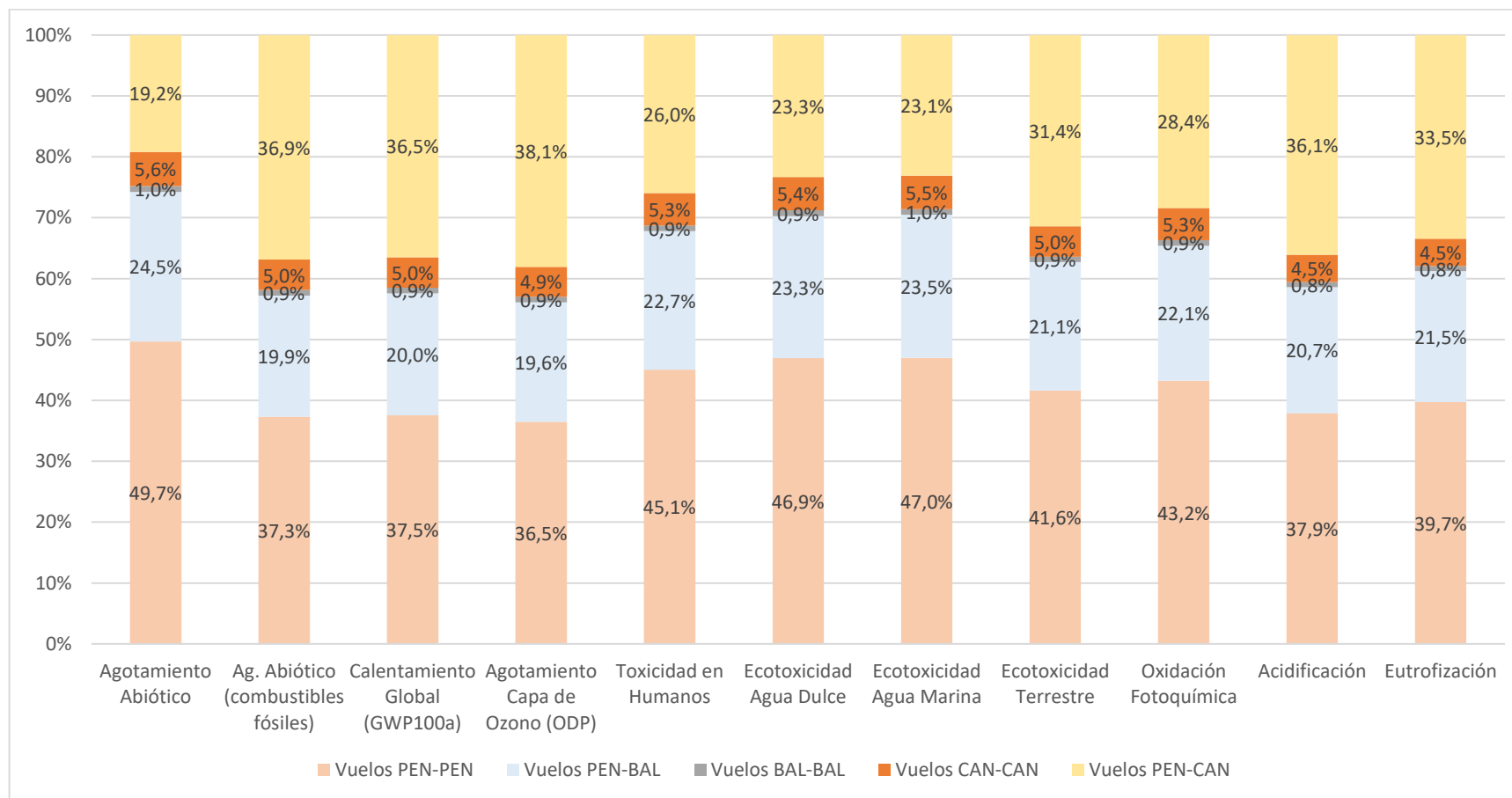
*Figura 16: Reparto porcentual de los millones de pasajeros por km transportados en avión según el tipo de trayecto.*

*Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de Aena.*

No obstante, tal como se presenta en la Figura 17, los vuelos entre Península y Canarias, pese a representar cerca del 50% del total de pkm correspondientes al transporte aéreo únicamente representan, de media, el 30% del impacto total en las diferentes categorías analizadas. Esto se debe, como se ha desarrollado anteriormente, a que el impacto por pkm en recorridos de mayores distancias se reduce significativamente en comparación con los vuelos de menor trayecto recorrido, por lo que, al convertirlo al escenario

normalizado, pese a representar un porcentaje amplio de pkm, el porcentaje de impacto, sin embargo, se ve reducido en comparación con los otros vuelos.

Por su parte, los vuelos con origen y destino peninsular en territorio nacional representan un porcentaje medio de impacto en todas las categorías superior al que correspondería proporcionalmente al número de pkm que representa dentro del transporte aéreo con un 42% del impacto total causado por la aviación. Sucede lo mismo para el resto de los vuelos considerados, aumentando su porcentaje de impacto respecto al porcentaje que representan del reparto de pasajeros transportados por kilómetro siendo este aumento más acusado para el caso de los vuelos insulares ya que el impacto por pkm en este tipo de trayectos es superior al de aquellos vuelos con recorridos más largos.



*Figura 17: Contribución porcentual del impacto generado por tipo de vuelo en el escenario actual.*

*Fuente: elaboración propia a partir de los resultados obtenidos en SimaPro.*



## **4.2 ESCENARIO FUTURO**

Se analizan en este apartado cada uno de los diferentes escenarios considerados para el año 2030, presentándose los resultados para todos ellos ya normalizados por habitante en el mencionado año. Esto permite realizar una comparativa entre las diferentes medidas consideradas en cada uno de los mismos.

En todos ellos se han estimado los mismos niveles de ocupación para cada uno de los transportes, siendo la principal medida adoptada en cada escenario las siguientes:

- Escenario 1: renovación del parque de turismos.
  - Se considera en este escenario la renovación del parque de turismos con la retirada de los más antiguos para este tipo de desplazamientos.
- Escenario 2: introducción de nuevas tecnologías.
  - Además de la renovación del parque de turismos se ha considerado la entrada de nuevas tecnologías en los desplazamientos por coche y autobús.
- Escenario 3: cambio en el reparto modal.
  - Se han incluido las medidas adoptadas en el segundo escenario e incorporando, además, una tercera medida consistente en un cambio en el reparto modal de los pasajeros transportados por kilómetro en favor de los transportes colectivos frente al vehículo privado.

Se presentan en la Figura 18 los resultados obtenidos para el primero de los escenarios futuros contemplados donde, como se observa, el porcentaje de impacto en todas las categorías sigue dominado por el vehículo privado. No obstante, como se detallará más adelante, pese a considerar el mismo reparto modal que en el escenario actual, únicamente con la retirada de los vehículos más antiguos (normativa EURO 4 y anteriores), se consigue una reducción del porcentaje de contribución del vehículo privado en todas las categorías.

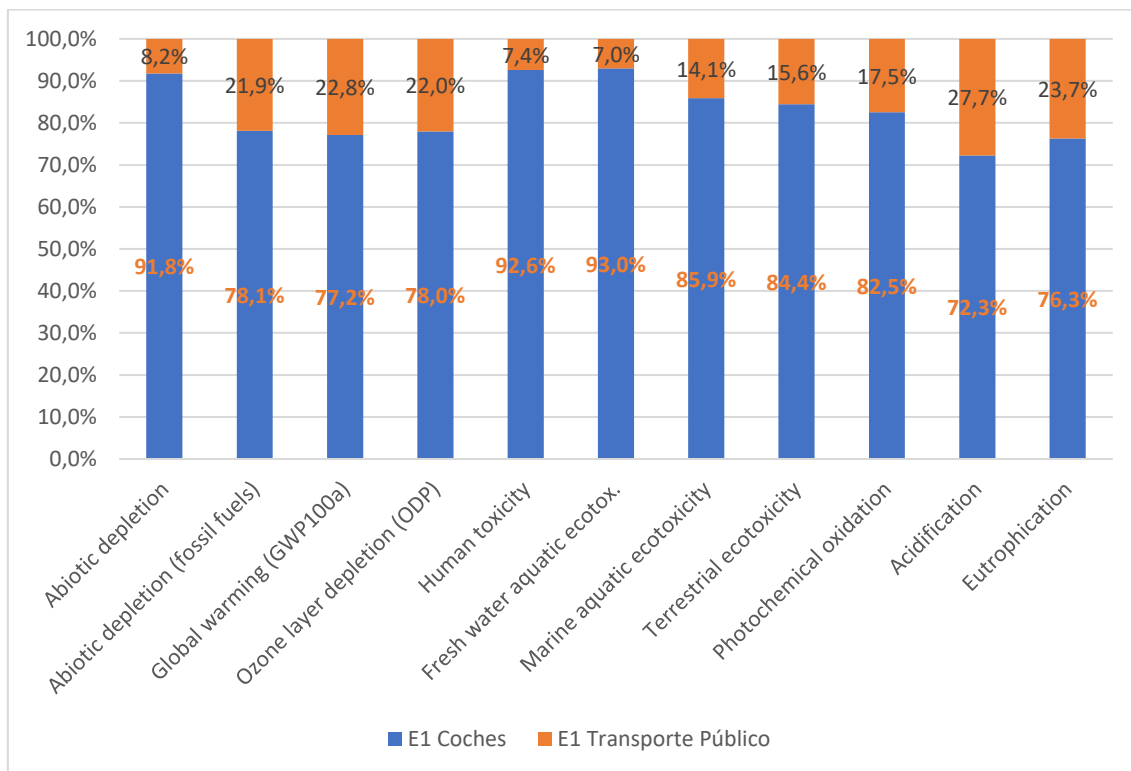


Figura 18: Comparativa del impacto generado por los coches frente al transporte público en el escenario futuro 1.

Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos con SimaPro con la base de datos de Ecoinvent.

Resulta también relevante comparar estos porcentajes globales de contribución en cada una de las categorías entre los escenarios futuros 1 y 3, ya que en este último es donde se produce un cambio en el reparto modal respecto a los otros dos escenarios. Se presentan en la Figura 19 estos resultados correspondientes al tercero de los escenarios.

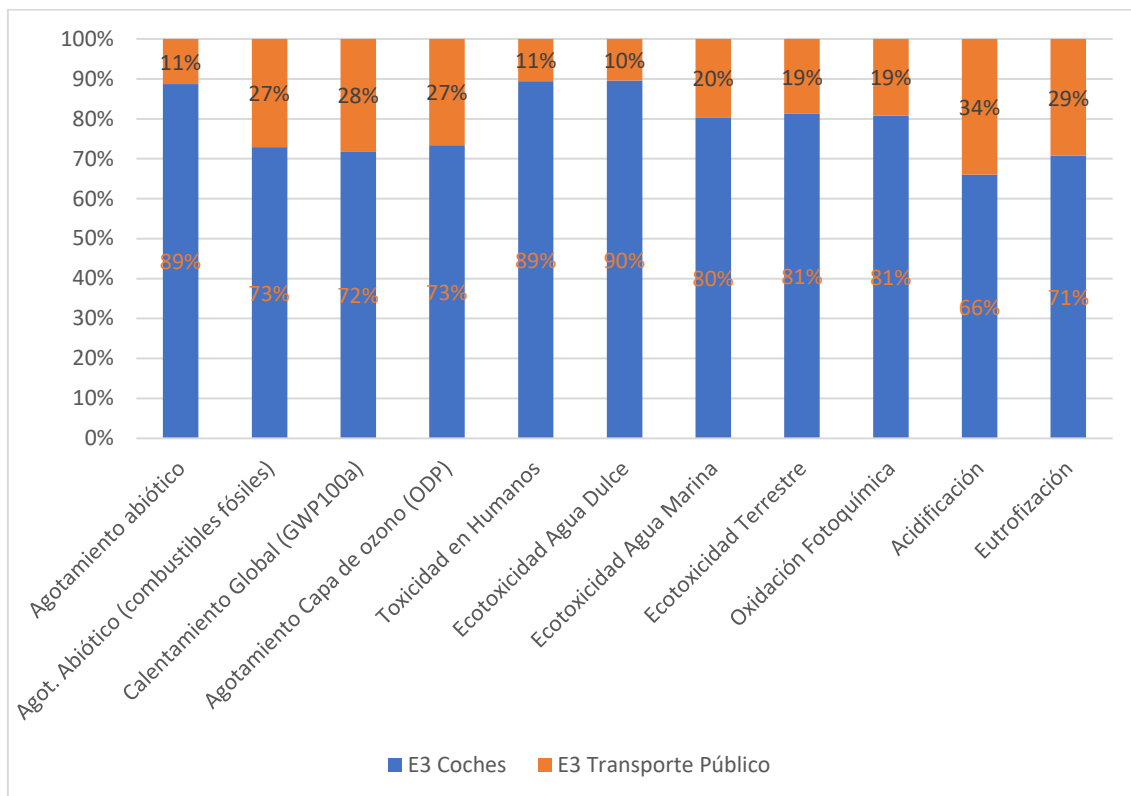


Figura 19: Comparativa del impacto generado por los coches frente al transporte público en el escenario futuro 3.

Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos con SimaPro con la base de datos de Ecoinvent.

Para este tercer escenario, el cambio modal del porcentaje de pasajeros transportados por kilómetro que pasa del vehículo privado al transporte público es del 9,4%, siendo aún el porcentaje total aportado por los coches del 58,1%. Como se observa en la Figura 19, el vehículo privado sigue siendo el gran dominador de los impactos en cada una de las categorías, pero existe una reducción notable del porcentaje aportado por el mismo en función de la categoría de impacto (entre el 3,1% y el 6,3%) además de la reducción que se produce en valores absolutos en cada categoría y que se muestra en la Tabla 44, la Tabla 45, y la Tabla 46.

Se considera también relevante establecer una comparativa de los diferentes escenarios futuros planteados en términos absolutos, analizando cómo se ve afectada cada una de las categorías en función de las medidas adoptadas en cada caso.

Se presentan los resultados de la comparativa en la Figura 20, donde se presentan los valores estableciendo, para cada una de las categorías de impacto, el escenario que tiene un mayor impacto en valores absolutos y que representa el 100%, estando el porcentaje de los otros dos escenarios representados en función de este.

En la Figura 20 se observa que, en todas las categorías, son los escenarios 1 y 2 los que presentan el mayor impacto mientras que el escenario 3 es el que presenta menores impactos en términos generales.

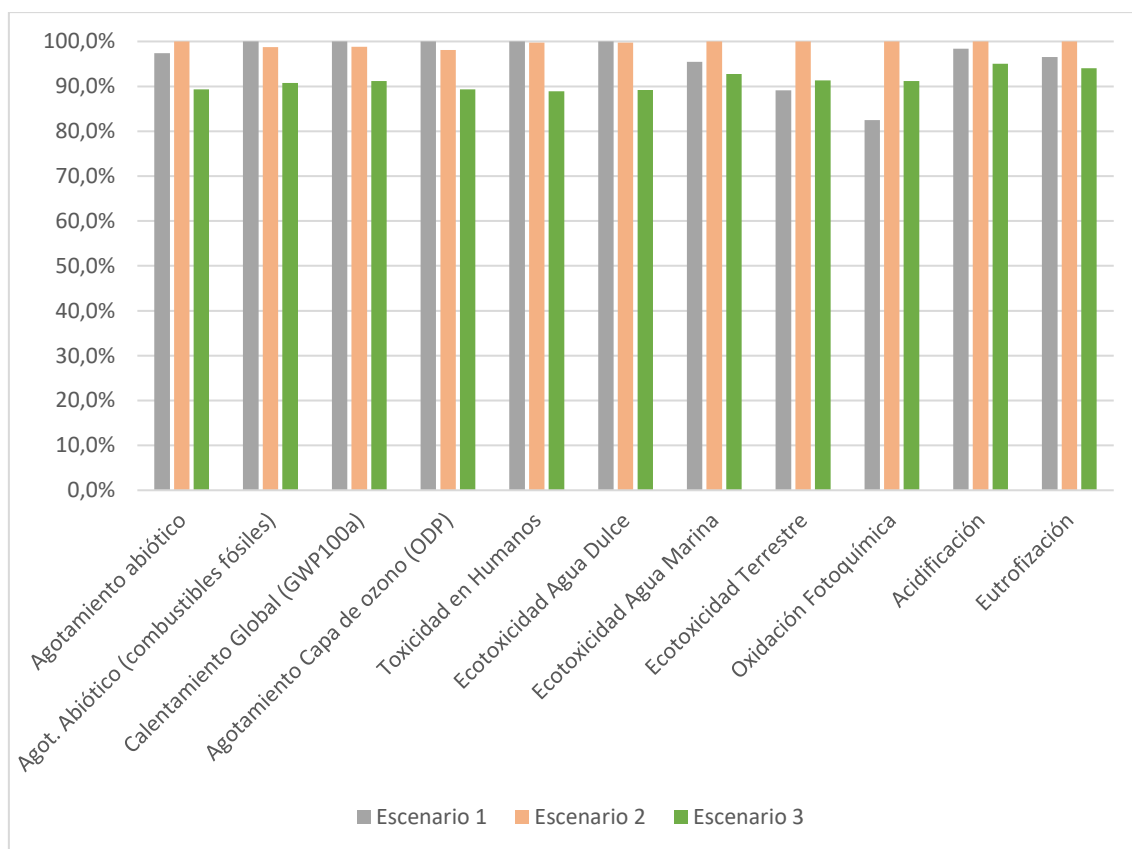


Figura 20: Comparativa global del impacto generado en los tres escenarios futuros considerados.

Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos con SimaPro con la base de datos de Ecoinvent.

Los escenarios 1 y 2 presentan en la mayoría de las categorías valores similares ya que en ambos escenarios se contempla un mismo reparto modal de los diferentes transportes considerados con la diferencia de la introducción del coche eléctrico y el autobús de gas natural para el segundo de los escenarios.

Principalmente por el coche eléctrico, que presenta una menor contribución en las categorías de agotamiento abiótico (combustibles fósiles) y de calentamiento global que los coches diésel y gasolina, el escenario 2 presenta un impacto menor en estas categorías. Sin embargo, este mismo transporte presenta para las categorías de oxidación fotoquímica y ecotoxicidad terrestre un impacto significativamente mayor que el resto de los turismos considerados. De hecho, considerando únicamente para los escenarios normalizados 1 y 2 los valores correspondientes a los coches, el escenario 1 presenta un impacto un 20% inferior al 2 en la oxidación fotoquímica y un 13% inferior también en la ecotoxicidad terrestre.

Por su parte el escenario 3 presenta para todas las categorías un valor inferior, estando comprendidos los impactos para todas ellas entre un 5% y un 11,1% menor que el escenario con mayor impacto en cada categoría. Destaca una reducción importante, cercana al 10%, en el agotamiento abiótico (combustibles fósiles), calentamiento global y agotamiento de la capa de ozono en el tercer escenario provocados principalmente por un cambio en el reparto modal con un menor uso del vehículo privado en el transporte terrestre en favor del autobús y del tren.

Se presentan en las tablas a continuación (Tabla 44, Tabla 45, Tabla 46) los resultados de los tres escenarios futuros normalizados.

	Categoría de impacto										
	Agotamiento Abiótico	Agotamiento Abiótico Combustibles Fósiles	Calentamiento Global (GWP100a)	Agotamiento Capa de Ozono (ODP)	Toxicidad en Humanos	Ecotoxicidad Agua Dulce	Ecotoxicidad Agua Marina	Ecotoxicidad Terrestre	Oxidación Fotoquímica	Acidificación	Eutrofización
Tipo de transporte	kg Sb eq/hab	MJ/hab	kg CO2 eq/hab	kg CFC-11 eq/hab	kg 1,4-DB eq/hab	kg 1,4-DB eq/hab	kg 1,4-DB eq/hab	kg 1,4-DB eq/hab	kg C2H4 eq/hab	kg SO2 eq/hab	kg PO4 eq/hab
Turismo Diésel EURO 5 Mediano	5,66E-04	5,39E+02	3,73E+01	6,01E-06	4,13E+01	3,12E+01	3,38E+04	4,23E-02	6,00E-03	1,45E-01	4,20E-02
Turismo Gasolina EURO 5 Mediano	2,39E-04	2,34E+02	1,71E+01	2,62E-06	1,63E+01	1,27E+01	1,41E+04	1,75E-02	4,08E-03	4,72E-02	1,34E-02
Turismo Diésel EURO 6 Mediano	2,33E-03	2,22E+03	1,51E+02	2,48E-05	1,70E+02	1,29E+02	1,39E+05	1,74E-01	2,47E-02	5,96E-01	1,73E-01
Turismo Gasolina EURO 6 Mediano	2,27E-03	2,14E+03	1,56E+02	2,38E-05	1,54E+02	1,20E+02	1,33E+05	1,64E-01	3,82E-02	4,37E-01	1,26E-01
Turismo Diésel EURO 5 Grande	5,57E-05	5,26E+01	3,67E+00	5,86E-07	4,09E+00	3,07E+00	3,32E+03	4,15E-03	5,87E-04	1,33E-02	3,90E-03
Turismo Gasolina EURO 5 Grande	2,35E-05	2,20E+01	1,62E+00	2,45E-07	1,59E+00	1,25E+00	1,37E+03	1,69E-03	3,70E-04	4,50E-03	1,30E-03
Turismo Diésel EURO 6 Grande	2,16E-04	2,04E+02	1,40E+01	2,27E-06	1,59E+01	1,19E+01	1,29E+04	1,60E-02	2,27E-03	5,50E-02	1,60E-02
Turismo Gasolina EURO 6 Grande	2,10E-04	1,96E+02	1,41E+01	2,19E-06	1,42E+01	1,11E+01	1,23E+04	1,51E-02	3,30E-03	4,01E-02	1,16E-02
Autobús Diésel	1,70E-05	9,83E+01	6,73E+00	1,18E-06	1,61E+00	1,23E+00	2,20E+03	6,05E-03	1,06E-03	4,03E-02	9,82E-03
Avión PEN-PEN	7,37E-05	4,75E+02	3,49E+01	5,64E-06	6,26E+00	3,85E+00	9,80E+03	2,05E-02	4,81E-03	1,35E-01	3,13E-02
Avión PEN-BAL	3,63E-05	2,54E+02	1,86E+01	3,04E-06	3,16E+00	1,92E+00	4,89E+03	1,04E-02	2,46E-03	7,38E-02	1,69E-02
Avión BAL-BAL	1,43E-06	1,14E+01	8,34E-01	1,38E-07	1,29E-01	7,73E-02	1,98E+02	4,32E-04	1,03E-04	2,93E-03	6,45E-04
Avión CAN-CAN	8,25E-06	6,26E+01	4,59E+00	7,54E-07	7,30E-01	4,42E-01	1,13E+03	2,44E-03	5,80E-04	1,58E-02	3,48E-03
Avión PEN-CAN	2,84E-05	4,68E+02	3,38E+01	5,86E-06	3,60E+00	1,91E+00	4,80E+03	1,55E-02	3,15E-03	1,29E-01	2,62E-02

Tren Larga Distancia Alta Velocidad	2,40E-04	1,13E+02	9,74E+00	5,81E-07	1,11E+01	8,94E+00	1,98E+04	1,41E-02	2,60E-03	6,42E-02	1,82E-02
Tren Media Distancia Alta Velocidad	1,11E-04	5,80E+01	4,99E+00	2,94E-07	5,28E+00	4,29E+00	9,94E+03	7,10E-03	1,33E-03	3,33E-02	9,25E-03
Tren Larga Distancia Convencional	3,77E-06	8,59E+00	7,49E-01	4,02E-08	4,16E-01	4,14E-01	1,28E+03	1,05E-03	2,05E-04	5,07E-03	1,30E-03
Tren Media Distancia Convencional	8,24E-06	2,29E+01	1,98E+00	1,06E-07	1,02E+00	1,00E+00	3,34E+03	2,69E-03	5,40E-04	1,37E-02	3,41E-03
<b>TOTAL</b>	<b>6,44E-03</b>	<b>7,18E+03</b>	<b>5,12E+02</b>	<b>8,02E-05</b>	<b>4,51E+02</b>	<b>3,44E+02</b>	<b>4,07E+05</b>	<b>5,15E-01</b>	<b>9,63E-02</b>	<b>1,85E+00</b>	<b>5,08E-01</b>

*Tabla 44: Resultados del ACV del escenario futuro 1 normalizado.*

*Fuente: elaboración propia a partir de los resultados obtenidos en SimaPro.*

	Categoría de impacto										
	Agotamiento Abiótico	Agotamiento Abiótico Combustibles Fósiles	Calentamiento Global (GWP100a)	Agotamiento Capa de Ozono (ODP)	Toxicidad en Humanos	Ecotoxicidad Agua Dulce	Ecotoxicidad Agua Marina	Ecotoxicidad Terrestre	Oxidación Fotoquímica	Acidificación	Eutrofización
Tipo de transporte	kg Sb eq/hab	MJ/hab	kg CO2 eq/hab	kg CFC-11 eq/hab	kg 1,4-DB eq/hab	kg 1,4-DB eq/hab	kg 1,4-DB eq/hab	kg 1,4-DB eq/hab	kg C2H4 eq/hab	kg SO2 eq/hab	kg PO4 eq/hab
Turismo Diésel EURO 5 Mediano	5,38E-04	5,12E+02	3,55E+01	5,71E-06	3,92E+01	2,97E+01	3,21E+04	4,02E-02	5,70E-03	1,37E-01	3,99E-02
Turismo Gasolina EURO 5 Mediano	2,27E-04	2,22E+02	1,63E+01	2,49E-06	1,55E+01	1,21E+01	1,34E+04	1,66E-02	3,88E-03	4,48E-02	1,28E-02
Turismo Diésel EURO 6 Mediano	2,22E-03	2,11E+03	1,43E+02	2,35E-05	1,62E+02	1,22E+02	1,32E+05	1,65E-01	2,35E-02	5,66E-01	1,65E-01
Turismo Gasolina EURO 6 Mediano	2,15E-03	2,03E+03	1,49E+02	2,26E-05	1,46E+02	1,14E+02	1,26E+05	1,56E-01	3,63E-02	4,15E-01	1,20E-01
Turismo Diésel EURO 5 Grande	5,29E-05	4,99E+01	3,48E+00	5,57E-07	3,88E+00	2,92E+00	3,15E+03	3,94E-03	5,57E-04	1,27E-02	3,71E-03
Turismo Gasolina EURO 5 Grande	2,23E-05	2,09E+01	1,54E+00	2,33E-07	1,51E+00	1,19E+00	1,31E+03	1,61E-03	3,52E-04	4,27E-03	1,23E-03
Turismo Diésel EURO 6 Grande	2,05E-04	1,94E+02	1,33E+01	2,16E-06	1,51E+01	1,13E+01	1,22E+04	1,52E-02	2,16E-03	5,22E-02	1,52E-02
Turismo Gasolina EURO 6 Grande	1,99E-04	1,86E+02	1,34E+01	2,08E-06	1,35E+01	1,06E+01	1,16E+04	1,43E-02	3,13E-03	3,81E-02	1,10E-02
Turismo Eléctrico	4,66E-04	1,89E+02	1,37E+01	1,64E-06	1,96E+01	1,50E+01	3,69E+04	8,49E-02	2,44E-02	9,90E-02	3,84E-02
Autobús Diésel	1,53E-05	8,85E+01	6,06E+00	1,07E-06	1,45E+00	1,11E+00	1,98E+03	5,44E-03	9,51E-04	3,63E-02	8,84E-03
Autobús Gas Natural	3,38E-06	1,07E+01	5,86E-01	9,37E-08	2,39E-01	1,68E-01	2,68E+02	5,01E-04	1,52E-04	1,66E-03	2,92E-04
Avión PEN-PEN	7,37E-05	4,75E+02	3,49E+01	5,64E-06	6,26E+00	3,85E+00	9,80E+03	2,05E-02	4,81E-03	1,35E-01	3,13E-02
Avión PEN-BAL	3,63E-05	2,54E+02	1,86E+01	3,04E-06	3,16E+00	1,92E+00	4,89E+03	1,04E-02	2,46E-03	7,38E-02	1,69E-02
Avión BAL-BAL	1,43E-06	1,14E+01	8,34E-01	1,38E-07	1,29E-01	7,73E-02	1,98E+02	4,32E-04	1,03E-04	2,93E-03	6,45E-04



Avión CAN-CAN	8,25E-06	6,26E+01	4,59E+00	7,54E-07	7,30E-01	4,42E-01	1,13E+03	2,44E-03	5,80E-04	1,58E-02	3,48E-03
Avión PEN-CAN	2,84E-05	4,68E+02	3,38E+01	5,86E-06	3,60E+00	1,91E+00	4,80E+03	1,55E-02	3,15E-03	1,29E-01	2,62E-02
Tren Larga Distancia Alta Velocidad	2,40E-04	1,13E+02	9,74E+00	5,81E-07	1,11E+01	8,94E+00	1,98E+04	1,41E-02	2,60E-03	6,42E-02	1,82E-02
Tren Media Distancia Alta Velocidad	1,11E-04	5,80E+01	4,99E+00	2,94E-07	5,28E+00	4,29E+00	9,94E+03	7,10E-03	1,33E-03	3,33E-02	9,25E-03
Tren Larga Distancia Convencional	3,77E-06	8,59E+00	7,49E-01	4,02E-08	4,16E-01	4,14E-01	1,28E+03	1,05E-03	2,05E-04	5,07E-03	1,30E-03
Tren Media Distancia Convencional	8,24E-06	2,29E+01	1,98E+00	1,06E-07	1,02E+00	1,00E+00	3,34E+03	2,69E-03	5,40E-04	1,37E-02	3,41E-03
<b>TOTAL</b>	<b>6,61E-03</b>	<b>7,09E+03</b>	<b>5,06E+02</b>	<b>7,86E-05</b>	<b>4,50E+02</b>	<b>3,43E+02</b>	<b>4,27E+05</b>	<b>5,78E-01</b>	<b>1,17E-01</b>	<b>1,88E+00</b>	<b>5,26E-01</b>

*Tabla 45: Resultados del ACV del escenario futuro 2 normalizado.*

*Fuente: elaboración propia a partir de los resultados obtenidos en SimaPro.*

	Categoría de impacto										
	Agotamiento Abiótico	Agotamiento Abiótico Combustibles Fósiles	Calentamiento Global (GWP100a)	Agotamiento Capa de Ozono (ODP)	Toxicidad en Humanos	Ecotoxicidad Agua Dulce	Ecotoxicidad Agua Marina	Ecotoxicidad Terrestre	Oxidación Fotoquímica	Acidificación	Eutrofización
Tipo de transporte	kg Sb eq/hab	MJ/hab	kg CO2 eq/hab	kg CFC-11 eq/hab	kg 1,4-DB eq/hab	kg 1,4-DB eq/hab	kg 1,4-DB eq/hab	kg 1,4-DB eq/hab	kg C2H4 eq/hab	kg SO2 eq/hab	kg PO4 eq/hab
Turismo Diésel EURO 5 Mediano	4,63E-04	4,41E+02	3,06E+01	4,92E-06	3,38E+01	2,55E+01	2,77E+04	3,46E-02	4,91E-03	1,18E-01	3,44E-02
Turismo Gasolina EURO 5 Mediano	1,96E-04	1,91E+02	1,40E+01	2,14E-06	1,34E+01	1,04E+01	1,15E+04	1,43E-02	3,34E-03	3,86E-02	1,10E-02
Turismo Diésel EURO 6 Mediano	1,91E-03	1,82E+03	1,24E+02	2,03E-05	1,39E+02	1,05E+02	1,14E+05	1,42E-01	2,02E-02	4,88E-01	1,42E-01
Turismo Gasolina EURO 6 Mediano	1,85E-03	1,75E+03	1,28E+02	1,95E-05	1,26E+02	9,84E+01	1,09E+05	1,34E-01	3,12E-02	3,57E-01	1,03E-01
Turismo Diésel EURO 5 Grande	4,56E-05	4,30E+01	3,00E+00	4,79E-07	3,34E+00	2,51E+00	2,71E+03	3,39E-03	4,80E-04	1,09E-02	3,19E-03
Turismo Gasolina EURO 5 Grande	1,92E-05	1,80E+01	1,33E+00	2,01E-07	1,30E+00	1,02E+00	1,12E+03	1,39E-03	3,03E-04	3,68E-03	1,06E-03
Turismo Diésel EURO 6 Grande	1,77E-04	1,67E+02	1,15E+01	1,86E-06	1,30E+01	9,74E+00	1,05E+04	1,31E-02	1,86E-03	4,50E-02	1,31E-02
Turismo Gasolina EURO 6 Grande	1,72E-04	1,61E+02	1,15E+01	1,79E-06	1,16E+01	9,10E+00	1,00E+04	1,24E-02	2,70E-03	3,28E-02	9,46E-03
Turismo Eléctrico	4,02E-04	1,63E+02	1,18E+01	1,41E-06	1,69E+01	1,29E+01	3,18E+04	7,31E-02	2,10E-02	8,52E-02	3,30E-02
Autobús Diésel	2,69E-05	1,55E+02	1,06E+01	1,87E-06	2,55E+00	1,94E+00	3,47E+03	9,55E-03	1,67E-03	6,37E-02	1,55E-02
Autobús Gas Natural	5,94E-06	1,88E+01	1,03E+00	1,64E-07	4,19E-01	2,95E-01	4,69E+02	8,80E-04	2,66E-04	2,91E-03	5,12E-04
Avión PEN-PEN	7,37E-05	4,75E+02	3,49E+01	5,64E-06	6,26E+00	3,85E+00	9,80E+03	2,05E-02	4,81E-03	1,35E-01	3,13E-02
Avión PEN-BAL	3,63E-05	2,54E+02	1,86E+01	3,04E-06	3,16E+00	1,92E+00	4,89E+03	1,04E-02	2,46E-03	7,38E-02	1,69E-02
Avión BAL-BAL	1,43E-06	1,14E+01	8,34E-01	1,38E-07	1,29E-01	7,73E-02	1,98E+02	4,32E-04	1,03E-04	2,93E-03	6,45E-04

Avión CAN-CAN	8,25E-06	6,26E+01	4,59E+00	7,54E-07	7,30E-01	4,42E-01	1,13E+03	2,44E-03	5,80E-04	1,58E-02	3,48E-03
Avión PEN-CAN	2,84E-05	4,68E+02	3,38E+01	5,86E-06	3,60E+00	1,91E+00	4,80E+03	1,55E-02	3,15E-03	1,29E-01	2,62E-02
Tren Larga Distancia Alta Velocidad	4,01E-04	1,89E+02	1,63E+01	9,72E-07	1,85E+01	1,50E+01	3,32E+04	2,36E-02	4,35E-03	1,07E-01	3,05E-02
Tren Media Distancia Alta Velocidad	4,28E-05	2,23E+01	1,92E+00	1,13E-07	2,03E+00	1,65E+00	3,83E+03	2,73E-03	5,13E-04	1,28E-02	3,56E-03
Tren Larga Distancia Convencional	2,94E-05	6,70E+01	5,84E+00	3,14E-07	3,24E+00	3,23E+00	9,98E+03	8,18E-03	1,60E-03	3,96E-02	1,01E-02
Tren Media Distancia Convencional	1,48E-05	4,10E+01	3,55E+00	1,90E-07	1,83E+00	1,79E+00	5,98E+03	4,83E-03	9,70E-04	2,45E-02	6,12E-03
<b>TOTAL</b>	<b>5,91E-03</b>	<b>6,51E+03</b>	<b>4,67E+02</b>	<b>7,16E-05</b>	<b>4,01E+02</b>	<b>3,07E+02</b>	<b>3,96E+05</b>	<b>5,28E-01</b>	<b>1,06E-01</b>	<b>1,79E+00</b>	<b>4,95E-01</b>

*Tabla 46: Resultados del ACV del escenario futuro 3 normalizado.*

*Fuente: elaboración propia a partir de los resultados obtenidos en SimaPro.*

#### **4.2.1 COMPARATIVA DEL VEHÍCULO PRIVADO EN ESCENARIOS FUTUROS**

Como se ha comentado, para los dos primeros escenarios futuros planteados, se ha considerado el mismo reparto modal, por lo que resulta interesante realizar un análisis más en profundidad con la contribución realizada por cada uno de los tipos de vehículos en cada uno de los escenarios normalizados.

El reparto de los pasajeros por kilómetro en los coches se ha realizado proporcionalmente al parque nacional de vehículos estimado para el año 2030, considerando en el segundo y tercer escenarios que se ha desarrollado la infraestructura necesaria para que los vehículos eléctricos puedan realizar este tipo de trayectos sin inconvenientes, tal y como se ha estipulado en el análisis de inventario.

Por este motivo, como se observa en la Figura 21 y Figura 22, los modelos de la normativa EURO 6 son los que presentan una mayor contribución en ambos escenarios normalizados ya que suponen el mayor porcentaje del parque de vehículos. Además, los coches diésel presentan un mayor impacto por esta misma razón, ya que son los turismos más empleados en este tipo de desplazamientos, aunque para la categoría EURO 6 existe proporcionalmente menos diferencia que en la normativa EURO 5 entre el impacto provocado por los coches diésel frente a los de gasolina ya que, a partir de los pronósticos revisados, se proyecta un crecimiento de los turismos de gasolina durante esta década.

Para el escenario 2, los impactos de todos los modelos disminuyen ya que se tiene en cuenta el vehículo eléctrico dentro del reparto modal también. Representado en color verde, se observa cómo el vehículo eléctrico contribuye ligeramente a la reducción del impacto total provocado por los turismos para algunas de las categorías analizadas, como son el agotamiento abiótico de combustibles fósiles, el calentamiento global o el agotamiento de la capa de ozono. Esta reducción no es tan notable ya que los coches eléctricos suponen un porcentaje reducido sobre el total del parque empleado en estos desplazamientos. Sin embargo, en otras categorías, a pesar de ello, sí que presentan una

importante contribución tal como se observa a continuación. Algunas de estas categorías son la ecotoxicidad terrestre o la oxidación fotoquímica.

En el tercer escenario futuro se produce una reducción del impacto debido a la reducción del vehículo privado en el reparto modal considerado para este escenario.

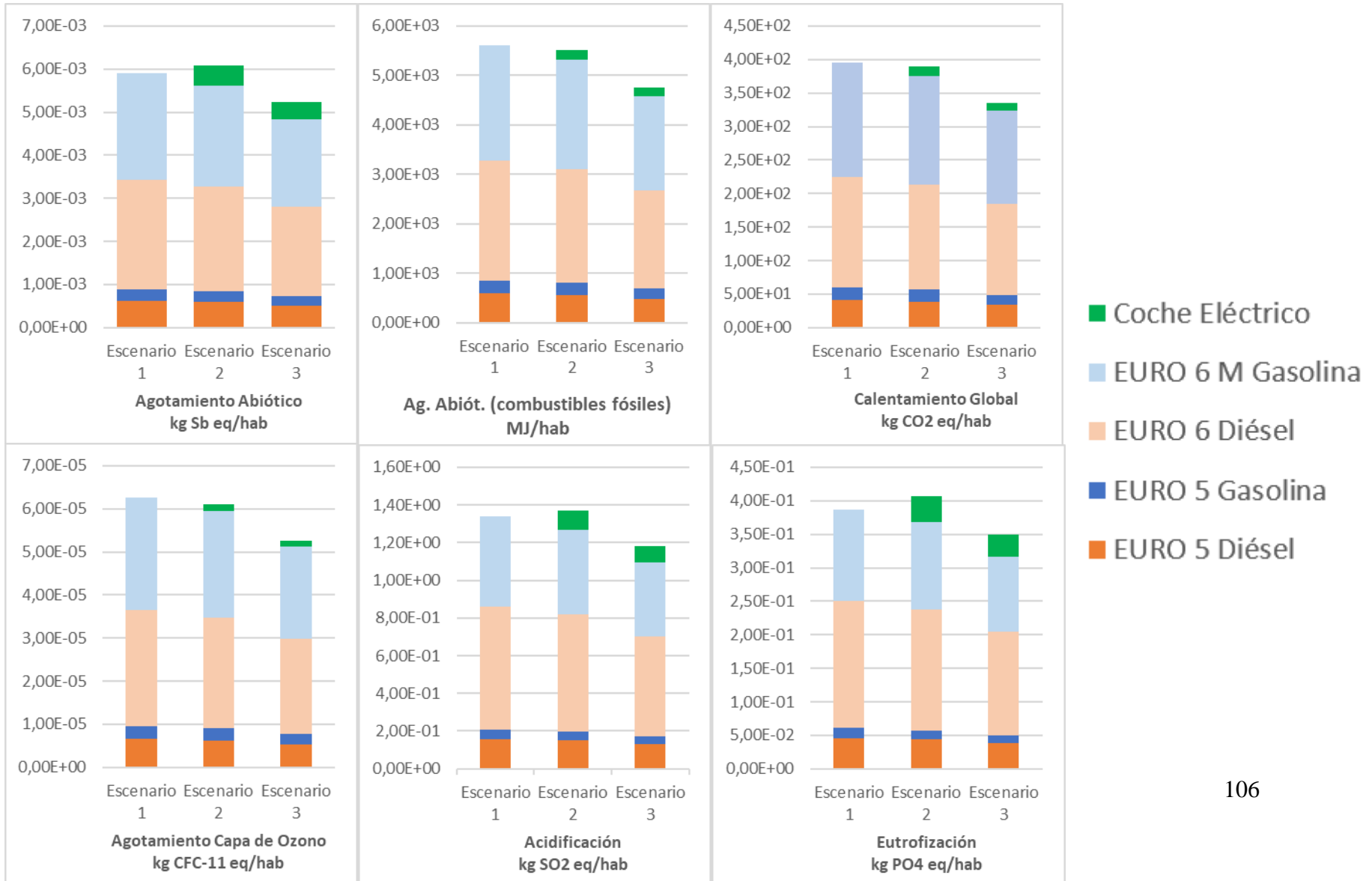


Figura 21: Comparativa del impacto generado por el vehículo privado en los escenarios futuros.

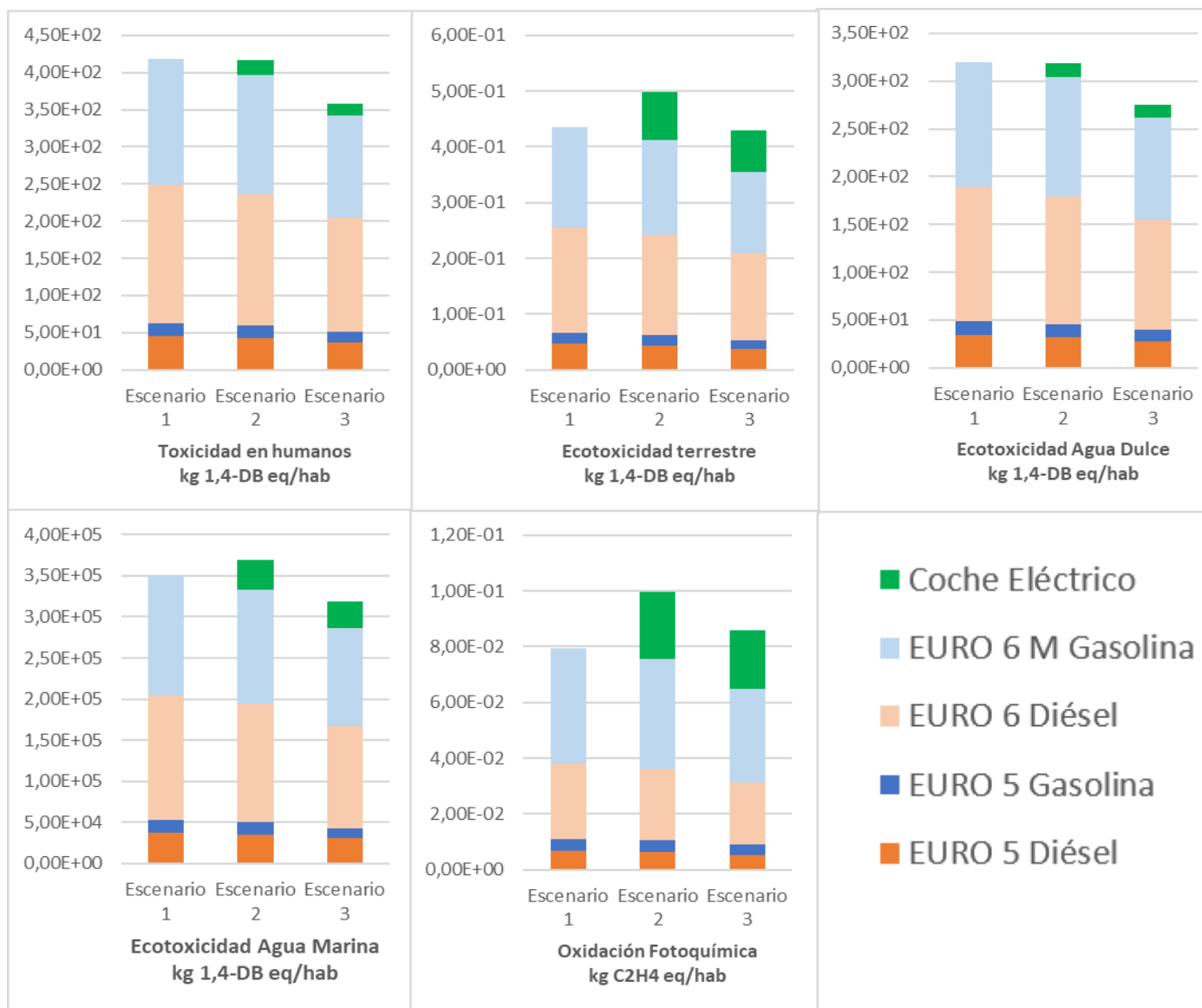


Figura 22: Comparativa del impacto generado por el vehículo privado en los escenarios futuros.

#### **4.2.2 COMPARATIVA ENTRE TRANSPORTES TERRESTRES EN LOS ESCENARIOS FUTUROS**

Resulta también interesante realizar una comparativa más detallada entre los transportes terrestres empleados en los escenarios futuros normalizados, para ver cuál es el aporte realizado por cada uno de los vehículos empleados y para analizar el impacto que tiene el cambio en el reparto modal entre los diferentes escenarios con un mayor uso del transporte público en el escenario 3. No se incluye en este análisis el transporte por avión ya que se ha considerado invariable para los tres escenarios futuros planteados.

Se presenta en la Figura 23 y Figura 24, la comparativa de los escenarios para cada una de las categorías en valores absolutos. Se observa que en el escenario 3, habiéndose considerado las mismas tecnologías que en el escenario 2, el impacto en todas las categorías es inferior debido al cambio en el reparto modal considerado. En concreto, el impacto provocado por el vehículo privado (representado en azul en las figuras) se ve notablemente reducido debido a un menor uso del mismo, mientras que el transporte público, al aumentar su empleo, aumenta también su contribución de impacto.

Dentro del transporte público considerado, el tren de alta velocidad es el que tiene un mayor impacto por ser también el transporte con un mayor número de pasajeros transportados por kilómetro. Sin embargo, para cada una de las categorías se observa cómo varía la contribución proporcional de cada uno de los transportes colectivos. Así, el autobús (donde se está considerando tanto el diésel como el de gas natural en los escenarios 2 y 3 mientras que se considera únicamente el diésel en el primer escenario), presenta un notable impacto proporcionalmente al resto de los transportes colectivos, teniendo en cuenta el reparto modal, en las categorías de agotamiento abiótico de combustibles fósiles, en la del calentamiento global y en la acidificación. Por otra parte, los trenes, donde para cada una de las dos categorías que aparecen en la figura (convencional y de alta velocidad) se están incluyendo los trayectos de media y larga distancia, presentan también un crecimiento del impacto generado en el escenario 3. El tren convencional experimenta un crecimiento notable proporcionalmente frente al resto de transportes en la categoría de acidificación y ecotoxicidad de agua marina mientras



que el tren de alta velocidad presenta un incremento en torno al 25% en los valores absolutos obtenidos para cada una de las categorías analizadas en el tercer escenario respecto al segundo.

Se presenta en la Figura 23 y Figura 24, la comparativa de los tres escenarios para cada una de las categorías de impacto estudiadas.

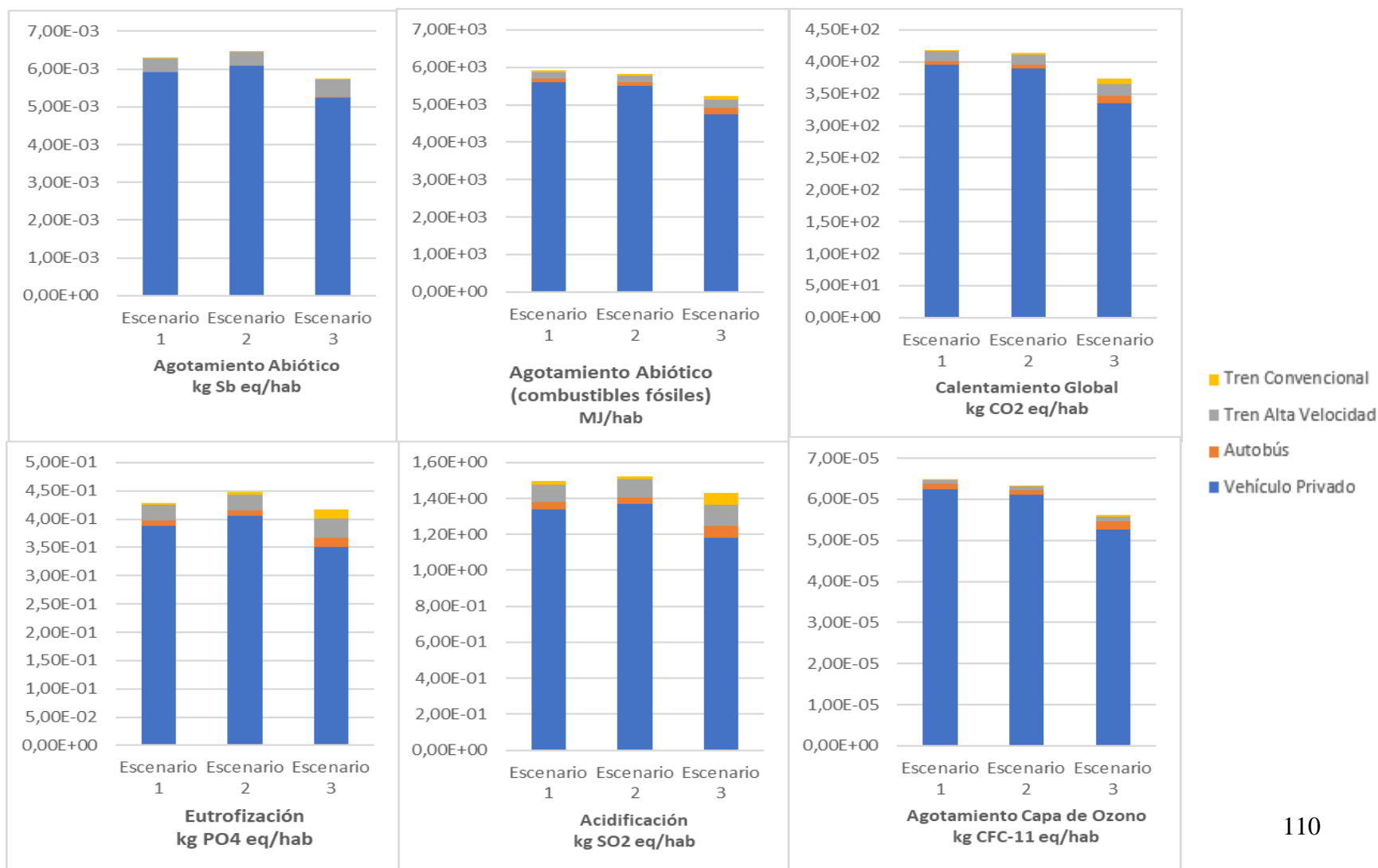


Figura 23: Comparativa global del impacto generado por transporte entre los escenarios futuros considerando únicamente transportes terrestres

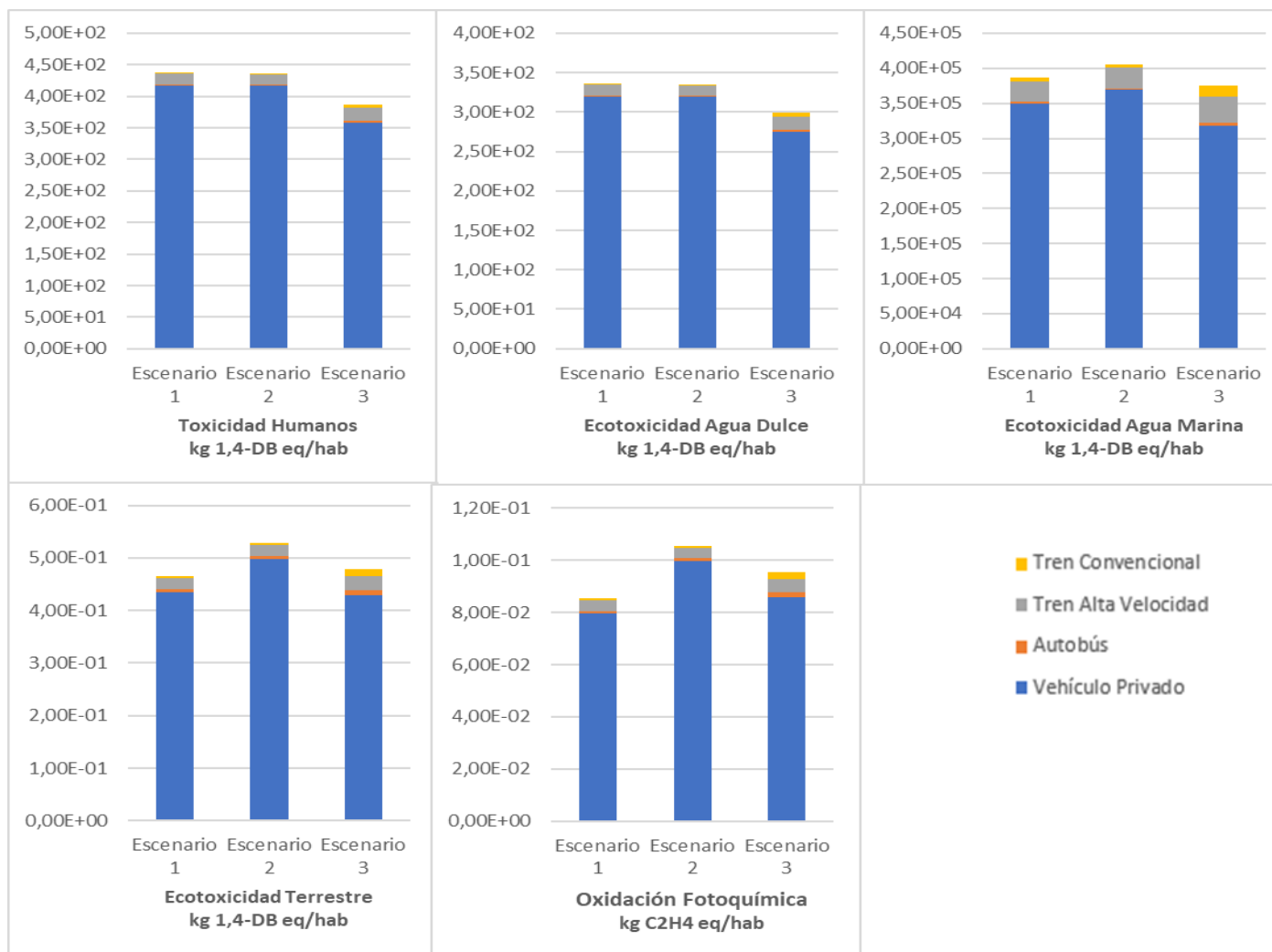


Figura 24: Comparativa global del impacto generado por transporte entre los escenarios futuros considerando únicamente transportes terrestres

### **4.3 COMPARATIVA DEL ESCENARIO ACTUAL CON LOS ESCENARIOS FUTUROS**

Para realizar la comparativa entre el escenario actual y los diferentes escenarios futuros planteados se ha de tener en cuenta el incremento en la demanda considerado para el año 2030 respecto al año 2019 en este tipo de desplazamientos. Para el total de los transportes considerados este incremento para los escenarios futuros proyectados es cercano al 6% en millones de pasajeros transportados por kilómetro. De mantener, por tanto, los mismos transportes con el mismo reparto modal que en el escenario actual, el escenario de 2030 debiera presentar un impacto superior al de 2019. Sin embargo, con las medidas incluidas en cada uno de los escenarios futuros, a pesar de este incremento en la demanda, los resultados de todos los impactos en todas las categorías estudiadas se ven reducidos. Se ha de indicar también que, en los escenarios normalizados por habitante, contribuye a la reducción en las proyecciones futuras realizadas un aumento del 1,4% de la población respecto al escenario actual.

Para el primer escenario futuro considerado, únicamente con la retirada de los turismos más antiguos y un aumento de la ocupación de todos los transportes terrestres, la reducción del impacto en el calentamiento global es del 19,2% frente al escenario de 2019. También es notable el decremento producido en la categoría de la oxidación fotoquímica con una reducción del 24,2%. Esto se debe principalmente a la retirada de los vehículos privados más antiguos ya que, analizando la reducción entre ambos escenarios (actual y primer escenario futuro) únicamente considerando los transportes en coche, se produce un decremento del 28,5% en dicha categoría.

El segundo escenario futuro planteado, donde se introducen nuevas tecnologías en los transportes además de las medidas adoptadas para el primer escenario, presenta una reducción del 20,1% en el calentamiento global respecto al escenario actual. En otras categorías como la ecotoxicidad terrestre o la oxidación fotoquímica presenta una menor reducción de impacto respecto al primer escenario futuro debido principalmente a la introducción del vehículo eléctrico. Sin embargo, la introducción de este transporte contribuye a la reducción en el impacto de categorías como el agotamiento abiótico de

combustibles fósiles, el calentamiento global o el agotamiento de la capa de ozono. Esto se debe principalmente a un menor uso de combustibles fósiles en el transporte privado gracias al empleo del coche eléctrico en estos trayectos.

Finalmente, el tercer escenario futuro, donde se consideran las medidas del segundo incorporando el cambio en el reparto modal, es el que presenta una mayor reducción general en todas las categorías analizadas, siendo notable la reducción en la categoría del calentamiento global con un 26,3% de reducción del impacto por habitante. Por tanto, este es el escenario que, como se observa a partir de los resultados obtenidos, es el más deseable. Se ha de tener en cuenta, además, que para los tres escenarios futuros se están contabilizando todos los viajes en avión siendo invariables las modificaciones hechas en este transporte entre un escenario y otro, por lo que se incluyen también los resultados desagregados.

Se presentan a continuación tres tablas (Tabla 47, Tabla 48, Tabla 49) con los resultados de la reducción de impacto de cada uno de los tres escenarios futuros planteados respecto al escenario actual, del cual se incluye el valor absoluto de impacto para cada categoría. Los datos por tabla se clasifican en tres categorías diferentes. La primera (Tabla 47) es teniendo en cuenta los resultados globales ya comentados, que incluyen todos los transportes considerados dentro de cada uno de los escenarios. La segunda tabla (Tabla 48) recoge la reducción de impacto teniendo en cuenta en los desplazamientos por avión únicamente aquellos trayectos con origen y destino peninsular y, finalmente, la tercera tabla (Tabla 49) engloba únicamente los resultados obtenidos para los transportes terrestres, es decir, tren convencional y de alta velocidad, autobús y vehículo privado.

Considerando en los vuelos únicamente los desplazamientos peninsulares, se observa un aumento de la reducción de impacto de las proyecciones futuras respecto del escenario actual. Es especialmente notable la reducción que se produce para los tres escenarios en las categorías de calentamiento global, agotamiento abiótico (combustibles fósiles) y el agotamiento de la capa de ozono. El motivo de esta reducción es que, para los escenarios futuros, los vuelos que no son únicamente peninsulares representan un porcentaje elevado

de las contribuciones en esas tres categorías (para los dos primeros escenarios en torno al 11,5% y para el tercero del 12,8%), mientras que para el escenario actual, dado el impacto presentado por los coches más antiguos, esta contribución porcentual es menor. En concreto del 8,8%.

Considerando la reducción de impacto para la categoría del calentamiento global para cada uno de los escenarios futuros respecto al escenario actual queda que el primero de los escenarios presenta una reducción del 21,6%, el segundo del 22,6% y el tercero del 29,3%.

Para el análisis correspondiente a la comparativa de reducción de impacto considerando únicamente los transportes terrestres, la explicación del decremento tan significativo es similar a la del caso anterior. Los vuelos peninsulares presentan una elevada contribución en algunas categorías y estos porcentajes de contribución de impacto son más acusados en los escenarios futuros que en el escenario actual, por lo que, al no tenerse en cuenta, la reducción de impacto que se produce en las proyecciones para 2030 en los transportes terrestres es significativa. La reducción del calentamiento global para el primer escenario futuro planteado es del 23,3%, para el segundo es del 24,4% y para el tercero del 31,5%.

Escenario	Categoría de impacto										
	Agotamiento Abiótico	Agotamiento Abiótico (combustibles fósiles)	Calentamiento Global (GWP100a)	Agotamiento Capa de Ozono (ODP)	Toxicidad en Humanos	Ecotoxicidad Agua Dulce	Ecotoxicidad Agua Marina	Ecotoxicidad Terrestre	Oxidación Fotoquímica	Acidificación	Eutrofización
	kg Sb eq/hab	MJ/hab	kg CO2 eq/hab	kg CFC-11 eq/hab	kg 1,4-DB eq/hab	kg 1,4-DB eq/hab	kg 1,4-DB eq/hab	kg 1,4-DB eq/hab	kg C2H4 eq/hab	kg SO2 eq/hab	kg PO4 eq/hab
<b>2019</b>	7,95E-03	8,73E+03	6,34E+02	9,77E-05	5,66E+02	4,29E+02	4,98E+05	6,33E-01	1,27E-01	2,22E+00	6,14E-01
<b>Futuro 1</b>	19,0%	17,8%	19,2%	17,9%	20,4%	19,8%	18,2%	18,6%	24,2%	16,7%	17,2%
<b>Futuro 2</b>	16,8%	18,8%	20,1%	19,5%	20,6%	20,0%	14,3%	8,6%	8,1%	15,4%	14,2%
<b>Futuro 3</b>	25,7%	25,4%	26,3%	26,7%	29,2%	28,5%	20,5%	16,5%	16,2%	19,6%	19,4%

Tabla 47: Porcentaje de reducción total de los escenarios futuros respecto al actual considerando todos los transportes.

Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos con SimaPro con la base de datos de Ecoinvent.

Escenario	Categoría de impacto										
	Agotamiento Abiótico	Agotamiento Abiótico (combustibles fósiles)	Calentamiento Global (GWP100a)	Agotamiento Capa de Ozono (ODP)	Toxicidad en Humanos	Ecotoxicidad Agua Dulce	Ecotoxicidad Agua Marina	Ecotoxicidad Terrestre	Oxidación Fotoquímica	Acidificación	Eutrofización
	kg Sb eq/hab	MJ/hab	kg CO2 eq/hab	kg CFC-11 eq/hab	kg 1,4-DB eq/hab	kg 1,4-DB eq/hab	kg 1,4-DB eq/hab	kg 1,4-DB eq/hab	kg C2H4 eq/hab	kg SO2 eq/hab	kg PO4 eq/hab
<b>2019</b>	7,88E-03	7,98E+03	5,79E+02	8,85E-05	5,59E+02	4,25E+02	4,88E+05	6,06E-01	1,21E-01	2,01E+00	5,69E-01
<b>Futuro 1</b>	19,2%	20,1%	21,6%	20,5%	20,7%	20,0%	18,7%	19,7%	25,7%	19,1%	19,1%
<b>Futuro 2</b>	17,0%	21,2%	22,6%	22,2%	21,0%	20,3%	14,7%	9,3%	8,9%	17,6%	15,9%
<b>Futuro 3</b>	26,0%	28,4%	29,3%	30,1%	29,7%	28,8%	21,1%	17,6%	17,3%	22,3%	21,4%

Tabla 48: Porcentaje de reducción total de los escenarios futuros respecto al actual considerando en el transporte por avión sólo vuelos peninsulares.

Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos con SimaPro con la base de datos de Ecoinvent.

Escenario	Categoría de impacto										
	Agotamiento Abiótico	Agotamiento Abiótico (combustibles fósiles)	Calentamiento Global (GWP100a)	Agotamiento Capa de Ozono (ODP)	Toxicidad en Humanos	Ecotoxicidad Agua Dulce	Ecotoxicidad Agua Marina	Ecotoxicidad Terrestre	Oxidación Fotoquímica	Acidificación	Eutrofización
	kg Sb eq/hab	MJ/hab	kg CO2 eq/hab	kg CFC-11 eq/hab	kg 1,4-DB eq/hab	kg 1,4-DB eq/hab	kg 1,4-DB eq/hab	kg 1,4-DB eq/hab	kg C2H4 eq/hab	kg SO2 eq/hab	kg PO4 eq/hab
<b>2019</b>	7,81E-03	7,54E+03	5,47E+02	8,32E-05	5,53E+02	4,21E+02	4,78E+05	5,86E-01	1,17E-01	1,89E+00	5,40E-01
<b>Futuro 1</b>	19,5%	21,6%	23,3%	22,2%	21,0%	20,3%	19,2%	20,5%	27,0%	20,9%	20,5%
<b>Futuro 2</b>	17,3%	22,8%	24,4%	24,1%	21,3%	20,5%	15,1%	9,8%	9,5%	19,3%	17,1%
<b>Futuro 3</b>	26,3%	30,5%	31,5%	32,5%	30,1%	29,1%	21,6%	18,4%	18,3%	24,2%	22,9%

Tabla 49: Porcentaje de reducción total de los escenarios futuros respecto al actual considerando únicamente transportes terrestres.

Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos con SimaPro con la base de datos de Ecoinvent.



### **4.3.1 VEHÍCULO PRIVADO**

En las diferentes comparativas, análisis y tablas de resultados que se han presentado en la evaluación de impacto queda patente que el principal agente de impacto en las distintas categorías es el vehículo privado. Por ello resulta relevante realizar una comparativa más detallada entre el impacto provocado por los coches en el escenario actual respecto a los escenarios futuros.

Se presentan en las figuras a continuación (Figura 25, Figura 26) las comparativas para cada una de las categorías de impacto analizadas entre vehículos privados en el escenario actual y en las diferentes proyecciones realizadas para el año 2030.

Como se observa, para los dos primeros escenarios futuros, la reducción de impacto, a pesar del incremento en la demanda en millones de pasajeros transportados por kilómetro, es significativa y se debe principalmente a la retirada de los vehículos más antiguos. Por su parte, el tercer escenario es el que tiene una mayor reducción de impacto en comparación con el actual que se debe principalmente al cambio en el reparto modal con un mayor uso del transporte público.

Para el primer escenario, únicamente con la retirada de los vehículos antiguos se logra una reducción muy significativa en la categoría del calentamiento global, con un decremento del 24,6%, así como en la de la oxidación fotoquímica, con una reducción del 28,6%.

Para el segundo escenario futuro, sin embargo, como ya se ha expuesto anteriormente, el coche eléctrico introducido para este tipo de trayectos contribuye ligeramente a la reducción en algunas de las categorías como el calentamiento global aunque tiene una contribución notable en otras como la oxidación fotoquímica o la ecotoxicidad terrestre. Este impacto generado por el vehículo eléctrico se aprecia en las figuras correspondientes a las categorías mencionadas, provocando que la reducción respecto al escenario actual para las mismas no sea tan significativa como en el primer escenario, siendo para la oxidación fotoquímica el decremento únicamente del 10,3%. No obstante, en el

calentamiento global la reducción es la más significativa para este escenario y es del 25,7%, por lo que el coche eléctrico contribuye a la reducción del impacto en esta categoría.

Finalmente, el tercer escenario, debido al cambio modal considerado, fomentando el uso del transporte público en lugar del vehículo privado, presenta una reducción especialmente notable en la categoría del calentamiento global con un 36%. No obstante, para evaluar correctamente los valores correspondientes a este escenario hay que tener en cuenta que la reducción producida por el cambio modal no se refleja literalmente en el total del escenario teniendo en cuenta todos los modos de transporte, ya que otros transportes ven incrementados sus impactos al aumentar su demanda.

Se concluye que la categoría que presenta una mayor reducción por la retirada de los vehículos más antiguos es el calentamiento global.

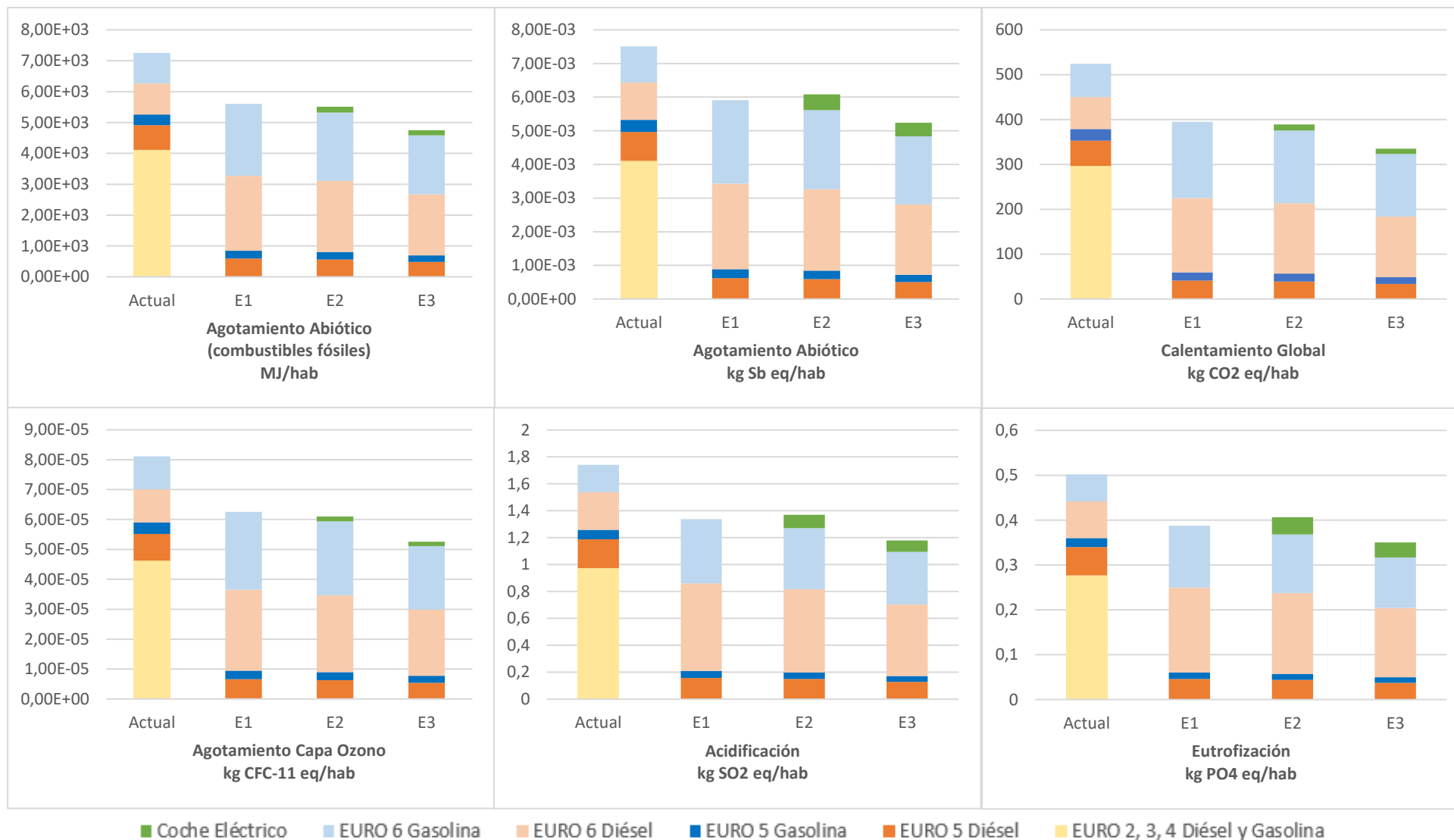


Figura 25: Comparativa del impacto generado por el vehículo privado entre el escenario actual y los tres escenarios futuros.

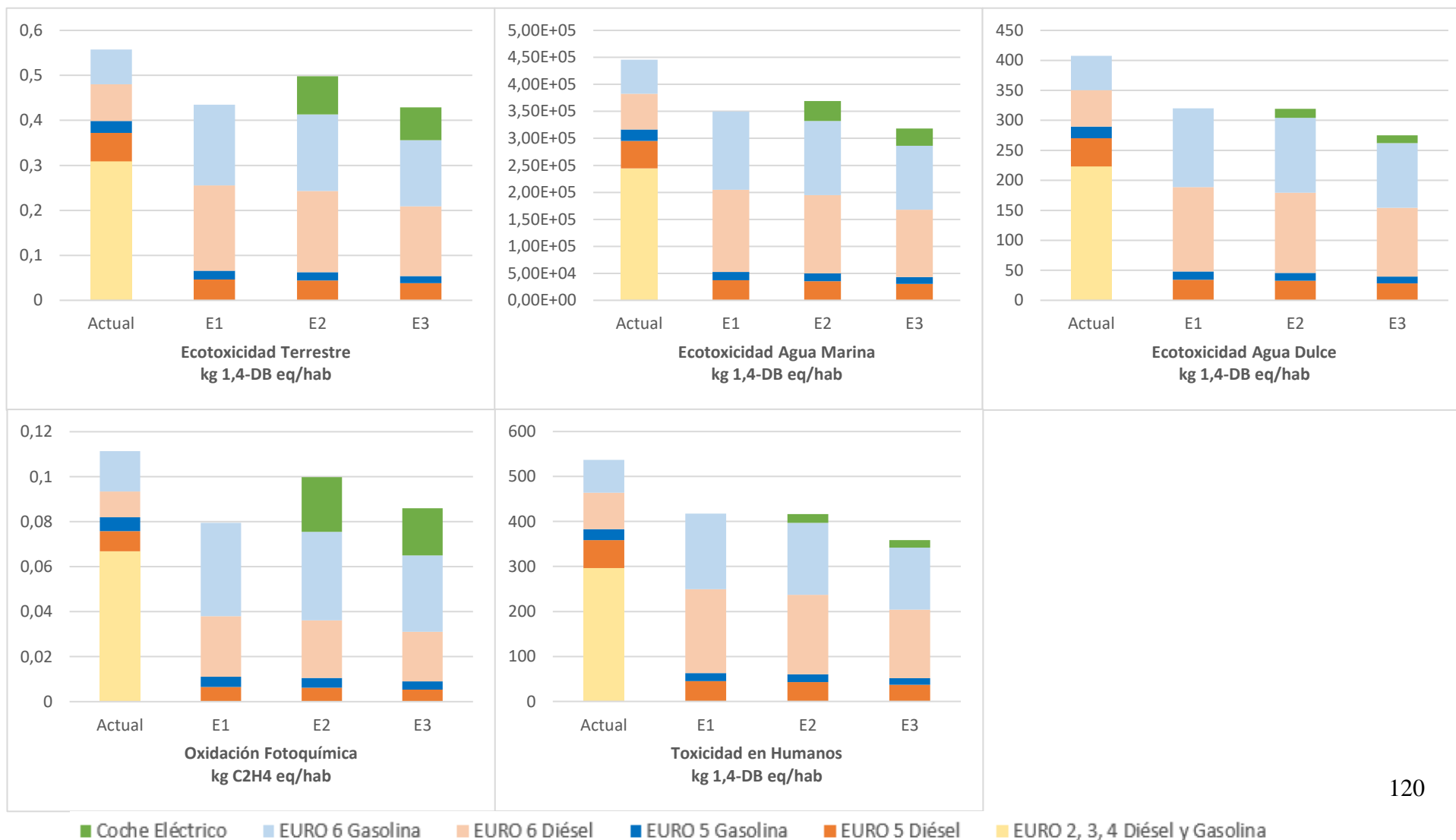


Figura 26: Comparativa del impacto generado por el vehículo privado entre el escenario actual y los tres escenarios futuros.

### **4.3.2 TRANSPORTE PÚBLICO**

Se analiza en este apartado la evolución del impacto provocado por el transporte colectivo de viajeros comparando el escenario actual con los diferentes escenarios futuros considerados para el año 2030. Para una mayor claridad de los resultados, se presenta la comparativa considerando únicamente los vuelos peninsulares.

A diferencia de lo que sucedía con el vehículo privado donde, a pesar del aumento de la demanda de pasajeros transportados por kilómetro en los primeros escenarios futuros, el impacto en todas las categorías analizadas se veía reducido gracias al aumento de ocupación y, principalmente, a la retirada de los vehículos de normativas más antiguas, para el transporte público el aumento de la demanda se traduce en un mayor impacto en todas las categorías. Este incremento, sin embargo, no es directamente proporcional al aumento en la demanda de pasajeros transportados por kilómetro ya que, en el escenario normalizado, como se ha comentado anteriormente, la población considerada para 2019 y 2030 es diferente (siendo la del escenario futuro mayor) y se ha considerado también un incremento en el nivel de ocupación de los transportes. Por tanto, el impacto generado por habitante en el escenario normalizado con esas dos medidas es menor que el que se generaría para ese nivel de demanda y de ocupación en el escenario actual.

Para el transporte público en los dos primeros escenarios futuros planteados apenas existe diferencia entre el impacto generado entre ellos dado que en ambos se considera el mismo reparto modal y la única diferencia es la entrada del autobús de gas natural que se considera operativo en 2030 para el segundo escenario pero sin que produzca un cambio significativo porque representa un porcentaje pequeño sobre el total de la demanda considerada. La principal diferencia se da en la eutrofización, donde, con la entrada del autobús de gas natural, se reduce prácticamente un 1% el impacto respecto al primer escenario futuro considerado.

En el tercer escenario futuro, debido al cambio en el reparto modal considerado con el aumento de la demanda del transporte colectivo (un 57,3% respecto a 2019), se produce un notable incremento en el impacto generado en todas las categorías en comparación con

el escenario actual. Se produce un aumento significativo en las categorías de agotamiento abiótico y de ecotoxicidades, mientras que para las categorías del calentamiento global y de agotamiento de la capa de ozono este incremento es notablemente menor en comparación con el resto de las categorías: un 34,3% y un 25,8% respectivamente respecto al escenario actual.

Se presentan a continuación las figuras (Figura 27, Figura 28) comparativas para cada uno de los escenarios y en cada una de las categorías de impacto analizadas.

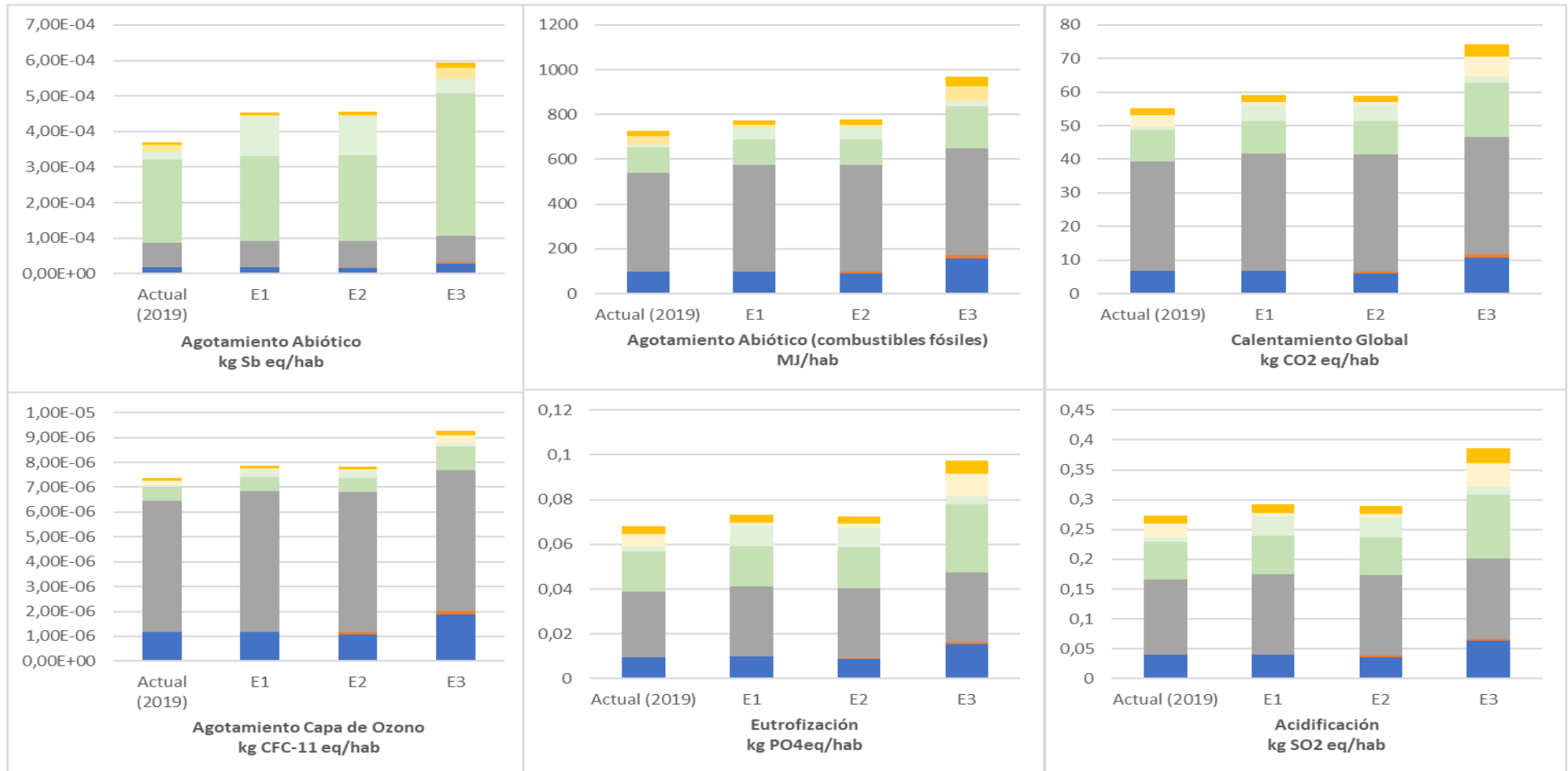


Figura 27: Comparativa del impacto generado por el transporte público entre el escenario actual y los escenarios futuros considerando sólo vuelos peninsulares.

■ Autobús Diésel ■ Autobús Gas Natural ■ Vuelos Peninsulares ■ LD Alta Velocidad ■ MD Alta Velocidad ■ LD Convencional ■ MD Convencional

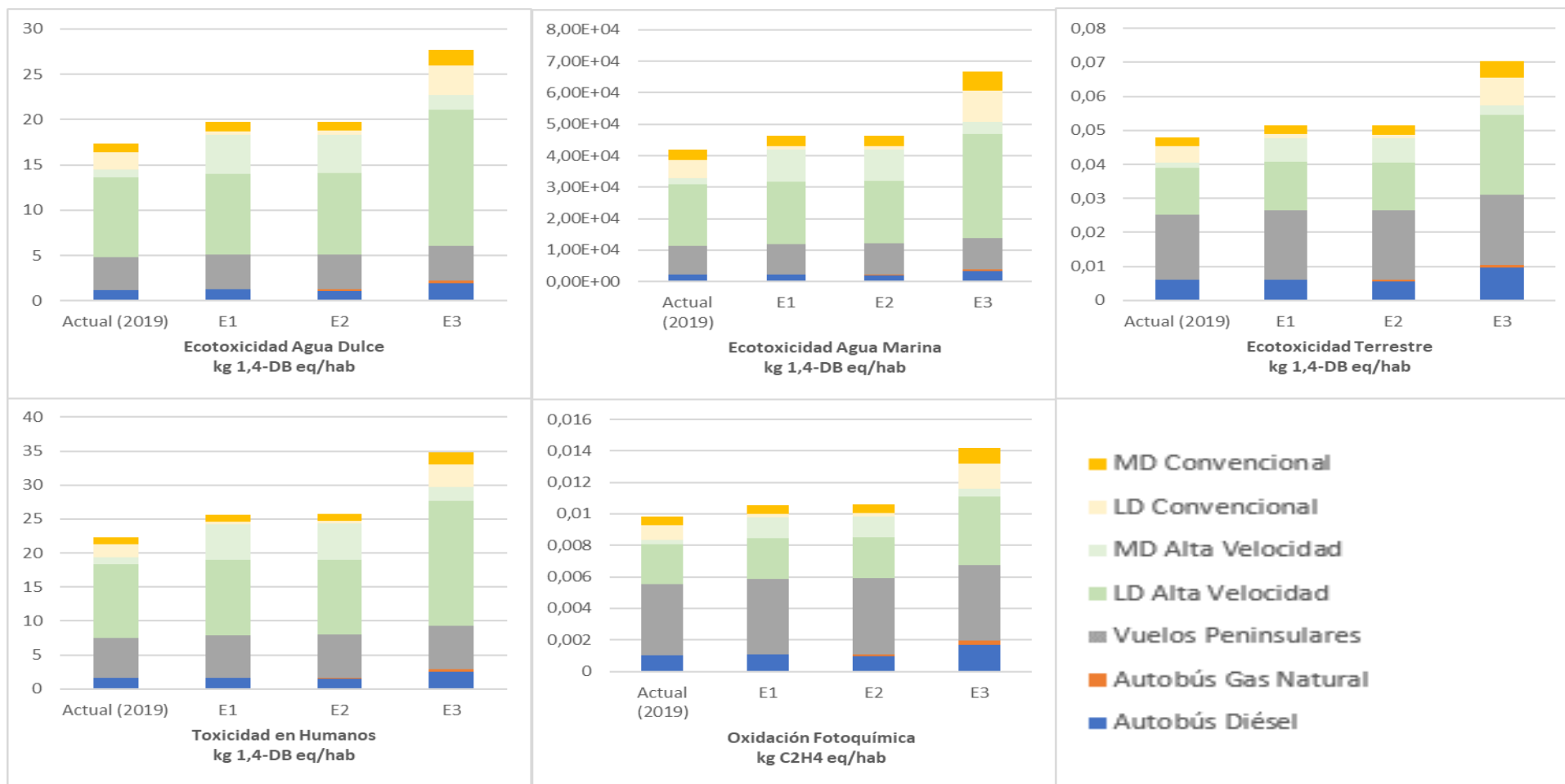


Figura 28: Comparativa del impacto generado por el transporte público entre el escenario actual y los escenarios futuros considerando sólo vuelos peninsulares.



## Capítulo 5. CONCLUSIONES

En el análisis del sector del transporte de pasajeros de media y larga distancia en España, con el objetivo de valorar la incorporación de medidas relativas al cambio climático en las políticas, estrategias y planes futuros, se ha estudiado un escenario actual, donde se emplean los datos de 2019 recogidos para este tipo de transporte, y se ha proyectado un escenario futuro para el año 2030, donde se plantean diferentes alternativas.

En el escenario actual, correspondiente al año 2019, la movilidad de pasajeros de media y larga distancia estaba dominada por el vehículo privado suponiendo éste un 67,2% respecto al total de los millones de pkm correspondientes a este tipo de movilidad. Para los resultados relativos a los turismos, es importante destacar que se ha considerado una ocupación de 1,68 personas por coche de acuerdo con el informe de tráfico de 2019 en España [51]. Sin embargo, no se dispone de ningún dato oficial para la ocupación de los turismos en esta clase de movilidad por lo que se han establecido diferentes comparativas durante el desarrollo del estudio sobre cómo influye una mayor ocupación de los turismos en los impactos generados por vehículo (viéndose incrementado el impacto por un mayor consumo debido al incremento de peso) y por pkm (donde se reduce el impacto).

Además, a la hora de evaluar los resultados totales en este escenario, es preciso recordar que para el autobús únicamente se ha considerado el servicio regular de gestión estatal ya que es el único del que se disponen datos de ocupaciones y distancias medias recorridas, por lo que el impacto global que tiene este transporte en este estudio es menor que el que tiene realmente, dado que presenta un mayor porcentaje del reparto modal que el considerado.

Con todo ello, para el escenario actual el vehículo privado es el que presenta un mayor impacto en todas las categorías con una contribución comprendida entre el 78% y el 95% en función de la categoría, mientras que el transporte público, que supone un 32,8% del total de millones de pkm únicamente presenta una contribución de impacto entre el 22% y el 5%.

Para el primer escenario futuro, planteado a partir de los datos de demanda y ocupación del escenario actual y estimando un incremento para ambos parámetros, la renovación del parque de vehículos permite una notable reducción de los impactos generados a pesar de la mayor demanda considerada. La reducción en la categoría del calentamiento global lograda con esta medida es del 19,2% respecto al escenario de 2019, siendo también significativo el decremento producido en la categoría de la oxidación fotoquímica con un 24,2% de reducción también respecto al escenario actual. Al tratarse este vehículo del empleado mayoritariamente para este tipo de transporte de pasajeros de media y larga distancia en España, esta medida se considera muy relevante para poder reducir los impactos de cara a 2030.

La entrada de nuevas tecnologías no tiene tanto efecto en la reducción del impacto como la renovación del parque de vehículos, ya que para los escenarios futuros planteados en este tipo de transporte se ha estimado que estas tecnologías aún no van a representar un porcentaje modal significativo. Sin embargo, pese a tener una relevancia pequeña, estas nuevas tecnologías sí que contribuyen a una mejora en la reducción de impacto en el calentamiento global con un decremento del 20,1% respecto al escenario actual, así como en las categorías de agotamiento abiótico de combustibles fósiles y agotamiento de la capa de ozono con un 18,8% y 19,5% de reducción respectivamente respecto al escenario de 2019. Esta reducción, no obstante, viene acompañada de incrementos respecto al primer escenario futuro en otras categorías como la oxidación fotoquímica y las ecotoxicidades, por lo que aún es necesaria una mejora en el desarrollo de estas nuevas tecnologías. Sin embargo, los impactos en estas categorías siguen estando por debajo de los del escenario actual.

Para el caso del coche eléctrico, se ha de tener en cuenta también que se considera, en los impactos generados, la composición del mix energético español, siendo este impacto menor en la medida que tengan mayor presencia las fuentes renovables en dicho mix.

Finalmente, adoptando un cambio en el reparto modal dirigido a un mayor uso del transporte público en detrimento del uso del vehículo privado, como se considera en el tercer escenario,

donde se incluyen también las medidas de retirada de vehículos antiguos y la entrada de nuevas tecnologías, resulta especialmente significativa la reducción en el calentamiento global con un 26,3% de reducción del impacto por habitante respecto al escenario de 2019.

Dado el crecimiento que está experimentando este tipo de transporte de media y larga distancia en España en los últimos años y la importante contribución a los impactos ambientales que genera este sector, se considera relevante establecer políticas orientadas a reducir los impactos en un horizonte próximo así como a largo plazo. A partir de los resultados obtenidos en este proyecto se concluye que, entre las políticas consideradas, la medida con mayor repercusión a medio plazo es la renovación del parque de turismos al ser este transporte el más contaminante por pasajero transportado y el más empleado. Esta medida, además, contribuiría notablemente a la reducción del impacto en el transporte urbano. Por otra parte, se considera también relevante fomentar un cambio en el reparto modal dirigido a un mayor uso en el transporte público.

Como se ha comentado, este estudio está basado principalmente en datos contrastados pero también se han debido realizar algunas estimaciones que se han hecho teniendo en cuenta las proyecciones más recientes sobre el impacto ocasionado por la pandemia en la economía y en el transporte de viajeros. Sin embargo, la imprevisible evolución de la crisis sanitaria sumada a la grave incertidumbre geopolítica actual puede ocasionar alteraciones en las estimaciones realizadas para el escenario proyectado en 2030.



## Capítulo 6. BIBLIOGRAFÍA

- [1] ¿Qué es el Informe Brundtland? Online. Disponible:  
<https://www.slowfashionnext.com/blog/que-es-el-informe-brundtland/> [Último acceso:  
5/07/2022]
- [2] Nuestro Futuro Común. Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo. Online.  
Disponible: <http://www.upv.es/contenidos/CAMUNISO/info/U0506189> [Último acceso:  
5/07/2022]
- [3] Desarrollo Sostenible. Presidente de la Asamblea General de las Naciones Unidas. Online.  
Disponible: <https://www.un.org/es/ga/president/65/issues/sustdev.shtml> [Último acceso:  
4/07/2022]
- [4] Programa 21. Naciones Unidas. Online. Disponible:  
<https://www.un.org/spanish/esa/sustdev/agenda21/agenda21sptoc.htm> [Último acceso:  
5/07/2022]
- [5] La Comisión sobre el Desarrollo Sostenible: Punto de encuentro mundial de ideas políticas.  
Disponible: [https://www.un.org/esa/sustdev/csd/csd14/bgrounder\\_csd\\_sp.pdf](https://www.un.org/esa/sustdev/csd/csd14/bgrounder_csd_sp.pdf)
- [6] Objetivos de Desarrollo del Milenio. Naciones Unidas. Online. Disponible:  
<https://www.un.org/development/desa/es/millennium-development-goals.html> [Último acceso:  
25/06/2022]
- [7] Protocolo de Kyoto de la convención marco de las Naciones Unidas sobre el cambio  
climático. Naciones Unidas. Disponible: <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpspan.pdf>
- [8] Objetivos de Desarrollo Sostenible. Naciones Unidas. Online. Disponible:  
<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/> [Último  
acceso: 25/06/2022]
- [9] Acuerdo de París. Naciones Unidas. Disponible:  
[https://unfccc.int/sites/default/files/spanish\\_paris\\_agreement.pdf](https://unfccc.int/sites/default/files/spanish_paris_agreement.pdf)
- [10] Fossil CO<sub>2</sub> emissions of all world countries. 2020 Report. Crippa, M.; Guizzardi, D.; Muntean,  
M. Schaaf, E.; Solazzo, E.; Monforti-Ferrario, F., Olivier, J.G.J.; Vignati, E. Disponible:  
[https://edgar.jrc.ec.europa.eu/booklet/Fossil\\_CO2\\_emissions\\_of\\_all\\_world\\_countries\\_booklet  
\\_2020report.pdf](https://edgar.jrc.ec.europa.eu/booklet/Fossil_CO2_emissions_of_all_world_countries_booklet_2020report.pdf)

- [11] Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Inventario Nacional de Emisiones a la Atmósfera. Emisiones de Gases de Efecto Invernadero. Serie 1990-2019. Disponible:  
[https://canviclimatic.gencat.cat/web/.content/01\\_EL\\_CANVI\\_CLIMATIC/inventaris\\_demissions/inventaris\\_demissions\\_espanya\\_ue\\_mon/Resumen-Informe-Inventario-1990\\_2019-v2021.pdf](https://canviclimatic.gencat.cat/web/.content/01_EL_CANVI_CLIMATIC/inventaris_demissions/inventaris_demissions_espanya_ue_mon/Resumen-Informe-Inventario-1990_2019-v2021.pdf)
- [12] Informe de Inventario Nacional Gases Efecto Invernadero. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Disponible: [https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/sistema-espanol-de-inventario-sei-/es\\_nir\\_edicion2022\\_tcm30-523942.pdf](https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/sistema-espanol-de-inventario-sei-/es_nir_edicion2022_tcm30-523942.pdf)
- [13] Observatorio del Transporte y la Logística en España. Informe 2020. Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana. Disponible:  
[https://observatoriotransporte.mitma.es/recursos\\_otle/20210323\\_informe\\_otle\\_2020.pdf](https://observatoriotransporte.mitma.es/recursos_otle/20210323_informe_otle_2020.pdf)
- [14] Instituto Nacional de Estadística. Estadística de Transporte de Viajeros. Online. Disponible:  
[https://www.ine.es/dyngs/INEbase/es/operacion.htm?c=Estadistica\\_C&cid=1254736176906&menu=resultados&idp=1254735576820](https://www.ine.es/dyngs/INEbase/es/operacion.htm?c=Estadistica_C&cid=1254736176906&menu=resultados&idp=1254735576820)
- [15] RICOY, Carlos J. La teoría del crecimiento económico de Adam Smith. *Economía y desarrollo*, 2005, vol. 138, no 1, p. 11-47.
- [16] GÜERECÁ HERNÁNDEZ, Leonor Patricia. *Desarrollo de una metodología para la valoración en el análisis del ciclo de vida aplicada a la gestión integral de residuos municipales*. Universidad Politécnica de Cataluña, 2006.
- [17] HUNT, Robert G.; FRANKLIN, William E.; HUNT, R. G. LCA—How it came about. *The international journal of life cycle assessment*, 1996, vol. 1, no 1, p. 4-7.
- [18] VARGAS, JAIRO RAÚL CHACÓN. INGENIERÍA INDUSTRIAL Historia ampliada y comentada del análisis de ciclo de vida (ACV). *Revista de la Escuela Colombiana de Ingeniería* N° 72; octubre-diciembre de 2008, pp. 37-70
- [19] SAUER, Beverly. Bill and Marge Franklin. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 2016, vol. 21, no 10, p. 1538-1539.
- [20] ISO 14040: Análisis del ciclo de vida. Principios y marco de referencia. Online. Disponible:  
<https://envira.es/es/iso-14040-principios-relacionados-gestion-ambiental/> [Último acceso: 20/06/2022]

- [21] WEISS, Malcolm A., et al. On the road in 2020-A life-cycle analysis of new automobile technologies. EL 00-003 (MIT Energy Laboratory, Cambridge, MA, 2000).
- [22] LILJENSTRÖM, Carolina. *Life cycle assessment of transport systems and transport infrastructure: Investigating methodological approaches and quantifying impacts at project and network levels*. 2021. Tesis Doctoral. KTH Royal Institute of Technology.
- [23] HAWKINS, Troy R., et al. Comparative environmental life cycle assessment of conventional and electric vehicles. *Journal of industrial ecology*, 2013, vol. 17, no 1, p. 53-64.
- [24] PAULINO, Filipe; PINA, André; BAPTISTA, Patrícia. Evaluation of Alternatives for the Passenger Road Transport Sector in Europe: A Life-Cycle Assessment Approach. *Environments*, 2018, vol. 5, no 2, p. 21.
- [25] ONAT, Nuri Cihat; KUCUKVAR, Murat; TATARI, Omer. Towards life cycle sustainability assessment of alternative passenger vehicles. *Sustainability*, 2014, vol. 6, no 12, p. 9305-9342.
- [26] TERNEL, Cyprien; BOUTER, Anne; MELGAR, Joris. Life cycle assessment of mid-range passenger cars powered by liquid and gaseous biofuels: Comparison with greenhouse gas emissions of electric vehicles and forecast to 2030. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 2021, vol. 97, p. 102897.
- [27] SPREAFICO, Christian; RUSSO, Davide. Exploiting the scientific literature for performing life cycle assessment about transportation. *Sustainability*, 2020, vol. 12, no 18, p. 7548.
- [28] KORTAZAR, Andoni; BUENO, Gorka; HOYOS, David. Dataset for the life cycle assessment of the high-speed rail network in Spain. *Data in brief*, 2021, vol. 36, p. 107006.
- [29] NARANJO, Gonzalo Puig-Samper, et al. Comparative life cycle assessment of conventional, electric and hybrid passenger vehicles in Spain. *Journal of Cleaner Production*, 2021, vol. 291, p. 125883.
- [30] LEWIS, Tyler. *A life cycle assessment of the passenger air transport system using three flight scenarios*. 2013. Tesis de Maestría. Institutt for energi-og prosessteknikk.
- [31] Observatorio del Ferrocarril en España. Informe 2019. Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana. Disponible: [https://cdn.mitma.gob.es/portal-web-drupal/ferroviario/observatorio/ofe\\_2019\\_mar2021.pdf](https://cdn.mitma.gob.es/portal-web-drupal/ferroviario/observatorio/ofe_2019_mar2021.pdf)
- [32] Los transportes y las infraestructuras. Informe anual 2019. Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana. Disponible: <https://apps.fomento.gob.es/CVP/handlers/pdfhandler.ashx?idpub=BTW040>

- [33] Estadísticas del tráfico aéreo. Aena. Online. Disponible:  
<https://www.aena.es/es/estadisticas/inicio.html>
- [34] Anuario Estadístico General, DGT. Informe 2019. Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana. Disponible: [https://www.dgt.es/export/sites/web-DGT/galleries/downloads/dgt-en-cifras/publicaciones/Anuario\\_Estadistico\\_General/Anuario-General-2019-Accessible.pdf](https://www.dgt.es/export/sites/web-DGT/galleries/downloads/dgt-en-cifras/publicaciones/Anuario_Estadistico_General/Anuario-General-2019-Accessible.pdf)
- [35] Observatorio del Transporte de Viajeros por Carretera. Contratos de Gestión de la Administración General del Estado 2019. Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana. Disponible:  
[https://www.mitma.gob.es/recursos\\_mfom/comodin/recursos/observatorio\\_2019.pdf](https://www.mitma.gob.es/recursos_mfom/comodin/recursos/observatorio_2019.pdf)
- [36] Emission Standards for passenger cars, dieselnets. Online. Disponible:  
<https://dieselnets.com/standards/eu/ld.php>. [Último acceso: 12/02/2022].
- [37] SORIA, M. Evolución de la reglamentación europea sobre emisiones y homologación de los vehículos. 2017. SERNAUTO.
- [38] Anuario Estadístico 2019. Capítulo 8. Tráfico. Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana. Disponible:  
[https://www.mitma.gob.es/recursos\\_mfom/paginabasica/recursos/08trafico\\_19.pdf](https://www.mitma.gob.es/recursos_mfom/paginabasica/recursos/08trafico_19.pdf).
- [39] CNMC. Informe anual del sector ferroviario. Disponible:  
[https://www.cnmc.es/sites/default/files/3336867\\_11.pdf](https://www.cnmc.es/sites/default/files/3336867_11.pdf)
- [40] Anuario Estadístico de 2019 del transporte por ferrocarril. Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana. Disponible:  
[https://www.mitma.gob.es/recursos\\_mfom/paginabasica/recursos/12ferrocarril\\_19.pdf](https://www.mitma.gob.es/recursos_mfom/paginabasica/recursos/12ferrocarril_19.pdf)
- [41] Líneas de servicios públicos regulares de viajeros por carretera. Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana. Disponible:  
[https://www.mitma.gob.es/recursos\\_mfom/comodin/recursos/weblin.pdf](https://www.mitma.gob.es/recursos_mfom/comodin/recursos/weblin.pdf)
- [42] Datos de viajeros de los servicios públicos de transporte de viajeros de uso general. Disponible: [https://www.mitma.gob.es/recursos\\_mfom/comodin/recursos/datos\\_2019.pdf](https://www.mitma.gob.es/recursos_mfom/comodin/recursos/datos_2019.pdf)
- [43] Anuario Estadístico 2019. Capítulo 13: Transporte aéreo. Disponible:  
[https://www.mitma.gob.es/recursos\\_mfom/paginabasica/recursos/13transpaereo\\_19\\_0.pdf](https://www.mitma.gob.es/recursos_mfom/paginabasica/recursos/13transpaereo_19_0.pdf)
- [44] IAG estadísticas de tráfico. Disponible:  
<https://www.iairgroup.com/~media/Files/I/IAG/traffic->



- statistics/spanish/2019/IAG%20Estadísticas%20de%20Tráfico%20diciembre%202019%20-%20Final.pdf
- [45] CARMONA SOLÍS, Eduardo. Análisis de las emisiones del transporte aéreo en España relativas a la década 2009-2018. 2019.
- [46] Instituto Canario de Estadística, ISTAC. Estadísticas de transporte aéreo.
- [47] Instituto de Estadística de las Islas Baleares. Transporte aéreo.
- [48] Globalia informe 2017. Disponible: [https://www.globalia.com/wp-content/uploads/2020/01/FIN\\_27-07-2018\\_09\\_08\\_54\\_54033474.pdf](https://www.globalia.com/wp-content/uploads/2020/01/FIN_27-07-2018_09_08_54_54033474.pdf)
- [49] Confibus; El futuro de la movilidad colectiva. Disponible: [http://www.confibus.org/publicaciones/revista-confibus-04/index\\_140.html#page=1](http://www.confibus.org/publicaciones/revista-confibus-04/index_140.html#page=1)
- [50] Observatorio de costes del transporte de viajeros en autocar. Disponible: [https://www.mitma.gob.es/recursos\\_mfom/comodin/recursos/observatoriocostesviajeros31-enero2020.pdf](https://www.mitma.gob.es/recursos_mfom/comodin/recursos/observatoriocostesviajeros31-enero2020.pdf)
- [51] Anuario Estadístico 2019. Capítulo 8. Tráfico. Disponible: [https://www.mitma.gob.es/recursos\\_mfom/paginabasica/recursos/08trafico\\_19.pdf](https://www.mitma.gob.es/recursos_mfom/paginabasica/recursos/08trafico_19.pdf)
- [52] Evolución de los movimientos de largo recorrido en vehículos ligeros durante la epidemia. Disponible: <https://www.epdata.es/evolucion-descenso-trafico-diario-carreteras-espanolas/153d8dca-8aad-4323-8857-3ccf71b42d44>
- [53] Evolución del tráfico por el efecto de COVID. Disponible: <https://www.mobilityinstitute.es/wp-content/uploads/2020/04/www.mobilityinstitute.es-evolucion-intensidades-dia-13-04-2020-periodo-coronavirus.pdf>
- [54] Evolución del tráfico por el efecto de COVID. Disponible: <https://www.mobilityinstitute.es/wp-content/uploads/2020/05/www.mobilityinstitute.es-evolucion-intensidades-dia-14-05-2020-periodo-coronavirus.pdf>
- [55] Evolución del tráfico por el efecto de COVID. Disponible: [http://ace-cargadores.com/wp-content/uploads/2020/09/Boletin\\_940/Evolucion%20Intensidades%20JULIO-AGOSTO%20plantilla\\_V0.3.pdf](http://ace-cargadores.com/wp-content/uploads/2020/09/Boletin_940/Evolucion%20Intensidades%20JULIO-AGOSTO%20plantilla_V0.3.pdf)
- [56] Reporte ITS. España 2020. DGT. Disponible: [https://www.dgt.es/export/sites/web-DGT/.galleries/downloads/muevete-con-seguridad/tecnologia-e-innovacion/201007\\_Reporte-ITS-Espana-2020\\_V3.0.pdf](https://www.dgt.es/export/sites/web-DGT/.galleries/downloads/muevete-con-seguridad/tecnologia-e-innovacion/201007_Reporte-ITS-Espana-2020_V3.0.pdf)

- [57] Hábitos y comportamiento de las familias cuando viajan en vehículo privado. Disponible: [https://www.fesvial.es/fileadmin/estudios/INFORME\\_habitos\\_y\\_comportamientos\\_de\\_las\\_familias\\_cuando\\_viajan\\_en\\_vehiculo\\_privado\\_DEF.pdf](https://www.fesvial.es/fileadmin/estudios/INFORME_habitos_y_comportamientos_de_las_familias_cuando_viajan_en_vehiculo_privado_DEF.pdf)
- [58] Encuesta hábitos desplazamientos en verano. DGT. Disponible: <https://revista.dgt.es/es/noticias/nacional/2020/07JULIO/0716-Encuesta-habitos-verano.shtml>
- [59] Informe Captio del kilometraje 2021. Evolución desde 2014. Disponible: [https://www.captio.net/hubfs/CAPTIO\\_Informe\\_kilometraje\\_2021.pdf?utm\\_campaign=kilometraje%202021&utm\\_medium=email&\\_hsmi=41298478&\\_hsenc=p2ANqtz---nF9Ko0RHjPflslrvZWfmXcSW9NjIEsQfzRvysu3-n1LauLVjsXmkM8niXmpo\\_YK0lhZqJ9xES-MCRuFUuSTOeXVQrkBR1Clh40XOwNJCQmP6HK0&utm\\_content=41298478&utm\\_source=hs\\_automation](https://www.captio.net/hubfs/CAPTIO_Informe_kilometraje_2021.pdf?utm_campaign=kilometraje%202021&utm_medium=email&_hsmi=41298478&_hsenc=p2ANqtz---nF9Ko0RHjPflslrvZWfmXcSW9NjIEsQfzRvysu3-n1LauLVjsXmkM8niXmpo_YK0lhZqJ9xES-MCRuFUuSTOeXVQrkBR1Clh40XOwNJCQmP6HK0&utm_content=41298478&utm_source=hs_automation)
- [60] APARICIO, Angel. Exploring recent long-distance passenger travel trends in Europe. *Transportation Research Procedia*, 2016, vol. 14, p. 3199-3208.
- [61] Encuesta Movilia 2006/7. MITMA. Disponible: <https://www.mitma.gob.es/informacion-para-el-ciudadano/informacion-estadistica/movilidad/movilia-20062007/encuesta-de-movilidad-de-las-personas-residentes-en-espan%CC%83a-movilia-20062007>
- [62] Estudio de la movilidad interprovincial. Disponible: <https://observatoriotransporte.mitma.es/estudio-experimental>
- [63] BlaBlaCar alcanza los siete millones de usuarios en España. Online. Disponible: <https://blog.blablacar.es/newsroom/noticias/blablacar-alcanza-los-siete-millones-de-usuarios-en-espana#:~:text=Porcentaje%20que%20se%20eleva%20al%2037%25%20en%20el%20caso%20de,de%2012%20euros%20por%20viaje.>
- [64] “EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019”. Online. [Último acceso]: 4/03/2022]. Disponible: <https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2019>
- [65] Annex 4 ‘EUROCONTROL fuel burn and emissions inventory system’.
- [66] GUNDELFINGER CASAR, Javier, et al. Análisis de los factores determinantes de demanda, competencia y eficiencia del transporte aéreo y el turismo. 2018.
- [67] European Aviation in 2040. Annex 1. EUROCONTROL. Disponible: [https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/2019-07/challenges-of-growth-2018-annex1\\_0.pdf](https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/2019-07/challenges-of-growth-2018-annex1_0.pdf)

- [68] EUROCONTROL Seven-Year Forecast. February 2019. Disponible:  
<http://www.atceuc.org/uploads/docs/eurocontrol-7-year-forecast-february-2019-main-report.pdf>
- [69] Air Passengers Numbers to Recover in 2024. IATA. Online. Disponible:  
<https://www.iata.org/en/pressroom/2022-releases/2022-03-01-01/>. [Último Acceso: 12/03/2022]
- [70] EUROCONTROL Forecast Update 2021-2027. Online. Disponible:  
<https://www.eurocontrol.int/publication/eurocontrol-forecast-update-2021-2027>
- [71] Instituto Nacional de Estadística. Población residente en España 2019. Disponible:  
[https://www.ine.es/dyngs/INEbase/es/operacion.htm?c=Estadistica\\_C&cid=1254736176951&menu=ultiDatos&idp=1254735572981](https://www.ine.es/dyngs/INEbase/es/operacion.htm?c=Estadistica_C&cid=1254736176951&menu=ultiDatos&idp=1254735572981)
- [72] Plan Nacional Integrado de Energía y Clima. MITECO. Disponible:  
<https://www.boe.es/boe/dias/2021/03/31/pdfs/BOE-A-2021-5106.pdf>
- [73] EC–EUROPEAN COMMISSION, et al. The 2018 Ageing Report Economic & Budgetary Projections for the EU Member States (2016-2070). INSTITUTIONAL PAPER, 2018.
- [74] Estrategias para la descarbonización del transporte terrestre en España. Un análisis de escenarios. Eforenergy. Disponible:  
[https://eforenergy.org/docpublicaciones/informes/informe\\_transporte.pdf](https://eforenergy.org/docpublicaciones/informes/informe_transporte.pdf)
- [75] MCKERRACHER, Colin, et al. An integrated perspective on the future of mobility. McKinsey & Company and Bloomberg New Energy Finance, 2016.
- [76] BloomberNEF. “El precio de las baterías cae a una media de \$132/kWh”. Online. [Último acceso: 20/03/2022]. Disponible: <https://about.bnef.com/blog/battery-pack-prices-fall-to-an-average-of-132-kwh-but-rising-commodity-prices-start-to-bite/>
- [77] European Commission. Fit for 55. Disponible: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52021DC0550&from=EN>
- [78] Un modelo de transporte descarbonizado para España en 2050. Recomendaciones para la transición. Deloitte, 2017. Disponible:  
<https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/es/Documents/estrategia/Deloitte-es-strategy-descarbonizacion-transporte.pdf>
- [79] El vehículo eléctrico en España. Situación actual, objetivos y retos a abordar. OBS Business School. Disponible:

- <https://marketing.onlinebschool.es/Prensa/Informes/Informe%20OBS%20Vehiculos%20eco.pdf>
- [80] Scania presenta el primer autobús de larga distancia con motor GNL. Online. [Último acceso: 3/04/2022]. Disponible: <https://www.bbg.es/compartiendo-ideas/noticias/scania-presenta-el-primer-autobus-de-larga-distancia-con-motor-gnl/#:~:text=Scania%20ha%20presentado%20en%20la,autonom%C3%ADa%20de%20hasta%201.000%20kil%C3%B3metros>
- [81] Alsa. Memoria de Sostenibilidad 2019. Disponible: <https://www.alsa.es/documents/21643679/21664547/Memoria+Sostenibilidad+2019.pdf/4ed28d08-e4ef-b5d4-22a0-038b175ee2e0?t=1599200827532>
- [82] Instituto Nacional de Estadística. Proyecciones de población residente en España 2030. Disponible: [https://www.ine.es/dyngs/INEbase/es/operacion.htm?c=Estadistica\\_C&cid=1254736176953&menu=ultiDatos&idp=1254735572981](https://www.ine.es/dyngs/INEbase/es/operacion.htm?c=Estadistica_C&cid=1254736176953&menu=ultiDatos&idp=1254735572981)
- [83] Bankinter. Previsión del PIB en España para 2022 y 2023. Online. [Último acceso: 3/04/2022]. Disponible: <https://www.bankinter.com/blog/economia/previsiones-pib-espana>
- [84] Objetivo 13: Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos. Online. Disponible: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/climate-change-2/> [Último acceso: 6/07/2022].
- [85] Objetivo 9: Construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización sostenible y fomentar la innovación. Disponible: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/infrastructure/> [Último acceso: 6/07/2022].
- [86] Objetivo 11: Lograr que las ciudades sean más inclusivas, seguras, resilientes y sostenibles. Disponible: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/cities/> [Último acceso: 6/07/2022].

## ANEXO ODS

La creciente preocupación por lograr un desarrollo equitativo a nivel global llevó a las Naciones Unidas a fijar, en el año 2000, 8 objetivos que buscaban mejorar la calidad de vida de toda la población mundial. Estos se recogieron bajo el nombre de “*Objetivos de Desarrollo del Milenio*” y fijaban fechas para, a partir de unos indicadores, medir el progreso en el cumplimiento de los diferentes objetivos que, principalmente, se centraban en erradicar el hambre y la pobreza extremas.

Sin embargo, dado el crecimiento exponencial desarrollado en los primeros años del siglo, surgió la necesidad de desarrollar y concretar más los objetivos establecidos en el año 2000, englobando también la preocupación por el marco medioambiental y buscando un desarrollo que se produjese, a nivel global, de manera sostenible en los planos económicos, social y ambiental. Por ello, en el año 2015, de nuevo las Naciones Unidas, fijaron esta vez 17 objetivos recogidos en los “*Objetivos de Desarrollo Sostenible*” y que se pretenden alcanzar para el año 2030. El desarrollo de este proyecto guarda relación con algunos de estos objetivos, los cuales se detallan a continuación.

En primer lugar, el proyecto se engloba en el marco del objetivo 13 de “*Acción por el clima*”, el cual muestra una especial preocupación por las emisiones de dióxido de carbono y otros gases de efecto invernadero que provocaron que, en el año 2019, en el cual se ha desarrollado el escenario denominado actual del presente estudio, fuese, hasta ese momento, el segundo año más caluroso registrado.

Por ello se buscan soluciones con efecto inmediato en el corto y medio plazo y se plantean nuevas estrategias que permitan corregir estos indicadores relacionados con el cambio climático. Este problema fue tratado en profundidad, también en el año 2015, en el Acuerdo de París.

El sector del transporte tiene una gran contribución en las emisiones de gases de efecto invernadero y es uno de los principales agentes causantes del cambio climático a nivel mundial. Por ello, es importante un compromiso a nivel social e institucional que permita establecer políticas nacionales que fomenten la introducción de nuevas tecnologías menos nocivas y que se impulsen también una mayor ocupación de los vehículos y un cambio del reparto modal en favor del transporte público.

En concreto, la meta del objetivo con la que más relación guarda este proyecto es:

- 13.2: *Incorporar medidas relativas al cambio climático en las políticas, estrategias y planes nacionales.* [84]

Si bien no se pretende dictaminar qué medidas se deben tomar, sí que se ha realizado un desarrollo de diferentes escenarios futuros basados en tendencias y estimaciones plausibles que permiten evaluar qué proyecciones tienen un mayor efecto en la reducción de emisiones nocivas.

Otro de los objetivos relacionados con el proyecto es el objetivo número 9 de “*Industria, innovación e infraestructura*” que busca una mayor inversión en infraestructuras e industrias que conlleve la entrada de nuevos agentes competitivos que promuevan la introducción de nuevas tecnologías y faciliten una optimización de los recursos disponibles.

El sector del transporte es uno de los ejes vertebrales de la organización económica y social de los países y, como se ha mencionado anteriormente, presenta también un importante impacto ambiental. Por ello, la introducción de nuevas tecnologías en esta industria, acompañadas con la innovación en infraestructuras como los puntos de recarga de vehículos eléctricos, puede ser uno de los principales agentes de cambio de este sector. Además, a lo largo de la última década, la innovación en las redes de trenes de alta velocidad ha fomentado un creciente uso del ferrocarril como medio de transporte preferente para los largos desplazamientos a nivel nacional entre aquellos destinos que dispongan de estas

infraestructuras. Esto contribuye a un mayor desarrollo del bienestar económico y social en el país.

Dentro de este objetivo, las metas con las que se considera que este proyecto está relacionado son las de:

- 9.1: *Desarrollar infraestructuras fiables, sostenibles, resilientes y de calidad, incluidas infraestructuras regionales y transfronterizas, para apoyar el desarrollo económico y el bienestar humano.* [85]
- 9.2: *De aquí a 2030, modernizar la infraestructura y reconvertir las industrias para que sean sostenibles, utilizando los recursos con mayor eficacia y promoviendo la adopción de tecnologías y procesos industriales limpios.* [85]

Finalmente y, de manera menos directa, este proyecto se puede enmarcar también en el objetivo número 11, que pretende lograr “*Ciudades y comunidades sostenibles*”. Este objetivo, sin embargo, no se relaciona claramente con el estudio ya que está centrado principalmente en el hecho de que las ciudades están experimentando un crecimiento progresivo y pasan a representar cada vez un mayor peso en el PIB de los países.

Aunque el proyecto se enmarque en un ámbito nacional y no urbano, sí que se ha considerado relevante incluir este objetivo ya que el transporte de viajeros de media y larga distancia es un agente fundamental en la persecución de una comunidad, a nivel nacional, sostenible.

Una de las metas del objetivo con las que se puede relacionar el estudio es:

- 11.a: *Apoyar los vínculos económicos, sociales y ambientales positivos entre las zonas urbanas, periurbanas y rurales fortaleciendo la planificación del desarrollo nacional y regional.* [86]

Se concluye, por tanto, que los objetivos de desarrollo sostenible con los que se vincula este estudio son el 11, el 12 y el 13, siendo este último el que se destaca como más importante

con el tipo de proyecto desarrollado dado el principal enfoque ambiental que presenta el estudio.